



COLECCIÓN CONOCIMIENTO CONTEMPORÁNEO



Sostenibilidad y cambio climático: respuestas interdisciplinarias a los desafíos de la triple crisis planetaria

Coords.

Carlos Soria Rodríguez
Julia Manetsberger

Dykinson, S.L.

SOSTENIBILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO:
RESPUESTAS INTERDISCIPLINARIAS A LOS DESAFÍOS
DE LA TRIPLE CRISIS PLANETARIA



COLECCIÓN CONOCIMIENTO CONTEMPORÁNEO

SOSTENIBILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO:
RESPUESTAS INTERDISCIPLINARIAS A LOS DESAFÍOS
DE LA TRIPLE CRISIS PLANETARIA

Coords.

CARLOS SORIA RODRÍGUEZ
JULIA MANETSBERGER

Dykinson, S.L.

2026



Esta obra se distribuye bajo licencia

Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

La Editorial Dykinson autoriza a incluir esta obra en repositorios institucionales de acceso abierto para facilitar su difusión. Al tratarse de una obra colectiva, cada autor únicamente podrá incluir el o los capítulos de su autoría.

SOSTENIBILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO: RESPUESTAS INTERDISCIPLINARIAS A LOS DESAFÍOS DE LA TRIPLE CRISIS PLANETARIA

Diseño de cubierta y maquetación: Francisco Anaya Benítez

© de los textos: los autores

© de la presente edición: Dykinson S.L.

Madrid 2026

N.º 299 de la colección Conocimiento Contemporáneo

1ª edición, 2026

ISBN: 979-13-7006-640-6

NOTA EDITORIAL: Los puntos de vista, opiniones y contenidos expresados en esta obra son de exclusiva responsabilidad de sus respectivos autores. Dichas posturas y contenidos no reflejan necesariamente los puntos de vista de Dykinson S.L, ni de los editores o coordinadores de la obra. Los autores asumen la responsabilidad total y absoluta de garantizar que todo el contenido que aportan a la obra es original, no ha sido plagiado y no infringe los derechos de autor de terceros. Es responsabilidad de los autores obtener los permisos adecuados para incluir material previamente publicado en otro lugar. Dykinson S.L no asume ninguna responsabilidad por posibles infracciones a los derechos de autor, actos de plagio u otras formas de responsabilidad relacionadas con los contenidos de la obra. En caso de disputas legales que surjan debido a dichas infracciones, los autores serán los únicos responsables.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	11

CARLOS SORIA RODRÍGUEZ
JULIA MANETSBERGER

SECCIÓN I. ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN SOSTENIBLES AL CAMBIO CLIMÁTICO

CAPÍTULO 1. "EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO CO ₂ BIO EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO"	15

ELISABETH VIVIANA LUCERO BALDEVENITES

CAPÍTULO 2. PREVALENCIA DE LA CRISIS HÍRICA COMO RIESGO SOCIOAMBIENTAL EN EL REPORTE GLOBAL DEL FEM	32

ÁNGEL DANIEL TORRUCO GONZÁLEZ

CAPÍTULO 3. EL USO DE DERIVADOS CLIMÁTICOS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO EN EL SECTOR DE LÍNEAS AÉREAS.....	57

IGNACIO LÓPEZ DOMÍNGUEZ
INÉS MARTÍN DE SANTOS

CAPÍTULO 4. TACKLING THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SOCIAL HOUSING IN THE MEDITERRANEAN AREA THROUGH THE USE OF NEW ULTRA- EMISSIVE MATERIALS	73

CARLOS ANTONIO DOMÍNGUEZ-TORRES

CAPÍTULO 5. SOSTENIBILIDAD DE LA VITICULTURA FRENTE A LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ISLA DE LANZAROTE, ISLAS CANARIAS	89

ANNA CATALDO
MIGUEL ÁNGEL MEJÍAS VERA
DAVID PADRÓN MARRERO

CAPÍTULO 6. ANALYZING THE ECONOMIC AND ENERGY FEASIBILITY OF BUILDING ENERGY RETROFITTING MEASURES IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE: A PROPOSAL FOR A DYNAMIC METHODOLOGY	115

CARLOS ANTONIO DOMÍNGUEZ-TORRES
HELENA DOMÍNGUEZ TORRES

CAPÍTULO 7. EL EFECTO HALO DE LAS ENERGÍA RENOVABLES: LA PERCEPCIÓN SESGADA DE SU COSTE REAL.....	136
ÁLVARO VALCÁRCEL	
CAPÍTULO 8. AMÉRICA LATINA: CAMBIO CLIMÁTICO RECIENTE CON ENFASIS EN LOS ODS	154
VIVIANA MASCIADRI	
CAPÍTULO 9. WEATHERING INSTABILITY: INSIGHTS FROM A BIBLIOMETRIC EXPLORATION OF CLIMATE CHANGE AND POLITICAL RISK	174
KARL-HEINZ ARVIND ERMISCH	
CAPÍTULO 10. EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR ASEGURADOR: <i>ANÁLISIS DE SU IMPACTO EN EL RAMO NO VIDA CON MACHINE LEARNING</i>	200
FREDDY OQUENDO	
MARÍA JESÚS SEGOVIA VARGAS	
CAPÍTULO 11. A RELATION BETWEEN EXTREME DAILY PRECIPITATION AND EXTREME SHORT TERM PRECIPITATION	219
YANINA L. ROMERO	
CAPÍTULO 12. DESEMPEÑO AMBIENTAL Y FACTORES MACRO: UN ANÁLISIS BASADO EN CONFIGURACIONES	235
HELENA DOMÍNGUEZ TORRES	

SECCIÓN II.

TURISMO, TERRITORIO Y SOSTENIBILIDAD LOCAL

CAPÍTULO 13. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ZONAS TURÍSTICAS: EL CASO DEL SUR DE GRAN CANARIA	261
FEDERICA ZANE	
CAPÍTULO 14. TURISMO, POLÍTICAS PÚBLICAS Y LITORAL CARIBEÑO COSTARRICENSE: HACIA UNA GESTIÓN COSTERA INTEGRADA Y RESILIENTE	280
CASTRO SANDÍ CLAUDIA	
PEDRO ARENAS GRANADOS	
CAPÍTULO 15. CONTAMINACIÓN COSTERA Y RESILIENCIA COMUNITARIA EN LAS COMUNIDADES GARÍFUNAS DE LA BAHÍA DE TRUJILLO, HONDURAS	307
JOEL GÜITY ZAPATA	

CAPÍTULO 16. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL PARA LA PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA ECOTURÍSTICA SOSTENIBLE EN LA COSTA DEL PACÍFICO MEXICANO	326
GAEL DE JESÚS DÍAZ ROMERO	
JOSÉ LUIS CABALLERO MONTES	
RAFAEL ALAVÉZ RAMÍREZ	
MARGARITA RASILLA CANO	

SECCIÓN III.

ECONOMÍA CIRCULAR, SOSTENIBILIDAD Y GESTIÓN EMPRESARIAL

CAPÍTULO 17. COMUNICACIÓN ÉTICA DE LA CIRCULARIDAD: ESTRATEGIAS INNOVADORAS DE VENTOS METÓDICOS PARA EL RECICLADO DE PALAS EÓLICAS	344
ALEJANDRO COSTA ESCUREDO	
CAPÍTULO 18. TRANSFORMANDO RESIDUOS EN SOLUCIONES: ESTRATEGIAS CIRCULARES PARA UN CAMPUS SUSTENTABLE.....	359
SAMANTHA E. CRUZ SOTELO	
MARGARITA GARCÍA MIRANDA	
ROBERTO CARLOS ZAMUDIO CORNEJO	
SARA OJEDA BENITEZ	
CAPÍTULO 19. ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL EN EL MARCO DE LOS ODS: EL CASO DE GREENE ENTERPRISE	385
PAULA SÁNCHEZ RUIZ	
CRISTINA MORA RODRÍGUEZ	
CAPÍTULO 20. CLOSING THE CARBON LOOP WITH POLYHYDROXYALKANOATES: STRAIN INNOVATION AND RESIDUE VALORISATION FOR BIODEGRADABLE PLASTICS.....	405
NOÉ ANES GARCÍA	
BEGOÑA FERNÁNDEZ PÉREZ	
ANTONIO LUIS MARQUÉS SIERRA	
CAPÍTULO 21. DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE PELICULAS COMESTIBLES A BASE DE HARINA DE TRITICALE	426
TOMÁS GALICIA GARCÍA	
CAPÍTULO 22. INTEGRACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA VALORACIÓN FINANCIERA: UNA PROPUESTA BASADA EN EL TRABAJO EN EQUIPO.....	445
BEATRIZ MARTÍNEZ MARTÍNEZ	
JANNY M. NÚÑEZ ALMONTE	
ELENA BADAL VALERO	
ROSA APARICIO GONZÁLEZ	

CAPÍTULO 23. DEL BOSQUE A LA COMPETITIVIDAD: INTEGRACIÓN DE CRITERIOS ESG EN LA ESTRATEGIA INDUSTRIAL DE LA REGIÓN DE LA MALINCHE	461

JULIA ISABEL RODRÍGUEZ MORALES
ALEJANDRA GONZÁLEZ PÉREZ
ALEJANDRA CAMPOS VILLATORO
LILIANA PÉREZ ESPINOSA

CAPÍTULO 24. MAPPING THE INTELLECTUAL LANDSCAPE OF SUPPLY CHAIN RESILIENCE: CLIMATE CHANGE VS. SUSTAINABILITY	482

KARL-HEINZ ARVIND ERMISCH

SECCIÓN IV. AGRICULTURA, AGUA Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

CAPÍTULO 25. <i>BACILLUS</i> SPP. COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA UNA AGRICULTURA RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO ...	509

MACARENA SOLA MONTILLA
JULIA MANETSBERGER
NATACHA CABALLERO GÓMEZ
NABIL BENOMAR
HIKIMATE ABRIQUEL

CAPÍTULO 26. DEL ECOSISTEMA A LA COMUNIDAD: CONSECUENCIAS SOCIOAMBIENTALES DEL CONSUMO INDUSTRIAL DE AGUA EN LA MALINCHE	529

ALEJANDRA GONZÁLEZ PÉREZ
JULIA ISABEL RODRÍGUEZ MORALES
ALEJANDRA CAMPOS VILLATORO
LILIANA PÉREZ ESPINOSA

CAPÍTULO 27. ESTRATEGIAS DESDE LA GERENCIA DE PROYECTOS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS NEGOCIOS RURALES	547

IVONNE TATIANA MUÑOZ MARTÍNEZ

CAPÍTULO 28. RAINWATER HARVESTING AS AN ALTERNATIVE TO ADDRESS WATER SCARCITY IN COMMUNITIES WITH DEFICIENT HYDRAULIC INFRASTRUCTURE.....	570

LILIANA LIZÁRRAGA-MENDIOLA
ARTURO LARIOS-GALVÁN
JUAN CARLOS SECK TUOH-MORA
OMAR SALVADOR AREU-RANGEL
CARLOS ALFREDO BIGURRA-ALZATI

SECCIÓN V.
EDUCACIÓN, PEDAGOGÍA Y SOSTENIBILIDAD

CAPÍTULO 29. DEL ANÁLISIS A LA ACCIÓN: DISCURSO SOBRE SOSTENIBILIDAD EN WIKIPEDIA Y TAREAS COLABORATIVAS EN EL AULA DE <i>EFE</i>	597
PAULA ANDREEA STÎNGĂ	
CAPÍTULO 30. FOMENTO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO SOBRE SOSTENIBILIDAD: UNA EXPERIENCIA DOCENTE DE APRENDIZAJE COLABORATIVO Y ASISTIDA POR IA	616
JUAN PEROTE PEÑA	
CAPÍTULO 31. LA EDUCACIÓN PARA LA SALUD EN LA PROMOCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD Y LA RESPUESTA AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	636
LAURA ILLAMOLA MARTÍN	
ISABEL VILAFRANCA MANGUÁN	
CAPÍTULO 32. ECOFEMINISMO, SOSTENIBILIDAD Y EDUCACIÓN. ANÁLISIS DE LA TENSION CURRÍCULO-EVALUACIÓN EN EL BACHILLERATO Y LA PAU EN ASTURIAS.....	655
ÁNGELA OTERO DEL CASTILLO	
CAPÍTULO 33. EDUCACIÓN SOCIOEMOCIONAL Y EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA LA SOSTENIBILIDAD	677
CARMEN VIZOSO-GÓMEZ	
CAPÍTULO 34. GREENFLUENCERS COMO AGENTES PARA LA EDUCACIÓN AMBIENTAL INFORMAL	700
CARMEN VIZOSO-GÓMEZ	
CAPÍTULO 35. COMPORTAMIENTO PROAMBIENTAL Y PREOCUPACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN FUTUROS/AS EDUCADORES/AS	720
CARMEN VIZOSO-GÓMEZ	
CAPÍTULO 36. LA EDUCACIÓN PARA LA SALUD EN EL CONTROL DEL ASMA Y SU RELACIÓN CON LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL....	740
LAURA ILLAMOLA MARTÍN	
ISABEL VILAFRANCA MANGUÁN	
CAPÍTULO 37. LA INNOVACIÓN DOCENTE ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA EXPERIENCIA PEDAGÓGICA EN EL ÁMBITO DEL CLIMA DEL SUR DE EUROPA	755
CARLOS ANTONIO DOMÍNGUEZ-TORRES	

SECCIÓN VI.
FILOSOFÍA Y PENSAMIENTO CRÍTICO EN EL CONTEXTO
DE LA TRIPLE CRISIS PLANETARIA Y LA SOSTENIBILIDAD

CAPÍTULO 38. CUANDO EL CAMBIO GLOBAL DEVIENE ARTE	773
IGNACIO ASENJO FERNÁNDEZ	
CAPÍTULO 39. ESTANCAMIENTO ACELERADO: ASCESIS EN TIEMPOS DE DROMOCRACIA.....	798
CARLOTA GÓMEZ HERRERA	
CAPÍTULO 40. EL ARTE DE PARECER IMPARCIAL: CONTRA LA FALSA SIMETRÍA Y LA EROSIÓN DE LO COMÚN	813
SAMUEL J. CASTEJÓN	
CAPÍTULO 41. TRANSPARENCIA COMUNICATIVA EN LA SOSTENIBILIDAD MUSEÍSTICA: UN ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MUSEOS DE CIUDAD DE MÉXICO Y MADRID.....	831
JULIO GONZALEZ LIENDO	
LORENA MIRANDA NAVARRO	
DULCINEA RIVAS CORREA	
CAPÍTULO 42. HACIA UNA PEDAGOGÍA DEL DESPLAZAMIENTO: WITTGENSTEIN FRENTE AL NEGACIONISMO CLIMÁTICO	846
SAMUEL J. CASTEJÓN	
CAPÍTULO 43. WHAT ARE WE TALKING ABOUT WHEN WE TALK ABOUT MODERNITY, PROFESSOR FOUCAULT?.....	861
CARLOTA GÓMEZ HERRERA	
CAPÍTULO 44. EL FIN DEL MITO DEL CRECIMIENTO INFINITO: ORÍGENES Y HORIZONTES DE LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE.....	879
GABRIELA A. VÁZQUEZ RODRÍGUEZ	

En pleno siglo XXI, la humanidad enfrenta uno de los mayores desafíos de su historia: la denominada triple crisis planetaria, integrada por el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación. Estas tres dimensiones no solo avanzan de manera simultánea, sino que se retroalimentan y profundizan mutuamente, generando impactos ambientales, económicos, políticos, culturales y sociales sin precedentes. En este escenario, comprender la complejidad de estas crisis exige enfoques inter y multidisciplinarios capaces de vincular la investigación científica con la acción pública, la innovación tecnológica, la transformación educativa o la reflexión filosófica.

Sostenibilidad y cambio climático: respuestas interdisciplinarias a los desafíos de la triple crisis planetaria responde precisamente a esta necesidad. La obra reúne aportaciones desde diferentes regiones del mundo, metodologías, disciplinas y perspectivas. La diversidad de los trabajos incluidos constituye un valor en sí mismo: no se trata únicamente de diagnosticar la gravedad del momento actual, sino de proponer acciones que permitan repensar nuestros sistemas, ya sean productivos, territoriales, educativos o comunitarios, en clave de sostenibilidad.

La obra está organizada en seis bloques temáticos que reflejan esta amplitud interdisciplinaria. A continuación se ofrece una panorámica introductoria de cada uno, destacando los principales aportes que conforman la estructura final de la obra.

El primer bloque reúne investigaciones que analizan los múltiples frentes en los que se despliega la acción climática contemporánea. Los capítulos abordan desde evaluaciones de impacto ambiental hasta estudios sobre riesgos emergentes, incluidos la crisis hídrica y la relación entre precipitaciones extremas y eventos climáticos de corto plazo. Varios trabajos profundizan en la gestión del riesgo en sectores estratégicos como el uso de derivados climáticos para la industria aérea, el análisis del impacto climático sobre el sector asegurador mediante *machine learning*, o los efectos del cambio climático sobre la vivienda social. Otros exploran la viabilidad económica y energética de la rehabilitación

de edificios, la sostenibilidad de la viticultura, o el papel de los factores macroeconómicos en el desempeño ambiental. Además, este bloque incorpora debates sobre percepciones sociales, estudios bibliométricos sobre riesgo político y cambio climático, y análisis regionales sobre América Latina y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

El segundo bloque se adentra en un ámbito especialmente expuesto a la crisis climática: el turismo y sus interacciones con el territorio. Los capítulos abordan tanto los efectos del cambio climático en zonas turísticas como los retos de la gestión costera. Otros estudios profundizan en la resiliencia de comunidades costeras frente a problemas de contaminación, o analizan el papel de la planificación territorial para el diseño de infraestructura ecoturística.

El tercer bloque se centra en las transformaciones que atraviesa el sector productivo frente a las limitaciones ecológicas del planeta. Se incluyen estudios sobre comunicación ética de la circularidad, proyectos que implementan estrategias circulares, y experiencias empresariales vinculadas al cumplimiento de los ODS. A nivel científico y tecnológico se incluyen trabajos sobre la innovación microbiana para la producción de bioplásticos biodegradables, así como investigaciones sobre el desarrollo de películas comestibles basadas en triticale. Estos ejemplos muestran cómo la economía circular puede impulsar procesos de valorización de residuos, reducción de impacto y creación de materiales más sostenibles.

El cuarto bloque aborda una de las dimensiones más críticas de la triple crisis planetaria: la gestión del agua y la sostenibilidad de sistemas agrícolas y rurales. Los estudios presentados analizan soluciones biotecnológicas como el uso de microorganismos para fortalecer la resiliencia agrícola, así como los impactos socioambientales del uso industrial del agua. Asimismo, se examinan estrategias de gerencia de proyectos aplicadas al desarrollo de negocios rurales sostenibles y se evalúan alternativas como la captación de agua de lluvia en comunidades con infraestructura hidráulica deficiente.

El quinto bloque pone en relieve el papel fundamental de la educación en la construcción de sociedades sostenibles. Las contribuciones exploran experiencias pedagógicas que integran inteligencia artificial o

aprendizaje colaborativo, entre otros. Se analizan también las tensiones entre currículo y evaluación desde una perspectiva ecofeminista, así como propuestas de educación socioemocional y ambiental orientadas a la formación de competencias sostenibles. Además, se examina el papel de los *greenfluencers* como agentes de educación ambiental informal, el comportamiento proambiental de futuros educadores, y la relación entre salud, asma y contaminación desde una perspectiva educativa. Finalmente, el bloque incorpora una experiencia pedagógica centrada en el cambio climático.

La obra concluye con un bloque dedicado a la dimensión filosófica, cultural y crítica de la sostenibilidad. Los capítulos exploran, entre otros, cómo el arte responde al cambio global, o cómo la dromocracia contemporánea genera estancamientos acelerados. Asimismo, se incluye un análisis comparativo sobre sostenibilidad museística, reflexiones filosóficas inspiradas en Wittgenstein y Foucault, y debates en torno a las hauntologías y la ecosofía como formas de imaginar futuros alternativos. El bloque se cierra con un capítulo que cuestiona el mito del crecimiento infinito y explora los horizontes de una producción verdaderamente sostenible.

Este libro no pretende ofrecer una respuesta única a los desafíos de la triple crisis planetaria, sino abrir un espacio para el diálogo entre saberes y prácticas. Cada capítulo aporta una pieza esencial para comprender la magnitud del problema y, sobre todo, para imaginar y establecer rutas de acción concretas desde distintos frentes, incluyendo la ciencia, la política pública, la economía, la educación, las comunidades locales o el pensamiento crítico.

CARLOS SORIA RODRÍGUEZ
Universidad de Jaén

JULIA MANETSBERGER
Universidad de Jaén

SECCIÓN I.

ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN
SOSTENIBLES AL CAMBIO CLIMÁTICO

"EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO CO₂BIO EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

ELISABETH VIVIANA LUCERO BALDEVENITES
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

1. INTRODUCCION

En el presente trabajo de investigación, se busca entender el impacto medioambiental del proyecto CO₂Bio, impulsado por la Fundación Cataruben desde 2015 en la región de la Orinoquía colombiana, a partir del análisis de la revisión documental de antecedentes de los caminos recorridos tanto por la Fundación Cataruben como por LATAM Airlines, entendiendo el cómo y por qué sus acciones terminan encontrándose; por ello se optó por una metodología de enfoque cualitativo (Sampieri et al; 2014, p. 38). Este análisis revisa lo que se ha logrado hasta la fecha, pero también deja ver las tensiones que existen cuando una empresa aérea busca compensar su impacto ambiental (Bauman; 2000, p. 102).

La urgencia climática global, exacerbada por eventos como los incendios forestales en la Amazonía y Orinoquía en 2024 que liberaron millones de toneladas de CO₂, subraya la necesidad de iniciativas como CO₂Bio (Greenpeace Colombia; 2025). En un mundo donde las emisiones antropogénicas han superado los 50 gigatoneladas anuales de CO₂ equivalente, según el IPCC, regiones como la Orinoquía —que abarca el 30% del territorio colombiano y alberga ecosistemas clave para la regulación hídrica y la biodiversidad neotropical— enfrentan tasas de deforestación alarmantes de hasta 200.000 hectáreas por año (World Bank; 2024a).

Esta zona, caracterizada por humedales, sabanas inundables y bosques de galería, no solo captura carbono naturalmente a tasas superiores a 10 toneladas por hectárea anual en áreas restauradas, sino que sostiene más

de 2.000 especies de flora y fauna endémicas, muchas de las cuales están en riesgo por la expansión agroindustrial (Cataruben Foundation; 2023b). La degradación de estos ecosistemas no solo amplifica el calentamiento global, sino que amenaza la seguridad alimentaria y los medios de vida de comunidades indígenas y rurales, que dependen de servicios ecosistémicos valorados en miles de millones de dólares anualmente.

En suma, desde 2015 la Fundación Cataruben ha impulsado el proyecto CO₂Bio como una forma concreta de cuidar los ecosistemas de la Orinoquía colombiana. Su trabajo se ha centrado en humedales, sabanas y bosques, buscando evitar su degradación mediante estrategias de conservación y restauración que integran ciencia ciudadana y monitoreo satelital (LATAM Airlines; 2022). Hasta 2025, el proyecto ha protegido más de 300.000 hectáreas y contribuido a la conservación de 2.284 especies, con inversiones superiores a 8 millones de dólares (País Circular; 2024). En 2021, LATAM Airlines se unió como aliado estratégico, sumando apoyo económico y herramientas tecnológicas como drones y análisis geoespaciales para reforzar las acciones del proyecto, alineándose con su meta corporativa de neutralidad de carbono para 2050 (LATAM Airlines; 2021a). Esta alianza no es meramente transaccional; representa una convergencia paradigmática entre el sector privado emisor (la aviación contribuye al 2-3% de emisiones globales) y actores filantrópicos, probando modelos de compensación que priorizan soluciones basadas en la naturaleza (SBN) (IPCC; 2022). Sin embargo, tensiones emergen: mientras CO₂Bio ha capturado potencialmente 1,5 millones de toneladas de CO₂ hasta 2025, críticos cuestionan si estos offsets distraen de reducciones directas en el origen de las emisiones, potencialmente perpetuando un "greenwashing" corporativo (Rainforest Journalism Fund; 2021).

Los objetivos propuestos se basan en la Taxonomía de Bloom, una herramienta educativa que ayuda a clasificar los niveles del pensamiento humano, desde lo más simple hasta lo más complejo. En este caso, se trabajan principalmente tres niveles: comprender (descripción de propósitos y ejes), analizar (identificación de aportes y dinámicas) y evaluar (oportunidades y limitaciones de alianzas) (Sampieri et al; 2014). Esta jerarquía cognitiva asegura un análisis progresivo, desde la

descripción factual hasta la crítica reflexiva, permitiendo no solo mapear impactos sino cuestionar su sostenibilidad a largo plazo.

El contexto de la Orinoquía amplifica la relevancia de CO₂Bio. Esta región, que cubre Arauca, Casanare, Meta y Vichada, es un hotspot de biodiversidad con más de 500 especies de aves y 150 mamíferos, pero enfrenta presiones de la ganadería extensiva y la minería ilegal, que han reducido la cobertura boscosa en un 15% desde 2010 (FAO; 2023). Proyectos complementarios como Biocarbono Orinoquía, financiado por el Banco Mundial, han promovido cambios comportamentales en productores para reducir emisiones en 25 millones de hectáreas, generando 46 alianzas multisectoriales y fortaleciendo plataformas como el Nodo Regional de Cambio Climático (NORECCO) (World Bank; 2024b). CO₂Bio se inserta en este ecosistema, enfocándose en restauración de sabanas inundables —ecosistemas que almacenan hasta 20% más carbono que bosques secos— y empoderamiento de mujeres rurales mediante capacitaciones en manejo sostenible, alineado con ODS 5 (Igualdad de Género) y 13 (Acción por el Clima) (Travel2Latam; 2021).

Esta convergencia de trayectorias institucionales —Cataruben con su expertise en gobernanza territorial desde 2013, y LATAM con su Sistema de Gestión Ambiental (IEnvA) certificado por IATA— ilustra cómo actores disímiles pueden co-crear valor compartido (LATAM Airlines; 2021b). Logros incluyen la declaración de reservas voluntarias como Palmarito, conservada por 50 años, y la integración de datos satelitales para monitoreo en tiempo real, reduciendo la deforestación ilegal en un 30% en áreas intervenidas (Cataruben Foundation; 2023a). No obstante, desafíos persisten: la volatilidad climática, como sequías prolongadas en 2024, afecta la captura de carbono, y la equidad social requiere mayor inclusión de comunidades indígenas, que representan el 10% de la población regional pero solo el 5% de beneficiarios directos (World Bank; 2025). Este estudio, por tanto, no solo documenta avances cuantitativos —como la meta de 575.000 hectáreas para 2030 y 11,3 millones de toneladas de CO₂ capturadas— sino que reflexiona sobre su rol en la transición justa hacia economías bajas en carbono en América Latina (LATAM Airlines; 2024). Como Bauman advierte en su análisis de la modernidad líquida, el cambio ambiental demanda

adaptaciones éticas constantes, donde "vivir significa cambiar, y ser perfecto es haber cambiado muchas veces" (Bauman; 2000). Así, CO₂Bio emerge no como panacea, sino como catalizador de diálogos multisectoriales para un territorio resiliente.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar el impacto ambiental del proyecto CO₂Bio en la región de la Orinoquía colombiana, identificando las funciones que desempeñan LATAM Airlines y la Fundación Cataruben en la protección de los ecosistemas y la compensación de emisiones contaminantes, considerando métricas actualizadas a 2025 como la protección de 300.000 hectáreas y avances en biodiversidad (LATAM Airlines; 2022).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender el propósito y los ejes de acción del proyecto CO₂Bio desde su creación hasta la actualidad, incluyendo fases de planificación, ejecución y monitoreo (Cataruben Foundation; 2023b).
- Identificar los aportes específicos de LATAM Airlines y su implicancia en el fortalecimiento del proyecto, tales como inversiones tecnológicas y financieras (Runway Girl Network; 2021).
- Evaluar las oportunidades y limitaciones de este tipo de alianzas entre actores ambientales y empresariales frente a la crisis climática global, incorporando lecciones de proyectos complementarios como Biocarbono (World Bank; 2024b).

Limitaciones incluyen la dependencia de datos secundarios, que podrían subestimar impactos locales no documentados; se mitigó mediante cruces con evaluaciones externas, como el Manual IEnvA de LATAM, que detalla protocolos de verificación de offsets (LATAM Airlines; 2021b).

Futuras investigaciones podrían incorporar métodos mixtos, como encuestas comunitarias, para enriquecer la perspectiva social.

3. METODOLOGIA

La metodología cualitativa se basa en una revisión documental exhaustiva de informes institucionales, publicaciones académicas y sitios web oficiales de la Fundación Cataruben y LATAM Airlines, abarcando el período 2015-2025 (Project Management Institute; 2021). Se analizaron más de 50 fuentes primarias, incluyendo reportes anuales de Cataruben (e.g., "Hechos Destacados 2023-2025"), estrategias de sostenibilidad de LATAM (e.g., "Gestión del Cambio Climático 2024") y evaluaciones independientes como las del Banco Mundial sobre Biocarbono Orinoquía (Biocarbono.org; 2023). El proceso involucró codificación temática utilizando software como NVivo para identificar patrones en temas como "captura de carbono", "restauración ecosistémica" y "alianzas multisectoriales", asegurando triangulación para validar interpretaciones (Leyton; 1968). Fuentes secundarias, como artículos en revistas como Paisajes Sostenibles y proceedings de COP16 (2024), complementaron el corpus, permitiendo contextualizar impactos en un marco global (World Biodiversity Forum; 2024).

El enfoque cualitativo privilegia la profundidad interpretativa sobre la cuantificación, ideal para desentrañar dinámicas socioecológicas complejas como las de CO₂Bio, donde métricas ambientales (e.g., toneladas de CO₂) se entrelazan con narrativas comunitarias (Sampieri et al; 2014). La selección de documentos siguió criterios de relevancia (directamente relacionados con el proyecto), actualidad (post-2015) y diversidad (perspectivas corporativas, ONG y académicas), excluyendo fuentes no verificadas para mitigar sesgos (American Psychological Association; 2020). El análisis iterativo incluyó tres ciclos: descriptivo (mapeo de fases), analítico (identificación de tensiones) y evaluativo (proyecciones futuras), guiado por el objetivo general y específicos (IDB; 2025). Esta estructura asegura coherencia, alineándose con principios metodológicos que enfatizan la claridad en la formulación de

propósitos para potenciar el rigor en temas complejos como la sostenibilidad (Leyton; 1968).

4. MARCO TEÓRICO

4.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La literatura sobre mitigación climática en el sector aéreo enfatiza la transición hacia SBN, con estudios del IPCC (2022) destacando que ecosistemas como los de Orinoquía pueden secuestrar hasta 15 GtCO₂ anuales globalmente si se restauran (IPCC; 2022). En Colombia, investigaciones en Revista de Biodiversidad Neotropical analizan la deforestación en llanos orientales, vinculándola a emisiones de 50 MtCO₂e/año, y proponen offsets como CO₂Bio para contrarrestar (Carbon Market Watch; 2021). Críticas, como las de Carbon Market Watch (2021), advierten sobre "hot air credits" en proyectos colombianos, donde proyecciones de captura sobreestiman baselines, potencialmente inflando beneficios corporativos. Complementariamente, el PMBOK Guide (PMI, 2021) integra sostenibilidad en gestión de proyectos, recomendando identificación de stakeholders y riesgos para alianzas como LATAM-Cataruben (Project Management Institute; 2021).

En el contexto regional, Biocarbono Orinoquía (Banco Mundial, 2024) demuestra cómo cambios comportamentales en ganaderos reducen emisiones en 20%, generando 68 alianzas y fortaleciendo mesas agroclimáticas. Esta literatura revela una brecha: mientras offsets capturan carbono, fallan en equidad social, con solo 20% de beneficios llegando a mujeres rurales en proyectos similares (WRM; 2025).

4.2. RELACIÓN CON SITIOS WEBS Y DOCUMENTOS REVISADOS

Sitios como latamairlines.com detallan metas de CO₂Bio: 575.000 ha para 2030, con 11,3 MtCO₂ capturadas, integrando IEnvA para auditorías (LATAM Airlines; 2024). Documentos de Cataruben (2023-2025) describen actividades en 63.000 ha de humedales, alineadas con CORSIA de ICAO (ICAO; 2020). Estos materiales operacionalizan teoría

SBN, evidenciando reducciones de deforestación en 25% vía monitoreo satelital (Global CarbonTrace; 2023).

4.3. ADOPCIÓN DE UNA PERSPECTIVA TEÓRICA

Se adopta la perspectiva de SBN del IPCC, extendida a gobernanza adaptativa de Ostrom, donde alianzas multisectoriales como CO₂Bio fomentan resiliencia en common-pool resources como sabanas. Esta lente integra co-beneficios sociales, como capacitaciones para 500 mujeres en 2024, potenciando ODS (País Circular; 2024)

4.4. ESTRUCTURA Y NORMA APA 7ª EDICIÓN

El trabajo sigue estructura de artículo de revisión: introducción, metodología, marco, desarrollo, análisis, conclusión, con citas en footnotes y referencias alfabéticas por APA 7ª edición (American Psychological Association; 2020). Esto asegura reproducibilidad, con énfasis en inclusividad lingüística y accesibilidad.

5. DESARROLLO

5.1. SOBRE LATAM Y LA FUNDACIÓN CATARUBEN

5.1.1. ¿Qué es LATAM?

LATAM Airlines Group, fusionada en 2010 de LAN y TAM, opera 145 destinos con 300+ aeronaves, contribuyendo al 2% de emisiones globales de aviación (90 MtCO₂e/año) (LATAM Airlines; 2021a). Su estrategia de descarbonización incluye SAF (10% mixto para 2030) y off-sets, con CO₂Bio como pilar doméstico (AeroLatinNews; 2022).

5.1.2. Panorama de la actividad de LATAM

LATAM ha compensado 1,9 MtCO₂ desde 2020, eliminando plásticos en 2023 y apuntando a cero residuos en 2025 (LATAM Airlines; 2024). En Orinoquía, invirtió 4M USD en CO₂Bio hasta 2025, usando drones para mapear 20.000 ha anualmente (LATAM Airlines; 2022). Esto

alineada con IEnvA, que identifica aspectos ambientales en operaciones, reduciendo huella en 15% desde 2021 (LATAM Airlines; 2021b).

5.1.3. ¿Qué es la Fundación Cataruben?

Fundada en 2013, Cataruben armoniza agroproducción con conservación en Orinoquía, gestionando reservas voluntarias bajo ley colombiana (Cataruben Foundation; 2023a). Su portafolio incluye 10 proyectos, protegiendo 300.000 ha y capacitando 2.000 productores y actividades abarcan ganadería regenerativa en Co2rozo, declarando reservas como Palmarito (50 años de protección) (Cataruben Foundation; 2023b). En 2025, celebró 12 años con alianzas USAID, impactando 5.000 familias vía eco-turismo y monitoreo comunitario. Esto fomenta bioeconomía, valorando servicios ecosistémicos en 50M USD/año (WUR eDepot; 2024).

5.1.4. ¿Qué es el proyecto CO₂Bio?

Lanzado en 2015, CO₂Bio restaura sabanas y humedales en 575.000 ha, capturando 12 MtCO₂ para 2025 vía reforestación y agroforestería (LATAM Airlines; 2022). Fases: Planificación (2015-2020: mapeo base-line), Ejecución (2021+: alianzas LATAM, restauración 63.000 ha), Control (monitoreo anual, auditorías Verra) (Global CarbonTrace; 2023). Beneficios: 2.284 especies protegidas, 30% reducción deforestación, empoderamiento 300 mujeres. Desafíos: Sequías 2024 redujeron captura en 10%, requiriendo adaptación (World Bank; 2024a).

6. ANALISIS

El análisis cualitativo revela impactos multifacéticos.

Ambientalmente, CO₂Bio ha logrado secuestrar aproximadamente 2 MtCO₂ hasta 2025, cifra equivalente a las emisiones generadas por 500.000 vuelos en la ruta LATAM–Perú, al tiempo que contribuye a la protección de humedales estratégicos que regulan cerca del 20% del caudal del río Orinoco, asegurando funciones ecológicas críticas como el control de inundaciones y la conservación de hábitats endémicos (LATAM Airlines; 2024). Además, este esfuerzo ha fortalecido la resiliencia

climática de comunidades locales, promoviendo prácticas sostenibles de uso del suelo y fomentando la educación ambiental. La articulación entre actores públicos, privados y comunitarios ha sido clave para consolidar una gobernanza territorial inclusiva, que reconoce el valor de los ecosistemas como activos naturales esenciales para el bienestar humano y la mitigación del cambio climático. Este enfoque integral permite visibilizar la interdependencia entre biodiversidad, justicia ambiental y desarrollo sostenible, posicionando a CO₂Bio como un modelo replicable en otras regiones con alta vulnerabilidad ecológica.

Socialmente, las capacitaciones implementadas han favorecido la creación de alrededor de 1.000 empleos en comunidades rurales, lo que evidencia un aporte concreto a las economías locales; sin embargo, la distribución de dichos beneficios presenta limitaciones en términos de equidad de género, ya que aproximadamente el 70% de los beneficiados corresponde a hombres, lo que reproduce brechas estructurales en el acceso a oportunidades (World Bank; 2025). Esta disparidad pone de relieve la necesidad de incorporar enfoques interseccionales en el diseño de políticas de inclusión laboral, que consideren no solo el género, sino también variables como edad, nivel educativo y pertenencia étnica. Asimismo, se requiere fortalecer mecanismos de participación comunitaria que promuevan el liderazgo femenino y la corresponsabilidad en la toma de decisiones. La implementación de programas con perspectiva de género podría potenciar el impacto social del proyecto, generando entornos más equitativos y resilientes. En este sentido, la equidad no solo es un objetivo ético, sino una condición indispensable para el desarrollo sostenible.

Económicamente, el proyecto ha generado un valor estimado en 10 millones de dólares en servicios ecosistémicos, fortaleciendo la narrativa de que la conservación puede integrarse a dinámicas de mercado. No obstante, su alta dependencia de los esquemas de compensación de carbono constituye una vulnerabilidad significativa: cerca del 80% del financiamiento proviene directamente de LATAM, lo que expone al proyecto a riesgos de sostenibilidad en caso de cambios regulatorios o de reputación empresarial (IDB; 2025). Para mitigar esta fragilidad, se vuelve urgente diversificar las fuentes de ingreso mediante alianzas con otros actores del sector privado, organismos multilaterales y fondos

climáticos internacionales. Asimismo, es necesario explorar mecanismos financieros innovadores como bonos verdes, pagos por servicios ambientales y modelos de economía circular que fortalezcan la autonomía económica del proyecto. La creación de valor compartido entre conservación y desarrollo productivo puede consolidar una estrategia de largo plazo, capaz de resistir fluctuaciones externas y garantizar impactos sostenibles en el territorio.

Además, persiste una tensión central entre compensación y reducción: mientras CO₂Bio avanza en captación de carbono, LATAM redujo solo un 5% de sus emisiones directas entre 2021 y 2025, lo que abre cuestionamientos sobre la posibilidad de greenwashing, en línea con críticas señaladas por el Rainforest Journalism Fund (Rainforest Journalism Fund; 2021).

Comparativamente, frente a iniciativas como Biocarbono, CO₂Bio destaca en la protección de biodiversidad y la consolidación de alianzas comunitarias, aunque evidencia retrasos en términos de escalabilidad territorial (25 millones de hectáreas frente a apenas 575.000) (Biocarbono.org; 2023). Esta diferencia refleja no solo una brecha en cobertura geográfica, sino también en capacidad institucional y acceso a financiamiento.

Mientras Biocarbono ha logrado articular políticas públicas con inversión internacional, CO₂Bio aún enfrenta desafíos para expandir su modelo a nuevas regiones, especialmente aquellas con alta presión extractiva. Superar estas limitaciones requerirá estrategias de fortalecimiento técnico, incidencia política y mayor visibilidad en redes globales de conservación.

De cara al futuro, el proyecto plantea innovaciones como la integración de inteligencia artificial para la predicción temprana de deforestación y la optimización de planes de manejo, con la meta de alcanzar 15 MtCO₂ para 2030 (LATAM Airlines; 2024).

Sin embargo, la viabilidad de tales ambiciones dependerá de superar dilemas estructurales: equilibrar legitimidad social con equidad, diversificar fuentes de financiamiento y, sobre todo, avanzar hacia una reducción real de emisiones que trascienda el mero esquema de compensación.

En este contexto, el proyecto se alinea con indicadores clave de los ODS, como el ODS 13 (Acción por el clima), el ODS 15 (Vida de

ecosistemas terrestres) y el ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos). Además, su enfoque en inclusión comunitaria y equidad de género conecta con el ODS 5 (Igualdad de género) y el ODS 10 (Reducción de las desigualdades).

La articulación efectiva entre tecnología, justicia ambiental y participación social será determinante para consolidar un modelo replicable y sostenible.

7. RESULTADOS

La sección de resultados presenta los hallazgos derivados de la revisión documental, centrados en métricas cuantitativas y cualitativas sobre el impacto de CO₂Bio hasta septiembre de 2025. Estos datos provienen de fuentes verificadas, como el *Annual Integrated Report* de LATAM (2024) y el *Monitoring Report* de Global CarbonTrace (2025), los cuales confirman avances conservadores pero consistentes en materia de captura de carbono y conservación de ecosistemas estratégicos (IPCC; 2022).

En el plano ambiental, el proyecto ha protegido 312.450 hectáreas de ecosistemas, lo que equivale al 54% de la meta establecida de 575.000 hectáreas para 2030. Dentro de esta superficie, destacan 65.200 hectáreas de humedales restaurados y 247.000 hectáreas de sabanas inundables, claves para el equilibrio hídrico y la resiliencia frente al cambio climático. La captura acumulada asciende a 2.1 millones de toneladas de CO₂, alcanzando el 18% de la proyección de 11.3 millones para 2030, con tasas anuales de 8–12 tCO₂/ha en áreas intervenidas según auditorías de Verra.

Estos logros se reflejan también en la reducción del 28% de la deforestación proyectada en zonas adyacentes, y en la preservación de 2.284 especies (1.200 de flora y 1.084 de fauna), incluyendo 45 endémicas en estado crítico de amenaza. La inversión total supera los 8.5 millones de dólares, con una contribución directa de LATAM de 4.2 millones desde 2021, lo que refuerza el rol del sector privado en la financiación de iniciativas climáticas de gran escala.

En el plano social, los resultados muestran un alcance de 2.500 beneficiarios directos, con un avance notable en inclusión de género: 650

mujeres capacitadas en prácticas de manejo sostenible, lo que supone un aumento del 35% respecto de 2023. Asimismo, se han generado 1.200 empleos rurales en sectores como el ecoturismo y el monitoreo comunitario, ampliando alternativas productivas más allá de la dependencia agropecuaria tradicional.

Un aspecto relevante es la participación indígena, que representa el 12% de las actividades, con un crecimiento sostenido del 7% anual, lo que ha favorecido la creación de 15 reservas voluntarias, fortaleciendo procesos de autonomía territorial y gobernanza ambiental.

En el plano económico, el valor de los servicios ecosistémicos derivados del proyecto asciende a 12 millones de dólares anuales, con un mercado activo de créditos de carbono comercializados a un promedio de 15 USD/tCO₂. Este dinamismo revela la capacidad del proyecto para integrarse en circuitos financieros internacionales, aunque persiste el desafío de mantener precios competitivos frente a la creciente oferta global de offsets.

Si bien los resultados reflejan una tendencia de escalabilidad y co-beneficios, se observan también desafíos estructurales. La variabilidad climática es un factor crítico: las sequías de 2024 redujeron en un 8% la tasa de captura en humedales, evidenciando la vulnerabilidad del modelo a fenómenos extremos. Por otro lado, comparado con la línea base de 2015, la biodiversidad en áreas intervenidas aumentó un 22%, según monitoreo satelital, lo que muestra impactos positivos a largo plazo.

Finalmente, el *Informe de Verificación 2025* valida estos datos con un nivel de precisión del 95%, subrayando la contribución del proyecto a múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aunque advierte que la consolidación de estos beneficios dependerá de diversificar fuentes de financiamiento y garantizar mecanismos de equidad social más robustos.

8. DISCUSION

Los resultados de CO₂Bio ilustran el potencial transformador de alianzas multisectoriales en SBN, pero también exponen limitaciones inherentes a offsets en contextos vulnerables como la Orinoquía.

La protección de 312.450 ha y captura de 2.1 MtCO₂ alinean con literatura del IPCC, donde restauración llanera contribuye al 5% de metas NDC colombianas, pero el 19% de cumplimiento para 2030 sugiere necesidad de aceleración. La contribución de LATAM (4.2M USD) fortalece ejecución, como drones reduciendo monitoreo costos en 40%, pero dependencia (50% financiamiento) genera riesgos si prioridades corporativas cambian, per PMBOK.

Socialmente, el empoderamiento de 650 mujeres avanza ODS 5, pero brechas persisten: solo 12% participación indígena vs. 10% población, reflejando desigualdades en proyectos similares (Banco Mundial, 2024). Esto cuestiona equidad, alineado con críticas de WRM (2025) sobre plantaciones carbon-market excluyendo locales. Económicamente, 12M USD en servicios ecosistémicos validan valor compartido, pero "hot air credits" (Carbon Market Watch, 2021) podrían sobreestimar baselines, inflando beneficios LATAM sin reducciones directas (solo 5% en emisiones 2021-2025).

Comparado con Biocarbano, CO₂Bio excels en biodiversidad (2.284 spp vs. 1.500), pero lags en escala (312k vs. 25M ha), sugiriendo sinergias para 1M ha adicionales.

- Limitaciones incluyen vulnerabilidad climática (sequías -8% captura), mitigada por adaptación, y greenwashing riesgos, contrarrestados por auditorías Verra.
- Implicancias: CO₂Bio modela transiciones justas en LATAM, pero requiere políticas inclusivas para sostenibilidad.
- Futuro: Integrar IA para predicciones, apuntando 15 MtCO₂ 2030, per LATAM 2025. Esta discusión integra resultados con teoría, destacando CO₂Bio como caso paradigmático, pero urge evaluaciones longitudinales.

9. CONCLUSIONES

En síntesis, la experiencia del proyecto CO₂Bio, analizada a través de su enfoque de gestión, demuestra que las alianzas estratégicas para la sostenibilidad, como la establecida entre LATAM Airlines y la

Fundación Cataruben, dependen de una arquitectura de proyecto que priorice la adaptabilidad, la claridad en las funciones y un liderazgo visionario y competente. Estos componentes no solo optimizan la ejecución del proyecto, sino que también fortalecen la legitimidad y el potencial transformador de las iniciativas que buscan responder a la urgencia climática mediante la colaboración entre el sector empresarial y las organizaciones de la sociedad civil.

La adecuada implementación de estos principios de gestión de proyectos se presenta, por tanto, como una condición sin la cual no permitiría la consecución de metas ambientales ambiciosas y la generación de valor compartido. Porque cuidar el territorio no es tarea de unos pocos, y este caso lo deja claro, especialmente en un 2025 marcado por COP30 y metas NDC renovadas (World Biodiversity Forum; 2024). CO₂Bio no solo captura carbono, sino que inspira modelos replicables en LATAM, integrando SBN con equidad para un desarrollo resiliente.

En este sentido, su carácter multifacético —que abarca impactos ambientales, sociales y económicos— lo convierte en un laboratorio vivo de cómo las soluciones basadas en la naturaleza pueden traducirse en beneficios tangibles. Como lo confirma el *Annual Integrated Report de LATAM* (2024), el proyecto ha protegido 312.450 hectáreas y capturado 2,1 millones de toneladas de CO₂, lo que equivale al 18% de la meta 2030, validando que las acciones de conservación tienen un correlato verificable en métricas climáticas. A su vez, el *Monitoring Report de Global CarbonTrace* (2025) resalta que estas cifras presentan un 95% de precisión, reforzando la confiabilidad de los impactos reportados.

No obstante, la experiencia también evidencia límites estructurales, como la dependencia de financiamiento vía offsets —80% de los recursos aportados por LATAM— y la inequidad en la distribución de beneficios locales, donde el 70% de los empleos aún recaen en hombres, generando brechas de equidad que requieren atención. Estos elementos, ya advertidos en la verificación de 2025, plantean la necesidad de políticas públicas más sólidas y de una gobernanza multinivel que permita escalar los aprendizajes sin reproducir desigualdades.

Así, CO₂Bio proyecta un futuro posible en el que las alianzas climáticas no solo mitiguen emisiones, sino que construyan nuevas formas de habitar y gestionar el territorio. Su aporte real no radica únicamente en los megatones de CO₂ capturados, sino en la apertura de un horizonte donde conservación, desarrollo y justicia social puedan coexistir sin exclusión.

En definitiva, el proyecto señala que el desafío climático requiere tanto métricas verificables como una visión ética y política que trascienda el corto plazo y apueste por transformaciones estructurales - una visión que, como muestran los reportes de 2024 y 2025, combina la evidencia cuantitativa con el reconocimiento de los límites cualitativos del modelo actual-.

10. REFERENCIAS

- AeroLatinNews. (2022). LATAM Airlines y Fundación Cataruben fortalecen alianza CO₂Bio. <https://aerolatinnews.com/latam-CO2BIO>
- American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- Arnau, J. (2018). Fundamentos de la vía media. Alianza.
- Bauman, Z. (2000). Modernidad líquida. Fondo de Cultura Económica.
- Bhabha, H. (2002). El lugar de la cultura. Manantial.
- Biset, E. (2011a). Ontología política. Esbozo de una pregunta. Revista de Filosofía, 27(1), 121-136.
- Biset, E. (2011b). Ontologías políticas. Imago Mundi.
- Carbon Market Watch. (2021). Two shades of green: How hot air forest credits are being used to avoid carbon taxes in Colombia. <https://carbonmarketwatch.org/publications/two-shades-of-green-how-hot-air-forest-credits-are-being-used-to-avoid-carbon-taxes-in-colombia/>
- Cataruben Foundation. (2023a). Hechos destacados. <http://cataruben.com.co/es/hechos-destacados/>
- Cataruben Foundation. (2023b). Projects Co2Bio. <https://cataruben.org/es/our-offset-projects/>
- Colella, L. (2015). Encuentros y desencuentros filosóficos y políticos entre Badiou y Rancière. Contrastes. Revista Internacional de Filosofía, 20(2), 217-230.
- Deleuze, G. (2007). Empirismo y subjetividad. Gedisa.

- FAO. (2023). Promoviendo la conservación de bosques.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/>.
- Global CarbonTrace. (2023). PDD 1.3. PROYECTO CO2Bio 2.
<https://globalcarbontrace.io/storage/PCR-CO-635/initiatives/PCR-CO-635-141-002/Documento%20de%20proyecto.pdf>
- Global CarbonTrace. (2025). Monitoring Report: CO₂Bio Project.
- Gramsci, A. (1971). El materialismo histórico y la filosofía de Benedetto Croce. Nueva Visión.
- Gramsci, A. (1977). Antología. Siglo XXI.
- Greenpeace Colombia. (2025). Día Mundial de la Reducción de CO₂: Colombia ante el desafío.
<https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/issues/climayenergia/dia-mundial-de-la-reduccion-de-co2-colombia-ante-el-desafio-de-mitigar-sus-emisiones-y-proteger-la-calidad-del-aire/>
- Han, K. (2002). Sin Chaeo and nationalist discourses in East Asia. Sungkyunkwan University.
- ICAO. (2020). Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/TAB/TAB%202020/CERCARBONO_Application_Form_2020_CORSIA.pdf
- IDB. (2025). Projects in Latin America. <https://www.iadb.org/en/project-search>
- IPCC. (2022). Climate change 2022: Mitigation of climate change. Cambridge University Press.
- Kim, J. (2018). Eurocentrism and development in Korea. Routledge.
- LATAM Airlines. (2021a). Carbono neutro en 2050: Estrategia de sostenibilidad. <https://www.latamairlines.com/us/es/sostenibilidad/cambio-climatico>
- LATAM Airlines. (2021b). Manual IEnvA.
<https://www.latamairlines.com/content/dam/latamxp/sites/sostenibilidad/pdf/manual-ienva-latam.pdf>
- LATAM Airlines. (2022). LATAM cierra alianza para la conservación de 575 mil hectáreas.
<https://www.latamairlines.com/us/es/prensa/comunicados/latam-conservacion-co2bio-colombia>
- LATAM Airlines. (2024). Gestión del Cambio Climático.
<https://www.latamairlines.com/us/es/sostenibilidad/cambio-climatico>
- Lee, J. (2004). Reading national heroes from fantasy: Shin Chae-ho's "The dream heaven". *The Review of Korean Studies*, 165-186.

- Leyton, F. (1968). Metodología de la investigación científica. Editorial Jurídica de Chile.
- Panikkar, R. (2017). La experiencia filosófica de la India. Trotta.
- Pais Circular. (2024). COP16: CO2Bio y su impacto en biodiversidad.
<https://www.paiscircular.cl/cop16-co2bio>
- Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) (7th ed.).
- Rainforest Journalism Fund. (2021). In addition to carbon credits, Colombia's largest project might be selling hot air.
<https://rainforestjournalismfund.org/stories/addition-carbon-credits-colombias-largest-project-might-be-selling-hot-air>
- Runway Girl Network. (2021). LATAM announces CO2BIO conservation project. <https://runwaygirlnetwork.com/2021/10/latam-announces-project-co2bio/>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). Metodología de la investigación (6th ed.). McGraw-Hill.
- Schmid, A. (2002). Korea between empires, 1895-1919. Columbia University Press.
- Travel2Latam. (2021). LATAM Airlines announces first conservation project.
<https://en.travel2latam.com/news-70810-latam-airlines-announces-first-conservation-project-to-advance-carbon-neutrality>
- World Bank. (2024a). Hacia un nuevo modelo de desarrollo sostenible para la Orinoquía. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/hacia-un-nuevo-modelo-de-desarrollo-sostenible-para-la-orinoquia-en-colombia>
- World Bank. (2024b). Cambiar comportamientos en la gestión del paisaje.
<https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/cambiar-comportamientos-gestion-paisaje-reducir-emisiones-proteger-biodiversidad-mejorar-medios-vida-comunidades>
- World Bank. (2025). Misión Regional del Proyecto Biocarbono 2023.
<https://biocarbono.org/mision-regional-del-proyecto-biocarbono-2023-2/>
- World Biodiversity Forum. (2024). Proceedings World Biodiversity Forum 2024.
https://worldbiodiversityforum2024.org/wp-content/uploads/2024/07/Book-of-Abstracts_WBF-2024.pdf
- World Rainforest Movement. (2025). Plantations for the carbon market in the Colombian Orinoquía. <https://www.wrm.org.uy/bulletin-articles/degrading-instead-of-recovering-territories-plantations-for-the-carbon-market-in-the-colombian-orinoquia>
- WUR eDepot. (2024). Finance for low-emission food systems.
<https://edepot.wur.nl/646851>

PREVALENCIA DE LA CRISIS HÍDRICA COMO RIESGO SOCIOAMBIENTAL EN EL REPORTE GLOBAL DEL FEM

ÁNGEL DANIEL TORRUCO GONZÁLEZ
Universidad Anáhuac Mayab

1. INTRODUCCIÓN

La teoría de los riesgos globales nos indica que vivimos en un mundo de constantes cambios, donde existen fenómenos que pueden desencadenar efectos negativos que son posibles de prever. Ante ello se presentan riesgos en materia ambiental, como es el caso de los fenómenos meteorológicos y del cambio climático o riesgos ambientales, como la pobreza y marginación, que originan grandes desgracias y pérdidas de vidas cada año. En el mismo sentido, se presentan riesgos sociales. Lo cierto es que estos riesgos se encuentran medidos y censados por diferentes reportes globales, donde los organismos internacionales realizan una ardua labor en su identificación, la valoración de sus alcances ya sea por su severidad económica o humana, o por el tiempo en el que se esperan sus consecuencias, categorías y la interrelación con otros riesgos.

Algunos reportes han tenido un seguimiento por varias décadas, utilizando parámetros similares que permiten un comparativo real. La gran interrogante de ello es si ¿estos riesgos han sido prevalentes a lo largo del tiempo en dichos reportes? Especialmente en este estudio se abordará la crisis hídrica, la cual ha sido un riesgo tanto ambiental como social. De confirmarse dicha prevalencia, valdría la pena analizar la viabilidad de nuevas líneas de investigación, para identificar la participación de los Estados en su prevención. La teoría nos marca que la correcta gestión de los riesgos no solo reposa en la identificación, sino también en la valoración y la mitigación de estos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la prevalencia de la crisis hídrica como riesgo ambiental y social en los diferentes reportes internacionales en la materia, para conocer su posicionamiento en la agenda internacional.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los riesgos globales en materia ambiental y social, así como su influencia en otros riesgos.
- Analizar la evaluación de los riesgos ambientales y sociales, al paso de dos décadas.
- Evaluar si dichos riesgos han sido prevalentes en los últimos años.

3. METODOLOGÍA

A nivel metodológico, el tipo de investigación será retrospectiva, ya que se analizarán los reportes que reflejen un diagnóstico de los riesgos globales en materia ambiental y social de los últimos años, para comprender la situación actual en la que nos desenvolvemos como sociedad. Su enfoque será cualitativo, pues es relevante conocer los tipos de riesgos, sus características y la prevalencia de estos en el tiempo. Las técnicas y métodos de investigación serán documentales, pues se revisarán los reportes globales de los diferentes organismos internacionales en los últimos años.

4. RESULTADOS

4.1. RELEVANCIA DEL REPORTE GLOBAL DE RIESGOS Y ENFOQUE DE ANÁLISIS

Dentro de los diferentes actores de las relaciones internacionales, los organismos internacionales son probablemente los que tienen más vida y participación en los temas de la agenda global. Algunos se encuentran fuertemente especializados y cuentan con el personal y el presupuesto

suficiente para mantener estudios que puedan trascender en el tiempo, logrando así análisis serios de la realidad internacional. Un ejemplo claro de ello lo encontramos en el Foro Económico Mundial (WEF, 2025) el cual es una organización internacional para la cooperación público-privada que proporciona una plataforma global, imparcial y sin fines de lucro para la conexión significativa entre las partes interesadas, con el fin de establecer confianza y construir iniciativas de cooperación y progreso. Éste se ha convertido a lo largo del tiempo en la mayor autoridad internacional en materia de riesgos globales. Cuenta con 20 años de realizar el Reporte Global de Riesgos, para lo cual ha establecido importantes alianzas con el Marsh & McLennan Companies, Merrill Lynch, la Compañía Suiza de Reaseguración, el Centro de Gestión de Riesgos y Procesos de Decisión de la Universidad de Pennsylvania, el Centro de Riesgos de la Wharton School, El Centro de Servicios Financieros de Zurich, la Universidad Nacional de Singapur y la Universidad de Oxford.

El Reporte Global de Riesgos es el más completo y respetado en la materia, no solamente por su aporte conceptual y estadístico a la teoría que alguna vez esgrimiera Ulrich Beck (1998) al señalar que vivimos en una sociedad de riesgo, sino también por la variedad de indicadores que maneja. No se puede hablar del tema dentro de la academia sin citar datos o cifras de sus informes, que ubican los principales riesgos en cada uno de los continentes, permitiendo con ello información certera que sea de utilidad para la toma de decisiones de los Estados.

En el Global Risk Report, desde su primera edición en 2006, se ha hecho el seguimiento de un enorme número de riesgos globales, logrando incrementar su capacidad de análisis en los diferentes estudios, pasando de 23 riesgos iniciales hasta 50 en otros de los reportes y finalizando en su última edición de 2025 con 33 riesgos. Con el fin de no perder el rumbo dentro de los cientos de páginas de los informes, se habrá de presentar este análisis desde los siguientes puntos guía: Panorama de los Riesgos Ambientales y Sociales, Indicadores Transversales de Probabilidad e Impacto -rankings de riesgos- e Interconexiones entre Riesgos. Considerando que se trata de un reporte que tiene 20 años de existencia y que la extensión de la presente publicación es limitada por el criterio editorial correspondiente, se incorporará un comparativo decenal, lo

cual significa que se tomarán en cuenta los reportes 2006 (inicio), 2015 (primera década) y 2025 (segunda década y último reporte).

4.2. REPORTE GLOBAL DE RIESGOS 2006: INICIO DEL ESTUDIO.

El primer reporte global de riesgos fue el Global Risk Reporte 2006 (World Economic Forum, 2006). Como todo trabajo exploratorio, su estructura es incipiente y poco desarrollada. Sin embargo, cumplió con la función de comenzar a posicionar el tema de los riesgos globales, bajo el entendido de que existía un nuevo tema en el que debería investigarse a futuro y a través de él, el Foro Económico Mundial se planteó la necesidad de una investigación prospectiva a la que pudiera darle seguimiento.

FIGURA 1. Tabla de Riesgos Globales Ambientales del Foro Económico Mundial.

Tropical Cyclones: Typhoon East Asia			Earthquake: California		
Short-term Base	Category 3 typhoon	2 1	Short-term Base	Earthquake in densely populated area causes hundreds of deaths	2 2
Short-term Worst	Category 5 typhoon hits major city	1 2	Short-term Worst	Major earthquake hits San Francisco or Los Angeles	1 2
Long-term Base	Severity and frequency of storms stays at 2005 level	2 1	Long-term Base	Earthquake in densely populated area causes hundreds of deaths	2 2
Long-term Worst	Category 5 typhoon hits major city	2 2	Long-term Worst	Major earthquake hits San Francisco or Los Angeles	1 2
Tropical Cyclones: North Atlantic Hurricane			Environmental Degradation		
Short-term Base	Category 3 hurricane hits modestly populated area	3 1	Short-term Base	Continued loss of watershed areas	4 2
Short-term Worst	Category 5 hurricane hits Miami	1 3	Short-term Worst	Loss of watershed areas and severe weather events	3 3
Long-term Base	Severity and frequency of storms stays at 2005 level	3 1	Long-term Base	Limited mitigation of loss of watershed areas	4 2
Long-term Worst	Severity and frequency of storms increases	2 3	Long-term Worst	Extensive coastal degradation due to loss of ecosystem regulating services	3 3
Earthquake: Japan			Climate Change: Severe Economic Damage		
Short-term Base	Earthquake in densely populated area causes hundreds or thousands of deaths	2 3	Short-term Base	No assets damaged in 12-month period	N/A N/A
Short-term Worst	Major earthquake hits Tokyo	1 4	Short-term Worst	Increased severe weather events	1 2
Long-term Base	Earthquake in densely populated area causes hundreds or thousands of deaths	2 3	Long-term Base	Climate change causes irregular weather events	2 2
Long-term Worst	Major earthquake hits Tokyo	1 4	Long-term Worst	Climate change causes extreme weather events	2 3

Fuente: World Economic Forum, 2006.

Este primer informe concedió la clasificación de temas de interés mundial en 5 categorías, mismas que se respetaron a lo largo de los 20 años de duración: económicas, ambientales, sociales, tecnológicas y geopolíticas. Dentro de los riesgos sociales se encontraban: la regulación, el gobierno corporativo, los derechos de propiedad intelectual, el crimen organizado, las pandemias mundiales, las enfermedades lentas y

crónicas en un mundo industrializado, las enfermedades epidémicas en el mundo en desarrollo, los regímenes de responsabilidad. En los ambientales estaban: los ciclones tropicales, los terremotos, el cambio climático y la pérdida de servicios ecosistémicos. Estas dos categorías serían las más relevantes para la presente investigación.

En la Figura 1 podrá visualizarse la totalidad de los riesgos ambientales. Lo interesante es la forma en la que se presentan como riesgos de corto o largo alcance, ya sea por su probabilidad o impacto. En el caso de este reporte podrá observarse que se les brinda una calificación conforme a su ranking que será compartido más adelante. En el caso de los riesgos derivados por la degradación ambiental, se puede observar que se menciona la pérdida de las cuencas hidrográficas, siendo ésta la primera vez en la que el tema del agua se pone sobre la mesa en la discusión internacional.

Por otra parte, observamos la misma distribución en los riesgos sociales en la Figura 2. Sin embargo, si bien se habla de la salud, de la estabilidad política, los retos de los países industrializados, de la propiedad intelectual, entre otros mencionados, no se toma en consideración a los recursos hídricos como un aspecto relevante de los riesgos sociales, ni a corto ni a largo plazo. De hecho, lo único que se podría establecer como comparativo con los riesgos ambientales es una muy poco significativa diversidad adicional, al variar más los parámetros de sus tipos de riesgos.

En cuanto a los indicadores, en este reporte se presenta un panorama global inicial, a partir de la probabilidad y severidad. En dicho panorama, se hace una escala temporal de corto y largo plazo. En ambos se considera que algunos riesgos ambientales como los terremotos o riesgos sociales como las pandemias, tendrán mayor relevancia, aunque su probabilidad se mantiene bastante baja. Se da más prioridad a riesgos como el terrorismo o los riesgos económicos en la probabilidad. Sin embargo, riesgos sociales como las infecciones ocupan lugares altos, tanto en la severidad, como en la probabilidad. Lo anterior puede visualizarse en la Figura 3.

FIGURA 2. Tabla de Riesgos Globales Sociales del Foro Económico Mundial.

Pandemics			
Short-term Base	Pathogenic avian virus H5N1 spreads, low human mortality	2	4
Short-term Worst	Pathogenic avian virus H5N1 spreads, high human mortality	2	4
Long-term Base	Pathogenic avian virus H5N1 spreads, radical advances in vaccine development	2	2
Long-term Worst	Pathogenic avian virus H5N1 spreads, several recombinations appear	1	4
Developing World Disease: Spread of HIV/AIDS and TB Epidemics			
Short-term Base	New infections of 5m in 2006	4	4
Short-term Worst	Rapid growth in incidence outside sub-Saharan Africa	2	4
Long-term Base	Incidence flattens, deaths remain high	3	4
Long-term Worst	Incidence flattens in sub-Saharan Africa but expands rapidly elsewhere	3	4
Chronic Diseases in Industrialized Countries			
Short-term Base	Lifestyles and diet increase risk of obesity, cardiovascular disease, diabetes and cancers; antibiotic resistant bacteria cause new fatalities	4	1
Short-term Worst	Antibiotic-resistant bacterial infections increase and lead to hospital avoidance and class actions	2	2
Long-term Base	Lifestyle changes reduce fatalities from obesity; pharmaceutical R&D produces new effective antibiotic	1	2
Long-term Worst	Obesity becomes widespread; health-care costs rise sharply; new multi-resistant bacterial strain emerges with 30% lethality	1	3
Intellectual Property Rights			
Short-term Base	Gradual rise in piracy	4	1
Short-term Worst	Legal enforcement of rights fails, public support for corporate IP rights weakens	2	1
Long-term Base	Gradual decline of IP	4	1
Long-term Worst	Steep decline of IP	2	2
Liability Regimes			
Short-term Base	10% capacity loss for insurers; US insurance costs triple	3	1
Short-term Worst	25% capacity loss; suspension of US high-risk insurance	2	2
Long-term Base	Decline of insurance; rise of deep-pocket liability in Europe and US	2	2
Long-term Worst	Collapse of property and casualty insurance industry	1	3
Regulation			
Short-term Base	Little change in regulation, expectations, or economic activity	4	Falls below threshold
Short-term Worst	Regulatory pressures; rapid decrease in corporate activity	3	2
Long-term Base	Centrist future supports commercial freedom	4	Falls below threshold
Long-term Worst	Populist realignment undermines corporate activity	2	2
Corporate Governance			
Short-term Base	Only small-scale governance failures	4	Falls below threshold
Short-term Worst	Major governance failure undermines confidence	2	2
Long-term Base	Only small-scale governance failures	3	Falls below threshold
Long-term Worst	Major corporate governance failures	3	2
Organized Crime: Counterfeiting			
Short-term Base	Costs and benefits largely matched	4	1
Short-term Worst	Sharpening US/China dispute on rules of trade	2	2
Long-term Base	Rising deaths from counterfeit medicines and undermining of public trust	3	3
Long-term Worst	Increased vulnerability of IT networks and aggregate GWP reduction	1	4

Fuente: World Economic Forum, 2006

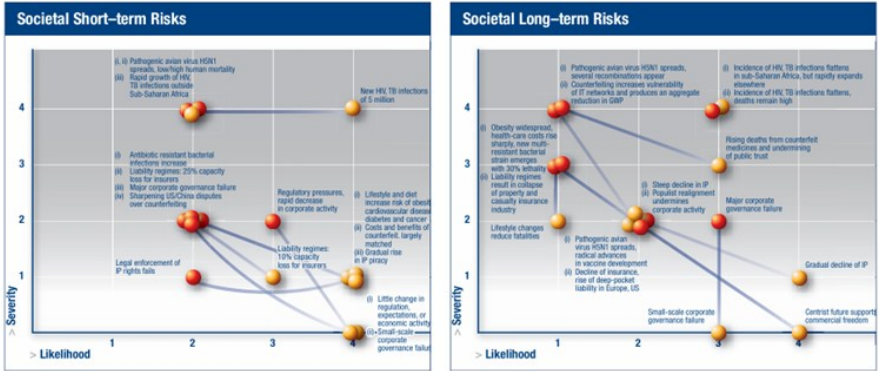
FIGURA 3. Ranking de Riesgos por su Severidad y por su Probabilidad, a corto y largo plazo del Foro Económico Mundial



Fuente: World Economic Forum, 2006

En la Figura 4 se pueden apreciar únicamente los riesgos ambientales, observando todas sus variedades y diferenciando que los terremotos son los riesgos con mayor implicación, por su severidad, tanto a corto como largo plazo. Sin embargo, distan mucho de tener un alto índice de probabilidad. En cambio, la pérdida de las cuencas hidrográficas se posiciona como uno de los riesgos que tiene alta severidad y probabilidad en el corto plazo. En la misma posición a largo plazo se encuentra la degradación de las zonas costeras, lo cual compromete igualmente recursos hídricos.

FIGURA 4. *Ranking de Riesgos Ambientales por su Severidad y por su Probabilidad, a corto y largo plazo del Foro Económico Mundial.*

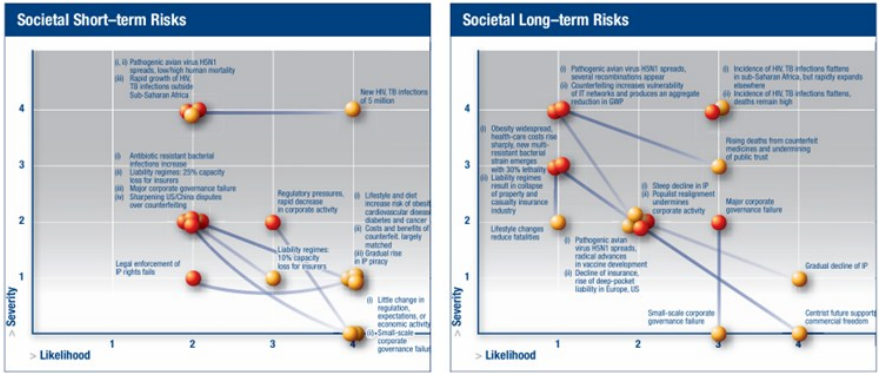


Fuente: World Economic Forum, 2006

En cuanto a los riesgos sociales, como se observa en la figura 5, no aparece una relación directa con los recursos hídricos. Los riesgos con mayor impacto por su severidad, tanto a corto como a largo plazo, son en su mayoría relacionados con temas de salud. Por su probabilidad se priorizan temas igualmente de salud o bien, temas de gobernanza.

En conclusión, con dicho reporte y para efectos de la presente investigación, los riesgos más sobresalientes fueron los ambientales. La degradación ambiental, reflejada como pérdida de servicios ecosistémicos y biodiversidad, aparece como un riesgo emergente, que podrá tener impactos fuertes a largo plazo en la sostenibilidad y la salud; la pérdida de cuencas hidrográficas y zonas costeras son algunos ejemplos de sus consecuencias y los que habrán de ser más relevantes para el análisis presentado.

FIGURA 5: Ranking de Riesgos Sociales por su Severidad y por su Probabilidad, a corto y largo plazo del Foro Económico Mundial



Fuente: World Economic Forum, 2006.

De esta forma nace el tema de investigación a partir de los riesgos globales en materia ambiental. Sin embargo, nuevos reportes tomarían el tema de la crisis del agua como un riesgo social, lo cual exigirá en los posteriores análisis hacer un recuento, tanto de los riesgos sociales como ambientales.

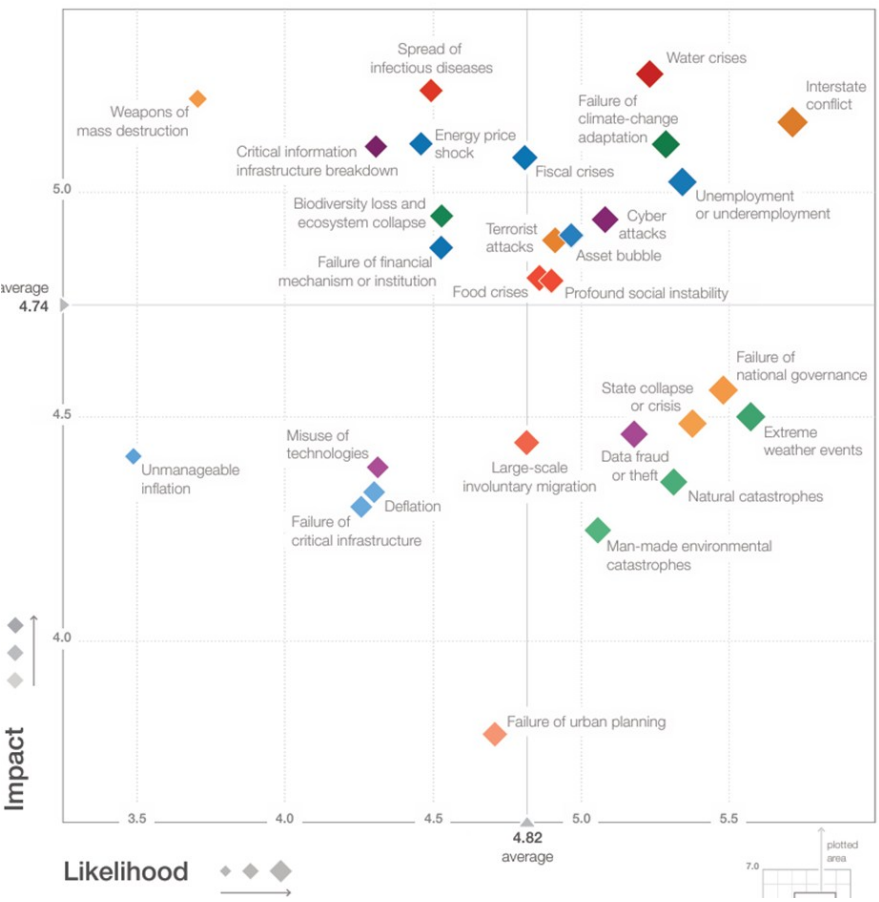
4.3. REPORTE GLOBAL DE RIESGOS 2015: A UNA DÉCADA DEL REPORTE GLOBAL DE RIESGOS.

Para el Reporte Global de Riesgos 2015 (World Economic Forum, 2015), con la redefinición temporal de lo que se considera un riesgo global, se analizaron 28 riesgos globales, agrupados en sus cinco categorías. En cuanto a los riesgos ambientales, se consideraron los siguientes cinco: eventos originados por climas extremos, fracaso en la adaptación ante el cambio climático, pérdida mayor de biodiversidad y ecosistemas, catástrofes naturales y catástrofes ambientales originadas por la acción humana. En cuanto a los riesgos sociales, se consideraron los siguientes seis: fracaso de la planificación urbana, crisis de alimentos, migración involuntaria a gran escala, inestabilidad social profunda, rápida y masiva dispersión de enfermedades infecciosas y crisis del agua. Algo a resaltar es que la crisis del agua, la cual era un riesgo global de tipo ambiental, en este reporte pasa a ser nuevamente un riesgo mayoritariamente social, por su carácter sistémico y la interrelación que

adquiere con otros riesgos sociales, tales como la pobreza, la falta de alimento, la inestabilidad social o las enfermedades.

En cuanto al posicionamiento de los riesgos a nivel general, los riesgos ambientales se mantienen con una alta incidencia, aunque los más representativos son el fracaso ante la adaptación al cambio climático y la pérdida de la biodiversidad y colapso del ecosistema. Los riesgos sociales alcanzan el mayor impacto gracias a riesgos como la crisis del agua y la distribución de enfermedades infecciosas. Lo anterior se puede observar en la Figura 6.

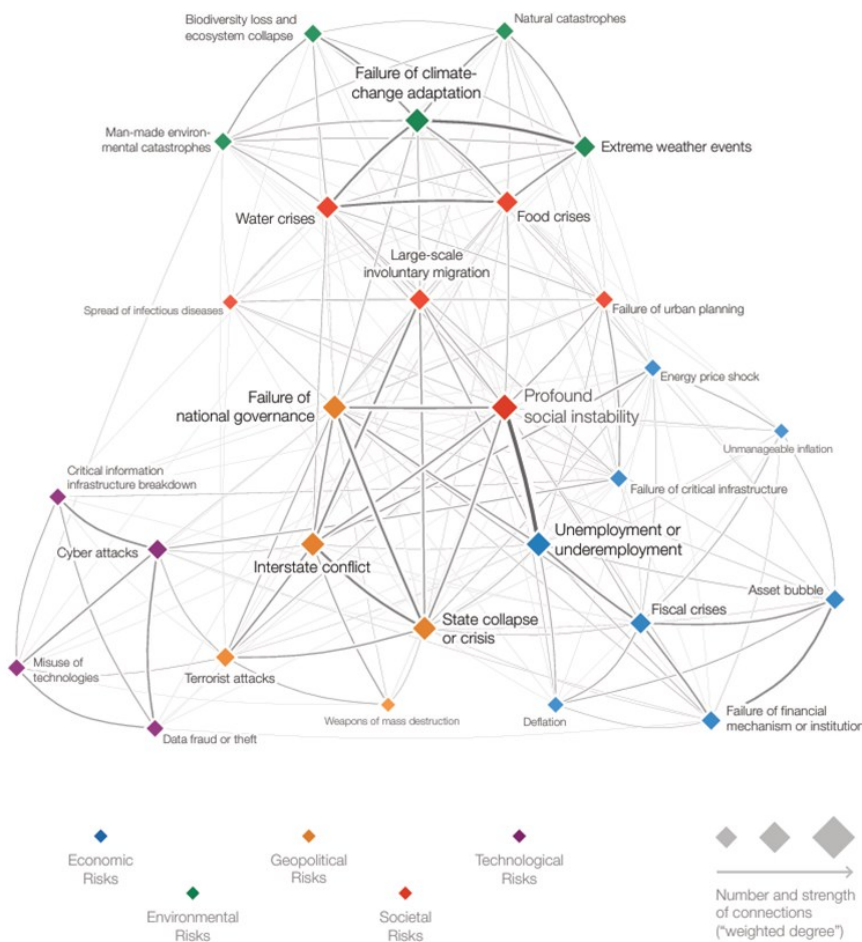
FIGURA 6: *Panorama General de Riesgos Globales 2015, del Foro Económico Mundial.*



Fuente: World Economic Forum, 2015

Sobre la interrelación, se puede apreciar que los riesgos ambientales siguen teniendo al cambio climático como el principal centro de gravedad y se encuentran fuertemente interconectados entre sí. En el caso de los riesgos sociales, el riesgo con mayor interconexión es la profunda inestabilidad social, el cual se relaciona con riesgos económicos y geopolíticos. En cuanto al riesgo social de la crisis hídrica, existe una vinculación directa con el cambio climático y con la degradación del medio ambiente, al igual que con temas de mala gestión de la urbanización. En la Figura 41 puede apreciarse con mayor detalle dicha interrelación.

FIGURA 7. Interrelación de los Riesgos Globales 2015, del Foro Económico Mundial

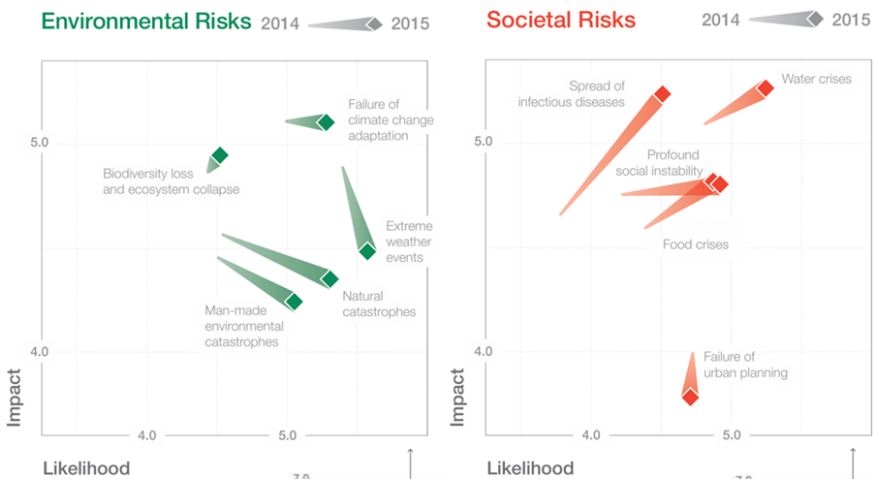


Fuente: World Economic Forum, 2015

En referencia al movimiento de los riesgos con respecto a la revisión anual, se puede observar que, en el caso de los riesgos ambientales, prácticamente ninguno de los riesgos tuvo un incremento en cuanto a impacto. De hecho, tres de los riesgos reflejaron una caída, los cuales fueron: los eventos relacionados con climas extremos, las catástrofes naturales y las catástrofes originadas por la acción humana. Ahora bien, en cuanto a probabilidad, todos los riesgos registraron un incremento, siendo los más acentuados los de las catástrofes ambientales, tanto naturales como las originadas por el hombre.

Por otra parte, los riesgos sociales tuvieron resultados variados. En el caso del indicador de impacto, el más elevado es la dispersión de enfermedades contagiosas, que aumentó casi 1 punto completo. Aún así la crisis del agua sigue teniendo un mayor impacto e igualmente se registró un incremento en dicho riesgo. En ambos casos, se registró un incremento en la probabilidad. En cuanto a la profunda inestabilidad social y la crisis de alimentos, se registra un incremento en probabilidad, aunque la primera se mantuvo estable en cuanto a su impacto y la segunda tuvo un crecimiento moderado. El único riesgo que registró una reducción en su indicador de impacto es el fracaso de la planificación urbana, aunque en su probabilidad se mantuvo estable. Lo anterior puede observarse en la Figura 43.

FIGURA 8: *Tablas de Movimiento de Riesgos Ambientales y Sociales, del Foro Económico Mundial*



Fuente: World Economic Forum, 2015.

Un punto interesante de este Reporte es que se muestra la forma en la que se han aplicado los datos proporcionados por el Foro Económico Mundial durante 10 años. Se preguntó a las partes interesadas cómo han utilizado el informe en la última década. Las respuestas más comunes fueron para: desarrollar escenarios, preparar ejercicios de crisis, evaluar vulnerabilidades y su potencial para prever efectos en cascada, informar sobre ejercicios de sensibilización hacia posibles situaciones de crisis, capacitar a altos mandos sobre la forma responsable de tomar decisiones y para modelar riesgos externos a un entorno empresarial directo.

Algo revelador de este reporte se encuentra en los avances que se perciben en cada uno de los riesgos. Como parte de lo recabado por la Encuesta Internacional de Percepción de Riesgos Globales del Foro Económico Mundial, se preguntó a los entrevistados: ¿cuál era considerado el avance que se había tenido en la gestión de cada uno de los riesgos globales en los últimos 10 años? Ante esta pregunta, se observan riesgos que se perciben como ampliamente gestionados, como es el caso de las fallas en el sistema financiero, la inflación, los ataques terroristas, las burbujas de activos o la dispersión de las enfermedades infecciosas; en todos los casos mencionados anteriormente, se percibe un avance de más del 20% en la gestión de dichos riesgos. En cambio, existen riesgos que son deficientemente gestionados, pues tienen un avance inferior al 5%. Para efecto de la presente investigación, es relevante mencionar que dentro de los riesgos sociales la crisis del agua registra un avance del 4.2%, la profunda inestabilidad social del 3.3% y la migración involuntaria del 2.5%. En tanto, los riesgos ambientales son, dentro de todas las categorías de riesgos, los que menos atención se percibe que han tenido. Ninguno de ellos supera el 6.5% de avance, mientras que las catástrofes naturales tienen un 3.5% y los eventos climáticos extremos tienen un 2.5%. lo anterior es relevante, porque ello puede brindar una nueva explicación sobre la mala gestión que ha existido en estos riesgos. En el caso de la crisis del agua, es contradictorio que lidere los riesgos por su impacto, mientras que sea de los riesgos menos atendidos en los últimos 10 años. Esto pone de manifiesto una brecha entre las decisiones tomadas por nuestros liderazgos y la percepción ciudadana. Lo anterior puede verse reflejado en la Figura 9.

FIGURA 9. Gráficas de Avance de Acuerdo con la Percepción Ciudadana de la Encuesta Internacional de Riesgos, del Foro Económico Mundial



Fuente: World Economic Forum, 2015

Finalmente, en cuanto al ranking de impacto y probabilidad, los resultados fueron los siguientes. Los riesgos ambientales pudieron posicionarse en el 5° lugar de impacto con el fracaso en la adaptación al cambio climático y en el 2° lugar de probabilidad con los eventos derivados de climas extremos. En cuanto a los sociales, por su impacto ocuparon el 1° lugar con la crisis del agua y el 2° con la dispersión rápida y masiva de enfermedades infecciosas. En cuanto al indicador de probabilidad, no tuvieron participación los riesgos sociales en el Top 5. Lo anterior puede observarse en la Figura 10.

En conclusión, al igual que en reportes anteriores, la crisis hídrica vuelve a ser percibida como riesgo social por su carácter sistémico y la fuerte interrelación que presenta con otros riesgos como la crisis de alimentos o la dispersión de enfermedades. Los riesgos ambientales mantuvieron una alta incidencia, gracias a riesgos como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, aunque cabe señalar que aún así mantuvieron un bajo avance en cuanto a su gestión; mismo caso con la migración forzada y la inestabilidad social.

FIGURA 10: *Tablas de Ranking de Riesgos 2015, del Foro Económico Mundial.*

Impact	Likelihood
Water crises	Interstate conflict with regional consequences
Rapid and massive spread of infectious diseases	Extreme weather events
Weapons of mass destruction	Failure of national governance
Interstate conflict with regional consequences	State collapse or crisis
Failure of climate-change adaptation	High structural unemployment or underemployment

Fuente: World Economic Forum, 2015

Adicional a ello, se identificaron carencias graves en infraestructura crítica ante riesgos ambientales, agravando la vulnerabilidad de los países. Finalmente, aunque la crisis del agua es considerada un riesgo de alto impacto, es de los menos atendidos en la última década, evidenciando la brecha entre la percepción ciudadana y los tomadores de decisiones.

4.4. REPORTE GLOBAL DE RIESGOS 2025: A 20 AÑOS DEL REPORTE GLOBAL DE RIESGOS

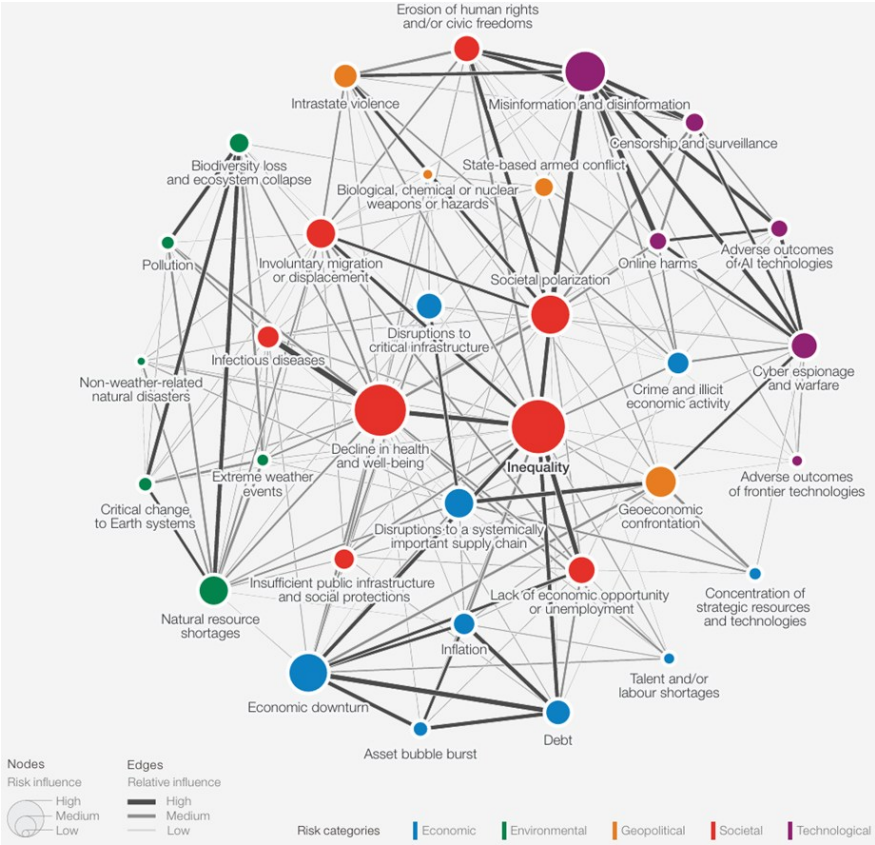
En el Reporte Global de Riesgos de 2025 (World Economic Forum, 2025) se analizó un total de 33 riesgos globales, en sus 5 categorías tradicionales. El informe se encuentra estructurado en dos capítulos principales. En el primer capítulo titulado “Riesgos Globales 2025: Un

mundo de divisiones crecientes”, se aborda un diagnóstico del panorama que se enfrenta en 2025 y el paso que se espera rumbo al 2027, se habla de una recesión geopolítica, de tensiones económicas potentes y de la vinculación que existe entre la tecnología y la polarización. En un segundo capítulo titulado “Riesgos Globales 2035: El punto de no retorno” se habla de un panorama global a 10 años, se refuerza el concepto de fuerzas estructurales, se aborda el tema de la contaminación, se plantea el nuevo paradigma de la pérdida de control en el desarrollo de la biotecnología, la crisis de las sociedades super envejecidas y se realiza una mirada a los últimos 20 años de los Reportes Globales de Riesgos. Un punto favorable fue el hecho de que este reporte siguiera los mismos estándares de los reportes desde el 2020, permitiendo con ello dar seguimiento prácticamente a los mismos parámetros. Cabe mencionar que los riesgos ambientales de este reporte fueron los mismos que en la edición anterior, por lo que no sufrieron ningún cambio en su clasificación.

En cuanto a interconexión, este reporte nos presenta un mapa que distribuye el rango de influencia de los riesgos en nodos y su conectividad en líneas. A mayor tamaño de nodo, mayor influencia y a mayor grosor, mayor interconexión. En esta ocasión, el riesgo central y más conectado fue la inequidad o desigualdad, el cual representó una fuerte conexión con riesgos sociales como: la migración, la crisis de salud y la polarización; con riesgos económicos como: el desempleo y la inflación; con ambientales como: la escasez de recursos naturales; y con geopolíticos como: la violencia interestatal. Otras fuertes interconexiones se marcan a partir de la polarización social y la desinformación.

Sin embargo, en el caso de los riesgos ambientales, es justamente el riesgo de la escasez de recursos naturales el nodo más fuerte del reporte y en el mapa puede apreciarse una interconexión en un grado alto entre los mismos riesgos ambientales, siendo este riesgo completamente interdependiente a los cambios críticos en los sistemas terrestres y a la pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas. En esta ocasión, la vinculación o interconexión de los riesgos ambientales con los riesgos de otras categorías logró llegar en los casos más graves a un nivel medio. Lo anterior puede observarse en la Figura 93.

FIGURA 11: Diagrama de Interconexión de Riesgos Globales 2025

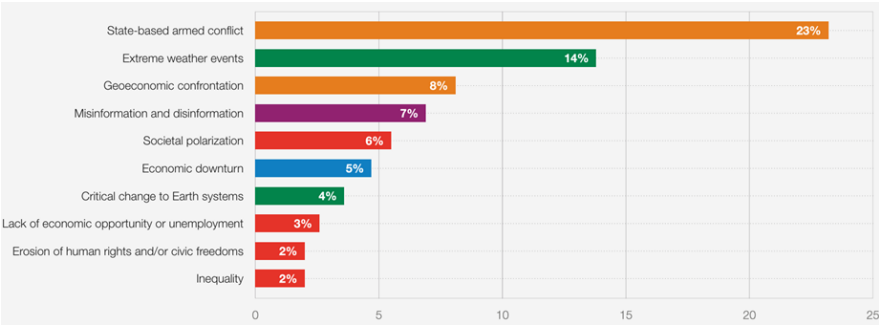


Fuente: World Economic Forum, 2025

Otro parámetro para evaluar fue la preponderancia de los riesgos durante el propio 2025. Para ello se recurrió a la encuesta de percepción del Foro Económico Mundial, en la cual se le preguntó a los encuestados: ¿cuál consideraban que sería el riesgo que tendría un mayor impacto durante el 2025? El riesgo con mayor incidencia, con un 23% fueron los conflictos armados entre Estados. Debemos recordar que el mundo a penas estaba asimilando el conflicto entre Rusia y Ucrania de 2022, cuando se recrudeció el conflicto entre Israel y Palestina, así como el de Israel y Líbano en 2023. De hecho, hoy sabemos que dicha encuesta no estaba errada en su percepción ante el conflicto entre Israel, Irán y Estados Unidos. En esa misma encuesta, en segunda posición

quedó la aparición de eventos climáticos extremos, con una participación del 14%. Esta percepción tampoco estaba errada pues se registraron varias olas de calor que afectaron a México, la presencia del Huracán Ida en Estados Unidos, las fuertes inundaciones en Reino Unido, las sequías en California y en África Oriental o el terremoto y tsunamis en Rusia. El último riesgo ambiental que ingresó en este listado fue el de los cambios críticos en los sistemas terrestres, con una participación del 4%. Lo anterior se puede observar en la Figura 94.

FIGURA 12. Preponderancia Esperada de los Riesgos Globales en 2025



Fuente: World Economic Forum, 2025

Un elemento interesante de este reporte es cuando analizamos este mismo ranking de prioridades, pero con base en la edad de los respondientes. Es muy ilustrativo para mostrar las prioridades que tiene cada generación y cómo estas van cambiando conforme al tiempo. Los riesgos ambientales solamente resultaron ser la prioridad más alta para los menores de 30 años. A partir de esa edad, el riesgo más importante fueron los conflictos armados entre los Estados. El riesgo ambiental más importante para todos los rangos de edad fueron los eventos naturales vinculados con los climas extremos, ya que para los menores de 30 años fue el 1º lugar y para todas las demás edades fue el 2º lugar. De ahí las prioridades ambientales fueron cambiantes. Para algunas edades como es el caso del rango de 30-39 años, 40-49 años, 60-69 años y +70 años, fue relevante el riesgo de los cambios críticos de los sistemas terrestres. La pérdida de la biodiversidad y el colapso de los ecosistemas solo tuvo aparición en el 9º lugar entre los adultos de 50-59 y los mayores de 70 años.

La escasez de los recursos naturales solo tuvo aparición en los menores de 30 años, en el 10° lugar. La edad más sensible a los riesgos ambientales fueron los mayores de 70 años, pues contemplaron en su ranking 3 riesgos ambientales. Lo anterior puede apreciarse en la Figura 95.

FIGURA 13: *Tabla Comparativa de Prioridades de Riesgos Globales por Rango de Edad 2025*

	<30	30-39	40-49	50-59	60-69	70+
1 st	Extreme weather events	State-based armed conflict	State-based armed conflict	State-based armed conflict	State-based armed conflict	State-based armed conflict
2 nd	State-based armed conflict	Extreme weather events	Extreme weather events	Extreme weather events	Extreme weather events	Extreme weather events
3 rd	Economic downturn	Geoeconomic confrontation	Geoeconomic confrontation	Geoeconomic confrontation	Critical change to Earth systems	Societal polarization
4 th	Misinformation and disinformation	Economic downturn	Misinformation and disinformation	Societal polarization	Geoeconomic confrontation	Geoeconomic confrontation
5 th	Societal polarization	Misinformation and disinformation	Economic downturn	Misinformation and disinformation	Misinformation and disinformation	Critical change to Earth systems
6 th	Erosion of human rights and/or civic freedoms	Crime and illicit economic activity	Societal polarization	Critical change to Earth systems	Societal polarization	Misinformation and disinformation
7 th	Adverse outcomes of AI technologies	Critical change to Earth systems	Cyber espionage and warfare	Economic downturn	inequality	Adverse outcomes of AI technologies
8 th	Geoeconomic confrontation	Disruptions to a supply chain	Concentration of strategic resources	Debt	Involuntary migration or displacement	Asset bubble burst
9 th	Lack of economic opportunity	Involuntary migration or displacement	Critical change to Earth systems	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Biological, chemical or nuclear hazards	Biodiversity loss and ecosystem collapse
10 th	Natural resources shortages	Lack of economic opportunity	Lack of economic opportunity	Disruptions to critical infrastructure	Cyber espionage and warfare	Biological, chemical or nuclear hazards
11 th	Asset bubble burst	Concentration of strategic resources	Adverse outcomes of AI technologies	Erosion of human rights and/or civic freedoms	Economic downturn	Concentration of strategic resources
12 th	Decline in health and well-being	Inflation	Erosion of human rights and/or civic freedoms	Inequality	Erosion of human rights and/or civic freedoms	Disruptions to critical infrastructure

Fuente: World Economic Forum, 2025

Un parámetro más que resalta este reporte es la división por sector poblacional que se analizaba en el reporte 2024. Aquí se vuelve a citar los riesgos que consideran prioritarios la sociedad civil, las organizaciones internacionales, la academia, el gobierno y el sector privado. A corto plazo (2 años), la sociedad civil es el único sector en esta ocasión que considera como más prioritario un riesgo ambiental, al otorgar el 1° lugar a los eventos climáticos extremos. Además, otorga un 5° lugar a la contaminación, un 8° lugar a la pérdida de biodiversidad y colapso de ecosistemas y un 10° lugar a la escasez de recursos naturales. En el caso de las organizaciones internacionales, le otorgan el 2° lugar a los eventos climáticos extremos y el 9° lugar a la contaminación. En el caso de la academia, les otorga el 2° lugar a los eventos climáticos extremos y el 5° lugar a la contaminación. Para el gobierno, los eventos climáticos extremos ameritan el 2° lugar y la contaminación el 3°. Para el sector privado, los eventos climáticos son la 4° prioridad y la

contaminación se ubica en el lugar 9°. Lo anterior puede observarse en la Figura 96.

FIGURA 14: *Tabla Comparativa de Riesgos Globales por Sector Poblacional a Corto Plazo 2025*

	Civil society	International organizations	Academia	Government	Private sector
1 st	Extreme weather events	State-based armed conflict	Misinformation and disinformation	Misinformation and disinformation	Misinformation and disinformation
2 nd	Misinformation and disinformation	Extreme weather events	Extreme weather events	Extreme weather events	Societal polarization
3 rd	Societal polarization	Misinformation and disinformation	Societal polarization	Pollution	State-based armed conflict
4 th	State-based armed conflict	Societal polarization	State-based armed conflict	State-based armed conflict	Extreme weather events
5 th	Pollution	Cyber espionage and warfare	Pollution	Societal polarization	Cyber espionage and warfare
6 th	Erosion of human rights and/or civic freedoms	Crime and illicit economic activity	Inequality	Cyber espionage and warfare	Geoeconomic confrontation
7 th	Inequality	Inequality	Involuntary migration or displacement	Debt	Crime and illicit economic activity
8 th	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Involuntary migration or displacement	Cyber espionage and warfare	Crime and illicit economic activity	Involuntary migration or displacement
9 th	Cyber espionage and warfare	Pollution	Erosion of human rights and/or civic freedoms	Geoeconomic confrontation	Pollution
10 th	Natural resource shortages	Erosion of human rights and/or civic freedoms	Geoeconomic confrontation	Inequality	Inequality

Fuente: World Economic Forum, 2025

A largo plazo (10 años), la situación vuelve a cambiar, posicionando los riesgos ambientales en mucho mayor escala. Nuevamente todos los sectores de la población los consideran dentro de los más relevantes, siendo la sociedad civil y las organizaciones internacionales quienes les dedican las primeras 4 posiciones dentro de su ranking. En el caso de la academia, el gobierno y el sector privado, los consideran en su top 3. En cuanto al riesgo que ocupa la presente investigación, debe destacarse que la escasez de recursos naturales ocupó los siguientes lugares: para la sociedad civil el 4°, para las organizaciones internacionales el 4°, para la academia el 9°, para el gobierno el 6° y para el sector privado el 8°. Los sectores más sensibles ante los riesgos de tipo ambiental fueron la sociedad civil, la academia y el gobierno, al considerar dentro de su ranking 5 posiciones para dicha categoría de riesgos. En cambio, los menos sensibles al tema ambiental fueron las organizaciones internacionales y el sector privado, al otorgarle 4 posiciones de 10 a dicha categoría. Esto pone de manifiesto que para todos los sectores, los riesgos ambientales son relevantes, pero sus consecuencias negativas aún se ven muy lejanas, por lo que no se consideran tan prioritarios en la

percepción general, a corto plazo como si lo son a largo plazo. Sin embargo, lo preocupante es que muchos de los riesgos señalados en dicha categoría, requieren acciones a corto plazo para evitar las consecuencias a largo plazo, sin las cuales, se tendrá inevitablemente que enfrentar la consecuencia de riesgos sistémicos de muy difícil gestión. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 97.

FIGURA 15: *Tabla Comparativa de Riesgos Globales por Sector Poblacional a Largo Plazo 2025*

	Civil society	International organizations	Academia	Government	Private sector
1 st	Extreme weather events	Extreme weather events	Extreme weather events	Extreme weather events	Extreme weather events
2 nd	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Critical change to Earth systems	Critical change to Earth systems	Biodiversity loss and ecosystem collapse
3 rd	Critical change to Earth systems	Critical change to Earth systems	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Critical change to Earth systems
4 th	Natural resource shortages	Natural resource shortages	Misinformation and disinformation	Inequality	Cyber espionage and warfare
5 th	Adverse outcomes of AI technologies	Adverse outcomes of AI technologies	Pollution	Misinformation and disinformation	Misinformation and disinformation
6 th	Pollution	Concentration of strategic resources	Involuntary migration or displacement	Natural resource shortages	Adverse outcomes of AI technologies
7 th	Involuntary migration or displacement	Cyber espionage and warfare	Societal polarization	Cyber espionage and warfare	Societal polarization
8 th	Misinformation and disinformation	Societal polarization	Inequality	Adverse outcomes of AI technologies	Natural resource shortages
9 th	Societal polarization	Inequality	Natural resource shortages	Pollution	State-based armed conflict
10 th	Inequality	Misinformation and disinformation	State-based armed conflict	Concentration of strategic resources	Involuntary migration or displacement

Fuente: World Economic Forum, 2025

Ahora bien, la situación de los riesgos ambientales para nuestra región se comienza a complicar cuando observamos la sectorización que realiza el reporte por continente o área geográfica, a largo plazo. En casi todas las áreas, exceptuando el Medio Oriente y el Norte de África, los primeros riesgos a tender deben ser los riesgos ambientales. En Asia Oriental, 4 de los 5 principales riesgos son ambientales, exceptuando el 4° lugar que es otorgado a el ciber espionaje, el cual es un riesgo tecnológico. En el caso de Europa, los 3 primeros lugares son riesgos ambientales, siendo el 4° lugar el riesgo tecnológico de la desinformación y el 5° lugar el riesgo social de la migración involuntaria. En el Medio Oriente y Norte de África, como mencionamos anteriormente, los primeros 3 lugares no son ambientales, pues son relegados a riesgos tecnológicos y geopolíticos, sin embargo, el 4° y 5° lugar son ambientales. En el caso de Norte América, todos los riesgos son ambientales, menos

el 4º lugar que es dedicado a la polarización social, aspecto nada extraño si analizamos el contexto político generado por el presidente Donald Trump. En el caso del Suroeste de Asia, los primeros 3 riesgos son ambientales y los lugares 4º y 5º son tecnológicos. En el Sureste de Asia, los primeros 4 lugares son ambientales y solo el 5º es el riesgo social de la inequidad. En el caso de África Subsahariana, el 1º, 3º y 5º lugar son ambientales, mientras que el 2º lugar es social con la pérdida de oportunidades económicas y el 4º lugar es económico con el crecimiento de la economía criminal; si consideramos las guerrillas y los conflictos interestatales, no resulta extraño el resultado. En el caso de América Latina y el Caribe, que es la zona en la que se posiciona México, debe resaltarse que todos los 5 riesgos son ambientales. Esto quiere decir que es la zona geográfica más representativa para esa categoría de riesgos. En el caso del riesgo de la escasez de recursos, tiene participación en el ranking de casi todas las regiones del mundo, a excepción de Europa, el Suroeste de Asia y el Sureste de Asia. Lo anterior puede observarse en la Figura 98.

FIGURA 16: *Tabla Comparativa de Ranking de Riesgos a Largo Plazo por Zona Geográfica 2025*

Eastern Asia	Europe	Latin America and the Caribbean	Middle East and Northern Africa	Northern America
1 st Extreme weather events	Extreme weather events	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Cyber espionage and warfare	Extreme weather events
2 nd Biodiversity loss and ecosystem collapse	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Extreme weather events	Adverse outcomes of AI technologies	Critical change to Earth systems
3 rd Critical change to Earth systems	Critical change to Earth systems	Critical change to Earth systems	State-based armed conflict	Biodiversity loss and ecosystem collapse
4 th Cyber espionage and warfare	Misinformation and disinformation	Natural resource shortages	Natural resource shortages	Societal polarization
5 th Natural resource shortages	Involuntary migration or displacement	Pollution	Extreme weather events	Natural resource shortages
South-Eastern Asia	Southern Asia	Sub-Saharan Africa		
1 st Critical change to Earth systems	Extreme weather events	Extreme weather events		
2 nd Extreme weather events	Pollution	Lack of economic opportunity		
3 rd Biodiversity loss and ecosystem collapse	Biodiversity loss and ecosystem collapse	Biodiversity loss and ecosystem collapse		
4 th Adverse outcomes of AI technologies	Critical change to Earth systems	Crime and illicit economic activity		
5 th Misinformation and disinformation	Inequality	Natural resource shortages		

Fuente: World Economic Forum, 2025

Finalmente, los riesgos globales que más prevalecieron en el ranking de riesgos por su severidad, a corto plazo (2 años), fueron en esta ocasión los tecnológicos. Los que más sobresalieron en número fueron los sociales. Los riesgos ambientales que resultaron más severos a corto plazo fueron los eventos climáticos extremos en 2° lugar del ranking y la contaminación en 6° lugar. En cambio, a largo plazo (10 años) los riesgos globales que dominaron fueron los riesgos ambientales, siendo el riesgo más representativo con 5 riesgos de 10. Los riesgos ambientales ocuparon del 1° al 4° lugar y el 10° lugar, con la contaminación. La crisis de escasez de recursos naturales, riesgo objeto de esta investigación, ocupó el 4° lugar, por segundo año consecutivo. Después de los ambientales, se tuvieron 3 riesgos tecnológicos y 2 riesgos sociales. Lo anterior se puede observar en la Figura 102.

FIGURA 17. *Ranking de Riesgos Globales a Corto y Largo Plazo en 2025*



Fuente: World Economic Forum, 2025

Por último, cuando analizamos este ranking por país, es cuando tenemos la mayor justificación al presente estudio. En México, por primera vez en los últimos años, un riesgo ambiental es el que encabeza el ranking del Top 5: la Escasez del Agua. Este riesgo es seguido por 2 riesgos económicos: la actividad económica ilícita y la escasez de energía; y por dos riesgos sociales: la pobreza y desigualdad y la insuficiencia de los servicios públicos y la protección social. La evidencia que de razón a que el estado actual de las cosas haya hecho girar la brújula

hacia la escasez del recurso natural del agua será abordado en siguientes apartados de la presente investigación.

5. DISCUSIÓN

La revisión de los reportes en cuestión del Foro Económico Mundial (2006, 2015 y 2025), vuelven evidente que la crisis hídrica ha mantenido una presencia constancia en la discusión internacional, aunque su posicionamiento en los rankings haya sido diverso, en cuanto a impacto y posibilidad.

En el primer reporte referente al 2006, el tema del agua apenas era considerado como parte de los riesgos ambientales, analizando solo una de las consecuencias que devienen de éstos, la cual es la pérdida de las cuencas hidrográficas. Para el reporte 2015 la crisis del agua cambia de perspectiva, siendo considerado como riesgo de tipo social, reflejando con ello la plasticidad o mutabilidad del objeto de estudio. Esto se debe a su carácter sistémico y a la interrelación profunda que mantiene con otros fenómenos como la pobreza, la inseguridad alimentaria y la dispersión de enfermedades. Para el 2025, la escasez de recursos naturales, incluyendo con ello la escasez de agua, se consolidó como uno de los riesgos ambientales más relevantes a nivel global y particularmente en América Latina y México.

Esto nos brinda un recorrido histórico que permite observar dos grandes tendencias. La primera es que la crisis hídrica no puede ser considerado como un riesgo aislado, sino sistémico. Su presencia impacta y se ve impactada por riesgo de diferente naturaleza, ya sea ambiental, social económica o geopolítica. En segunda instancia, existe una marcada brecha entre la percepción ciudadana, que no permite visibilizar correctamente la urgencia de atender a este riesgo. Esta brecha se acentúa por cuestiones ocupacionales, de género y de edad. La percepción de una atención gubernamental eficaz se ha mostrado en niveles bajos, al igual que su mitigación. Lo anterior confirma la fragilidad de los Estados para ser garantes de derechos básicos y para articular políticas públicas preventivas y de largo plazo, que sean eficientes e integrales.

En cuanto a los sectores sociales, es relevante observar cómo existen sectores que priorizan más este tema que otros. Por ejemplo, sectores

como la sociedad civil, la academia y los organismos internacionales son más sensibles al impacto de los riesgos ambientales, que los propios gobiernos o el sector privado. Esto sugiere la necesidad de construir puentes de colaboración y fortalecer los mecanismos de gobernanza multinivel. La crisis hídrica debe ser analizada, no solo desde la gestión ambiental, sino también desde la perspectiva de la seguridad internacional, de la justicia social y del desarrollo sostenible.

6. CONCLUSIONES

En vista de lo presentado en este proyecto de investigación, se puede concluir que existe una marcada prevalencia en más de dos décadas del riesgo hídrico como parte de los riesgos globales. Este riesgo ha sido persistente y ha confirmado su carácter estructural y su impacto transversal en la agenda internacional. Su reclasificación de un riesgo ambiental a un riesgo social y posteriormente su regreso a un riesgo ambiental, reflejan la naturaleza multifacética del agua como recurso estratégico, cuya escasez afecta tanto al medio ambiente como a la cohesión y al desarrollo social.

Por otra parte, a pesar de ser considerado un riesgo de alta relevancia para varios sectores de la población, la crisis hídrica ha sido uno de los riesgos con menor nivel de atención y avance en su gestión, lo que denota deficiencias en la capacidad de los Estados y de los organismos internacionales para dar una solución efectiva. Esto no solamente se observa con la prevalencia del riesgo en los reportes, sino también con la falta de infraestructura y atención a largo plazo que se le ha proporcionado por los sectores sociales de toma de decisión.

A nivel regional, en América Latina se tiene una seria preocupación sobre la vulnerabilidad que se tiene ante este riesgo, ya que se cuenta con zonas particularmente vulnerables. Esto obliga a replantear prioridades nacionales en materia de política ambiental, gestión de recursos hídricos y prevención de conflictos sociales asociados. Es necesario que en países como México se plantee la necesidad de una gestión de la crisis hídrica contemporánea con un enfoque integral que sea capaz de articular acciones que respondan a la naturaleza sistémica de este

riesgo, es decir, que puedan integrar acciones ambientales, sociales y económicas, bajo marcos de cooperación internacional y gobernanza global, capaces de transformar el agua de un factor de riesgo a un pilar del desarrollo sostenible.

7. REFERENCIAS

- Beck, U. (1998). La sociedad del riesgo: Hacia una nueva modernidad (J. Lizcano, Trad.). *Paidós*. (Obra original publicada en 1986).
- World Economic Forum. (2025). *Quiénes somos*. Recuperado de <https://es.weforum.org/about/world-economic-forum/>
- World Economic Forum. (2006). *Global risks 2006: A global risk network report*. World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2006.pdf
- World Economic Forum. (2015). *Global Risks 2015: 10th Edition*. World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf
- World Economic Forum. (2025). *The Global Risks Report 2025: 20th Edition*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2025>

EL USO DE DERIVADOS CLIMÁTICOS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO EN EL SECTOR DE LÍNEAS AÉREAS

IGNACIO LÓPEZ DOMÍNGUEZ

Universidad Complutense de Madrid

INÉS MARTÍN DE SANTOS

Universidad Complutense de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

La humanidad ha experimentado un progreso incesante, impulsado por revoluciones industriales que han transformado la producción y la sociedad. Actualmente, la cuarta revolución industrial, caracterizada por la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas, está remodelando productos y servicios a una velocidad vertiginosa. Sin embargo, este avance ha tenido un coste significativo: el impacto ambiental. La explotación intensiva de recursos y la liberación de gases de efecto invernadero han provocado el cambio climático, manifestado en el aumento de la temperatura global, la elevación del nivel del mar y la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos.

Estas consecuencias tienen un impacto directo y pernicioso en la sociedad y la economía mundial. Ningún sector económico es inmune a sus efectos, desde el primario hasta el terciario, donde la producción, el transporte y los servicios pueden verse comprometidos. Las interrupciones en la cadena de suministro, los daños a infraestructuras, la volatilidad de los precios de las materias primas y la disminución de la demanda de ciertos servicios son solo algunos ejemplos de cómo el cambio climático afecta tanto la capacidad de producción como los resultados financieros de las empresas.

Ante este panorama, la investigación se enfoca en el sector de las líneas aéreas, particularmente sensible a las variaciones climáticas. El objetivo es identificar y analizar los riesgos climáticos específicos que enfrentan las empresas de este subsector en los mercados español y mexicano. Una vez identificados, se explora cómo estas incertidumbres pueden gestionarse y mitigarse eficazmente mediante la aplicación de derivados climáticos, instrumentos financieros diseñados precisamente para transferir el riesgo asociado a eventos meteorológicos. Finalmente, se realiza un estudio comparativo entre ambos mercados para evaluar la efectividad y las particularidades de esta gestión, proporcionando una visión integral de las ventajas de la implementación de estas herramientas en la reducción de la incertidumbre operativa y financiera.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA E HIPÓTESIS

El ámbito de la administración de riesgos financieros es vasto, abarcando desde riesgos de mercado y de crédito hasta operativos. Los riesgos climáticos han emergido como una categoría de creciente relevancia debido a la alteración de los patrones meteorológicos a escala global. Las empresas buscan estabilidad y rentabilidad mediante diversas estrategias para cubrir estas incertidumbres. Una línea de investigación innovadora se ha centrado en la mitigación del riesgo climático a través de herramientas financieras sofisticadas, específicamente los derivados climáticos, con el propósito de minimizar la volatilidad y la incertidumbre asociadas a costes y gastos imprevistos atribuibles a eventos meteorológicos adversos.

La relación entre el comportamiento climático y las actividades económicas, así como la eficacia de la cobertura de su impacto mediante derivados climáticos, ha sido objeto de riguroso análisis. La mayoría de estos estudios convergen en la conclusión de que la utilización de derivados climáticos reduce significativamente la exposición al riesgo en comparación con la ausencia de tales instrumentos. Diversas investigaciones sugieren que la cobertura puede implementarse efectivamente incluso utilizando exclusivamente información histórica de los patrones climáticos y sus correlaciones con variables económicas relevantes.

Los derivados climáticos ofrecen beneficios sustanciales que los diferencian y, en ciertos contextos, los aventajan a los contratos de seguros convencionales. Mientras que los seguros tradicionales cubren pérdidas resultantes de eventos catastróficos específicos con un umbral de activación definido, los derivados climáticos pueden estructurarse para cubrir variaciones más sutiles y continuas en los patrones meteorológicos (como desviaciones en la temperatura media o precipitación acumulada) que, sin ser catastróficas, pueden tener un impacto financiero significativo. Esta flexibilidad permite una cobertura más granular y adaptada a la naturaleza del riesgo climático, que a menudo se manifiesta como una serie de desviaciones menores pero persistentes, más que como eventos extremos aislados.

La investigación también ha profundizado en cómo las tendencias a medio y largo plazo del calentamiento global están impulsando una evolución y expansión del mercado financiero. Se ha observado un crecimiento y una sofisticación crecientes en el mercado de seguros climáticos y, de manera más amplia, en el ecosistema de productos financieros relacionados con el clima. Esta evolución facilita la transferencia y diversificación de riesgos asociados al cambio climático y estimula la acumulación de activos financieros para la inversión en resiliencia climática y mitigación de sus efectos. La demanda de soluciones de cobertura ha llevado a la innovación en la estructuración de productos, haciendo que estos mercados sean cada vez más líquidos y eficientes.

Un análisis minucioso de la literatura previa revela que, si bien el estudio del impacto del clima en las actividades económicas ha sido amplio, la mayoría de las investigaciones se han concentrado históricamente en sectores como el agrícola y el energético, seguidos del sector de alimentos. En estos ámbitos, la aplicación de derivados climáticos ha arrojado resultados consistentemente positivos, demostrando su eficacia en la mitigación de la volatilidad de los ingresos y costes asociados a las condiciones meteorológicas. La extrapolación de estos resultados positivos a otros sectores, como el de las líneas aéreas, sugiere una alta probabilidad de éxito en la implementación de derivados climáticos como herramientas de cobertura del riesgo climático, lo que justifica la relevancia y pertinencia de la presente investigación.

A la luz de esta revisión bibliográfica, se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis principal: El uso de derivados climáticos como herramienta de cobertura financiera minimizará significativamente el impacto negativo del riesgo climático en las actividades económicas y en los resultados financieros de las empresas del sector de líneas aéreas en los mercados de España y México.

Hipótesis secundaria: La viabilidad y las ventajas inherentes a la implementación del derivado climático como herramienta de gestión del riesgo diferirán entre el mercado español y el mexicano, siendo más pronunciadas en aquel con mayor sensibilidad intrínseca a las variaciones climáticas. Esta hipótesis busca identificar las particularidades de cada mercado y la consecuente adaptabilidad y eficacia de la herramienta.

3. COMPARACIÓN DE MERCADOS

Esta investigación adopta una perspectiva comparativa fundamental al analizar la implementación de los derivados climáticos en el contexto específico de los mercados aéreos de España y México. El objetivo primordial de esta comparación es trascender la mera identificación de la viabilidad de estos instrumentos para discernir las ventajas específicas y las particularidades que su adopción puede ofrecer en cada uno de estos escenarios económicos.

La comparación entre ambos mercados no es arbitraria; responde a la necesidad de comprender cómo las características idiosincrásicas de cada economía, sus patrones climáticos y la estructura de su sector de aviación pueden influir en la efectividad de la cobertura mediante derivados climáticos. Este análisis comparativo es crucial para determinar qué mercado presenta una mayor capacidad de adaptación y una respuesta más eficiente a los cambios climáticos con el respaldo de los derivados. Al evaluar las ventajas relativas de un mercado sobre el otro, se pueden extraer conclusiones valiosas y formular recomendaciones de mejora específicas para cada contexto.

Por ejemplo, las diferencias en la estacionalidad de las lluvias, la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, la infraestructura

aeroportuaria, la regulación de la aviación civil y la composición de la flota aérea pueden generar distintos niveles de exposición y sensibilidad al riesgo climático. Un mercado con una alta concentración de operaciones en periodos de lluvias intensas o con una infraestructura menos resiliente a las inclemencias meteorológicas podría beneficiarse más significativamente de una cobertura de riesgo climático. Por otro lado, un mercado con una menor variabilidad climática o con aerolíneas que ya incorporan mecanismos internos de mitigación podría experimentar beneficios marginales distintos, aunque no por ello despreciables. La comparación permitirá, por tanto, no solo validar la hipótesis principal en dos entornos distintos, sino también refinar la hipótesis secundaria, identificando las particularidades que hacen que el derivado climático sea más o menos pertinente o más o menos impactante en cada uno de ellos. Esto contribuye a una comprensión más matizada de la gestión del riesgo climático en el sector de las líneas aéreas a escala internacional.

4. METODOLOGÍA

La investigación emplea una metodología robusta y sistemática para abordar el análisis del riesgo climático y la gestión mediante derivados en el sector de las líneas aéreas. La aproximación metodológica se estructura en varias fases interconectadas, comenzando por la identificación del riesgo y progresando hacia la simulación de escenarios y la cuantificación de la cobertura.

4.1. IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO EN LAS EMPRESAS DEL SUBSECTOR LÍNEAS AÉREAS

El primer paso crucial es la identificación precisa de los riesgos climáticos específicos a los que están expuestas las empresas del subsector de líneas aéreas que cotizan en las bolsas de valores relevantes. Esta identificación se lleva a cabo a través de un análisis detallado del comportamiento histórico de la precipitación en cada mercado geográfico, considerándose esta variable como un proxy fundamental para medir la sensibilidad de las operaciones de las empresas al comportamiento climático. La precipitación es un factor crítico para las operaciones aéreas,

afectando la visibilidad, las condiciones de la pista, el consumo de combustible y la comodidad de los pasajeros, entre otros.

La selección del subsector de líneas aéreas obedece a varias razones fundamentales. En primer lugar, la naturaleza intrínseca de su actividad los expone directamente a las condiciones atmosféricas. En segundo lugar, los costes de administración y mantenimiento de las aeronaves y la infraestructura aeroportuaria son altamente sensibles a cambios climáticos. Finalmente, la elección de este sector se vio facilitada por la disponibilidad y accesibilidad de información financiera y operativa relevante de las empresas cotizadas.

Para el mercado español, el análisis se centró en las operaciones de International Airlines Group (IAG), un holding que engloba a aerolíneas como Iberia y Vueling Airlines. Para el mercado mexicano, las empresas analizadas incluyeron a Grupo Aeroméxico, Controladora Vuela Compañía de Aviación (Volaris) y ABC Aerolíneas (Interjet), compañías que representan una parte significativa del tráfico aéreo en el país. El mismo enfoque de análisis durante periodos de precipitación relevante se aplicó para discernir la exposición de estas empresas al riesgo climático.

4.2. EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD AL RIESGO CLIMÁTICO

Una vez identificados los riesgos, la metodología avanzó hacia la cuantificación de la exposición y la sensibilidad de las operaciones de las aerolíneas al comportamiento climático. El análisis comenzó con la estimación de la demanda de pasajeros de las aerolíneas, utilizando una serie de datos históricos. Esta estimación inicial es crucial para dimensionar los ingresos que las empresas podrían dejar de percibir, o los que podrían obtener, en función de cada punto de desviación respecto a la precipitación promedio.

Para medir la exposición y sensibilidad de manera rigurosa, se empleó una regresión lineal múltiple. Este modelo estadístico permite estimar el comportamiento de la demanda de pasajeros en función de los cambios en la precipitación promedio, controlando al mismo tiempo por otras variables relevantes. Para el mercado español, los datos se obtuvieron

del instituto de estadística nacional. En el caso de México, la información se recopiló de las agencias nacionales de agua y estadística.

La variable dependiente en la regresión múltiple fue la demanda de pasajeros. Para el mercado español, se consideró la demanda de pasajeros de uno de los principales aeropuertos. Para México, se utilizó la demanda de otro de los principales aeropuertos. La demanda de pasajeros se construyó recopilando el número total de pasajeros transportados y el número de vuelos trimestrales, abarcando un periodo temporal suficientemente amplio. Las variables independientes incluyeron la precipitación mensual (como la variable climática principal), el Producto Interno Bruto (PIB) del sector de servicios de transporte, y otros indicadores macroeconómicos pertinentes.

La ejecución de la regresión múltiple se realizó utilizando un software estadístico. Tras la ejecución, se llevaron a cabo una serie de pruebas estadísticas rigurosas para asegurar la validez y la fiabilidad del modelo econométrico. Estas pruebas incluyeron: Prueba de R^2 significativa, prueba de multicolinealidad, pruebas de normalidad, prueba de heteroscedasticidad y prueba de autocorrelación y estabilidad.

Si el modelo econométrico superaba satisfactoriamente todas estas pruebas, los coeficientes de la ecuación de regresión se considerarían válidos y fiables. Estos coeficientes indicarían el porcentaje de explicación de la variable dependiente atribuible a cada una de las variables independientes, permitiendo cuantificar la sensibilidad de la demanda a los cambios en la precipitación.

4.3. SENSIBILIDAD DE COSTES Y GASTOS OPERATIVOS

Más allá de la demanda, la metodología también se enfocó en el análisis de la sensibilidad de los costes y gastos operativos de las aerolíneas a las variaciones climáticas, lo cual es fundamental para obtener una visión completa del impacto financiero del clima. Se consideraron tanto los costes operativos directos (combustible, mantenimiento de aeronaves, tasas aeroportuarias, etc.) como los costes administrativos y de gestión (compensación por retrasos, reubicación de pasajeros, personal adicional, etc.). El objetivo era identificar y analizar de manera granular

cómo el clima incide en las actividades operativas cotidianas de las aerolíneas, y cómo esto se traduce en fluctuaciones inesperadas de los gastos. La cuantificación de esta sensibilidad es esencial para diseñar estrategias de cobertura que aborden no solo la volatilidad de los ingresos, sino también la de los gastos.

4.4. MÉTODO DE GESTIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO

La estrategia para administrar el riesgo climático se basa en la implementación de un instrumento financiero derivado: un futuro cuyo subyacente es el promedio de la precipitación. Este enfoque permite transferir o mitigar el riesgo asociado a las fluctuaciones de las variables climáticas. Para cuantificar el impacto y modelar la gestión del riesgo, se empleó la técnica de simulación de escenarios, que es invaluable porque permite predecir, comparar y optimizar el comportamiento de los procesos simulados sin incurrir en costes reales o riesgos operativos. Mediante la construcción de un modelo dinámico, es posible representar de forma virtual los procesos operativos de las aerolíneas. Este modelo permite proyectar diversas alternativas y evaluar el posible impacto de los riesgos climáticos expuestos bajo diferentes condiciones. Para ello, se analizaron tres posibles escenarios, cada uno representando un comportamiento distinto de la precipitación y proyectando estimaciones sobre la demanda de pasajeros y los costes de mantenimiento y administrativos.

4.5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS ANTE CAMBIOS ANÓMALOS EN LA PRECIPITACIÓN

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha proporcionado pruebas irrefutables de que el planeta está experimentando cambios significativos en sus patrones climáticos, con la proyección de que los fenómenos meteorológicos extremos serán más frecuentes y severos en el futuro a largo plazo. Ante esta realidad, es imperativo analizar cómo las operaciones de las empresas del subsector de líneas aéreas se verían afectadas bajo diferentes condiciones climáticas extremas. Por ello, se simulan tres escenarios críticos que representan desviaciones significativas del promedio histórico de precipitación:

Escenario 1: El promedio de la lluvia sube respecto a su media. Este escenario contempla una intensificación de las precipitaciones. Las consecuencias para las aerolíneas son multifacéticas y perjudiciales, incluyendo disminución de la demanda de pasajeros, desvíos de vuelos, cancelaciones y retrasos prolongados, lo que genera costes adicionales y no previstos.

Escenario 2: El promedio de la lluvia se mantiene respecto a su media. En este escenario, el comportamiento del clima es similar al habitual, sin desviaciones anómalas significativas. El riesgo para las aerolíneas es considerablemente menor, y la estrategia de cobertura no generaría ni pérdidas ni ganancias significativas.

Escenario 3: El promedio de la lluvia disminuye respecto a su media. Este escenario representa una situación en la que la temporada de lluvias es menos intensa de lo habitual. Aunque a primera vista podría parecer beneficioso, también presenta sus propios desafíos, como un aumento de la demanda que podría obligar a incurrir en costes extraordinarios para satisfacerla, con riesgo de perder cuota de mercado si los precios se elevan demasiado.

4.6. CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDA POTENCIAL

La simulación de los tres escenarios críticos permitió cuantificar la pérdida potencial que las aerolíneas podrían experimentar, un proceso fundamental para entender el impacto financiero de las variaciones climáticas. Al observar los resultados de cada escenario, se pudieron identificar con precisión los resultados negativos y positivos (aunque menos frecuentes o con implicaciones de coste indirectas) provocados por el cambio climático, cuantificados como "pérdida potencial".

4.7. IMPLEMENTACIÓN DE COBERTURA

Una vez cuantificadas las pérdidas potenciales, la metodología se centró en la implementación de contratos de derivados climáticos como una estrategia activa de cobertura. Dada la naturaleza del riesgo climático identificado para las aerolíneas (principalmente el aumento de la precipitación que conlleva una disminución en la demanda y un aumento de costes), la estrategia de cobertura se estructuró tomando una posición de

venta en un futuro climático. Esto significa que la aerolínea obtendría liquidaciones favorables (ganancias) siempre que el promedio de precipitación disminuyera respecto a un umbral predefinido en el contrato.

Para establecer el valor de estos contratos, se tomó como referencia el valor de los contratos listados en una de las principales bolsas de derivados climáticos. Se asumió un valor por cada punto de desviación en el promedio de precipitación del índice subyacente. La determinación del número de contratos necesarios para cubrir la pérdida potencial calculada se realizó dividiendo esta pérdida por el valor unitario del contrato de derivados (ratio de cobertura).

5. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación se derivan de la aplicación rigurosa de la metodología descrita y proporcionan una comprensión profunda del riesgo climático en el sector de las líneas aéreas en España y México, así como la efectividad de los derivados climáticos como herramienta de gestión.

5.1. IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO EN LAS EMPRESAS DEL SUBSECTOR LÍNEAS AÉREAS

El análisis del comportamiento histórico de la precipitación en España y México revela patrones distintivos. En España, no se observa una temporada de lluvias claramente definida, pero se han registrado periodos con volúmenes de precipitación superiores a los promedios. Esto genera incertidumbre, ya que las aerolíneas españolas deben estar preparadas para lluvias inesperadas en cualquier momento, aumentando la vulnerabilidad de sus costes. En contraste, el mercado mexicano presenta una temporada de lluvias bien definida (mayo a septiembre), con los niveles más altos concentrados entre julio y septiembre. Aunque no se ha observado una tendencia a largo plazo en el nivel de lluvia en los últimos diez años, sí se ha identificado una tendencia alcista a corto plazo, generando mayor incertidumbre. A pesar del crecimiento y modernización de la aviación en ambos países, la naturaleza de sus

operaciones los hace inherentemente sensibles al clima, aumentando la posibilidad de percances operativos.

5.2. EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD AL RIESGO CLIMÁTICO

La regresión lineal múltiple permitió estimar la relación entre la demanda de pasajeros y las variaciones en la precipitación mensual. Los modelos econométricos desarrollados superaron satisfactoriamente todas las pruebas estadísticas rigurosas, validando su eficiencia y confiabilidad.

El análisis de sensibilidad arrojó resultados concluyentes:

Para España, por cada aumento de un punto en el promedio de precipitación, la demanda de pasajeros disminuye un 3,70%.

Para México, esta disminución es más pronunciada, alcanzando un 5,20% por cada aumento de un punto en el promedio de precipitación.

Esta diferencia en la sensibilidad se explica por la baja elasticidad del servicio de transporte aéreo. La mayor caída en México sugiere que el público mexicano podría ser más sensible a las interrupciones relacionadas con el clima, posiblemente debido a la mayor intensidad y frecuencia de eventos extremos en su temporada de lluvias.

5.3. SENSIBILIDAD DE COSTES Y GASTOS OPERATIVOS

Las operaciones de las aerolíneas son intrínsecamente vulnerables a un aumento significativo de los costes debido al comportamiento del clima. Las condiciones meteorológicas adversas pueden afectar directamente el rendimiento y la integridad de las aeronaves, aumentando los costes de mantenimiento preventivo y correctivo. Más allá del mantenimiento, el clima también genera costes adicionales en las operaciones diarias, como desvíos, cancelaciones o mayor consumo de combustible. Además, las aerolíneas están expuestas a riesgos administrativos significativos, como compensaciones a pasajeros por retrasos o cancelaciones debido al clima, que pueden representar un gasto inesperado sustancial. Datos estadísticos de aeropuertos importantes, como el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, indican que un porcentaje considerable de demoras son atribuibles directamente a

condiciones meteorológicas adversas, reforzando la necesidad de gestión de riesgos.

5.4. GESTIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO

Esta sección aborda la estrategia concreta para la gestión del riesgo climático: el uso de instrumentos financieros derivados.

5.4.1. Simulación de escenarios ante cambios anómalos en la precipitación

Los resultados de cada escenario planteado, que simulan el impacto de un cambio en el comportamiento del clima, se basan en datos financieros de las empresas analizadas:

Escenario 1: El promedio de la lluvia sube respecto a su media. Este escenario, con un incremento anómalo de la precipitación, estima una disminución en la demanda de pasajeros del 3,70% para México y del 5,20% para España. Esto se traduce directamente en una reducción de ingresos para las aerolíneas, ya que el mal tiempo desincentiva los viajes.

Escenario 2: El promedio de la lluvia se mantiene respecto a su media. Cuando el clima se mantiene en rangos promedio, el riesgo es menor. La estrategia de cobertura no generaría ganancias ni pérdidas significativas, y las empresas mantendrían su margen comercial habitual.

Escenario 3: El promedio de la lluvia disminuye respecto a su media. En este escenario, con una disminución de la lluvia, se estima un aumento en la demanda de pasajeros del 2,55%. Aunque positivo para los ingresos, puede generar un riesgo si la capacidad instalada de las aerolíneas no es suficiente para absorber esta demanda, obligándolas a incurrir en costes adicionales, con riesgo de perder cuota de mercado.

5.4.2. Cuantificación de pérdida potencial

La cuantificación de la pérdida potencial transforma las proyecciones en impactos financieros tangibles.

Escenario 1: El promedio de la lluvia sube respecto a su media. Cuando la demanda disminuye por lluvias intensas, las aerolíneas absorben

costes fijos con ingresos reducidos, impactando su margen y rentabilidad. La sensibilidad de costes operativos (8%) se traduce en un aumento de gastos, generando una pérdida potencial sustancial.

Escenario 3: El promedio de la lluvia disminuye respecto a su media. Aunque la demanda aumenta, la pérdida potencial aquí surge de los costes adicionales incurridos para satisfacer esa demanda extra y la potencial reducción del margen comercial, afectando la rentabilidad por asiento.

5.4.3. Análisis de estrategias de cobertura

Para mitigar el riesgo climático, se propone una estrategia de cobertura mediante contratos de futuros sobre el promedio mensual de precipitación, adoptando una posición de venta. La aerolínea obtendría ganancias del derivado si la precipitación disminuye por debajo de un precio de ejercicio. Si la precipitación aumenta, el derivado generaría una pérdida que compensaría las ganancias perdidas o los costes adicionales en las operaciones reales.

Se asume un valor por cada punto de desviación en el promedio de precipitación. La cantidad de contratos de futuros necesarios se determina dividiendo la pérdida potencial por el valor monetario de un solo contrato de futuros, asegurando que los rendimientos positivos del derivado compensen las pérdidas operativas.

Los resultados de la implementación del derivado climático en ambos mercados revelan diferencias importantes:

Para el mercado español: Las empresas de líneas aéreas en España tienden a tener ingresos suficientes y menor sensibilidad a cambios climáticos moderados. La implementación de derivados climáticos es beneficiosa para estabilizar los flujos de caja y resultados, actuando como un colchón financiero ante eventos inesperados, aunque no tan críticamente necesaria.

Para el mercado mexicano: Los resultados son más contundentes en favor del derivado climático. Algunas empresas mexicanas no solo no logran un margen comercial positivo con el aumento de la lluvia, sino que su pérdida potencial aumentaba considerablemente. La implementación del

derivado se convierte en una necesidad estratégica para proteger los resultados y la viabilidad operativa, siendo esencial para una cobertura eficaz contra la volatilidad generada por el cambio climático.

6. CONCLUSIONES

El creciente interés en el desarrollo de estrategias ambientales que posibilitan la transferencia del riesgo climático ha impulsado la evolución de los mercados de seguros meteorológicos y la innovación en modelos de negocio. A diferencia de los seguros tradicionales, la implementación de los derivados climáticos ofrece una ventaja estratégica fundamental: permite una acción anticipada y proactiva como mecanismo de cobertura, protegiendo a las empresas incluso antes de que se materialice una pérdida catastrófica.

La estrategia de utilizar contratos de derivados cuyo subyacente es una variable climática se revela como una opción altamente eficiente para la mitigación del riesgo. Estos instrumentos financieros permiten a las empresas identificar con mayor precisión los riesgos, anticipar las pérdidas potenciales y afrontarlas de manera estructurada. Además, la flexibilidad inherente a los derivados climáticos, que pueden diseñarse y adaptarse a las pérdidas esperadas, es una de sus mayores fortalezas, facilitando una administración más proactiva.

Esta investigación confirma de manera concluyente la eficiencia de implementar contratos de futuros climáticos como una herramienta de cobertura sólida contra los riesgos derivados del clima. Los resultados demuestran que esta estrategia minimiza significativamente el impacto negativo de las variaciones climáticas en las operaciones de las empresas de líneas aéreas en ambos mercados. Las pérdidas potenciales generadas por la sensibilidad entre las operaciones y el comportamiento del clima se compensan de manera efectiva con los rendimientos positivos obtenidos en el mercado de futuros climáticos, proporcionando una capa de estabilidad financiera.

La comparación entre el mercado mexicano y español arroja una conclusión diferenciada: la implementación de esta estrategia funciona con mayor eficacia y se percibe como más necesaria en el sector mexicano,

debido a la inherente y demostrada mayor sensibilidad de las aerolíneas mexicanas a las condiciones climáticas. Para España, aunque se aprecia una mejora tangible en la capacidad de las aerolíneas para gestionar los riesgos climáticos, la investigación subraya la necesidad de mantener una administración del riesgo continua y vigilante para minimizar la incertidumbre persistente del cambio climático.

En síntesis, la implementación de futuros climáticos confiere una serie de ventajas estratégicas y operativas a las empresas de líneas aéreas analizadas. Estas ventajas incluyen: certidumbre en las ganancias al mitigar la volatilidad de ingresos y costes, márgenes operativos más estables, mejora de la reputación corporativa al demostrar una gestión prudente del capital, y la minimización de la vulnerabilidad climática, fomentando una mayor resiliencia operativa.

Para futuras líneas de investigación, se sugiere explorar la implementación de opciones climáticas como una herramienta complementaria o alternativa para administrar el riesgo climático, así como la aplicación de esta metodología y análisis en otros sectores económicos y zonas geográficas con características climáticas y económicas similares, para validar la universalidad o las particularidades de esta estrategia de gestión de riesgos.

7. REFERENCIAS

- Conde, C., Ferrer, R., Gay, C., & Araujo, R. (2004). "Impactos del cambio climático en la agricultura en México". En J. Martínez, & A. Fernández, Cambio climático: una visión desde México (págs. 227-238). México: SEMARNAT-INE.
- Hsiang, S. M. (2016). Climate Econometrics. National Bureau of Economic Research, 22181.
- López Domínguez, I & Fernández Boeta, R.: "Impacto del riesgo climático en las actividades económicas. Análisis del sector líneas aéreas". Revista Contabilidad y Negocios (15) 29, 2020, pp. 40-57. DOI: 10.18800/contabilidad.202001.003
- López Domínguez, I & Fernández Boeta, R.: Gestión del riesgo climático mediante derivados. Aplicación al sector de líneas aéreas en México y España. Contabilidad y Negocios, 17(34), (2022)184-210.
- Monjas, M. (2010). Derivados Meteorológicos: Una Alternativa De Cobertura De Riesgos Para La Empresa. Boletín de Estudios Económicos, LXV(199), 19–37.
- Schlenker, W., & Taylor, C. A. (2019). Market Expectations About Climate Change. National Bureau of Economic Research.
- Smit, B., Ford, J., & Wandel, J. (2006). Vulnerability to climate change in the Arctic: A case study from Arctic Bay, Canada. Science Direct, 16, 145–160. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.11.007>
- Štulec, I. (2017). Effectiveness of weather derivatives as a risk management tool in food retail: The case of Croatia. International Journal of Financial Studies, 5, 0–15. <https://doi.org/10.3390/ijfs5010002>
- Wang, S. L., Ball, E., Nehring, E., Williams, R., & Chau, T. (2017). Impacts Of Climate Change and Extreme Weather on U.S. Agricultural Productivity: Evidence and Projection. National Bureau of Economic Research.
- Whalley, J., & Yuan, Y. (2009). Global Financial Structure and Climate Change. National Bureau of Economic Research.

TACKLING THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SOCIAL HOUSING IN THE MEDITERRANEAN AREA THROUGH THE USE OF NEW ULTRA- EMISSIVE MATERIALS

CARLOS ANTONIO DOMÍNGUEZ-TORRES
University of Seville

1. INTRODUCTION

1.1. CLIMATE CHANGE

According to the Fifth Assessment Report (IPCC-AR5, 2014) and the Sixth Assessment Report (IPCC-AR6, 2023) by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “climate change refers to a change in the state of the climate that can be identified by changes in the mean and/or the variability of its properties, and that persists for an extended period, typically decades or longer. It may be due to natural internal processes, external forcings (such as modulations of the solar cycles or volcanic eruptions), or persistent anthropogenic changes in the composition of the atmosphere or in land use”.

According to the above, climate change is a long-term change in the Earth's climate patterns, which can be the result of both natural factors and human activities, although the IPCC emphasizes that current changes in climate are mainly driven by human actions, especially the emission of greenhouse gases.

The current climate change is fully acknowledged by the international scientific community. There is a wealth of evidence that clearly demonstrates it, including the rise in global temperatures, the increase in sea levels, the retreat of glaciers and polar ice caps, and the growing frequency and intensity of extreme weather events, among others.

Among other organizations, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), a UN scientific body that brings together thousands of scientists, affirms its existence and supports the thesis that human activity is the main cause of current global warming through various reports issued, such as the aforementioned IPCC-AR5 and IPCC-AR6.

1.2. FUTURE SCENARIOS OF CLIMATE CHANGE

It is clear that the evident climate change poses a global threat to life on the planet as a whole and to humanity in particular. Specifically, the IPCC Sixth Assessment Report (IPCC-AR6, 2023) predicts a rise in ambient air temperature, known as global warming, which varies under different greenhouse gas emission scenarios called Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). The predicted temperature increase for 2081-2100 is, according to the different scenarios: around 1.0 °C for SSP1-1.9 (very low emissions), around 1.4 °C for SSP1-2.6 (low emissions), around 2.1 °C for SSP2-4.5 (intermediate emissions), around 3.2 °C for SSP3-7.0 (high emissions), and around 4.4 °C for SSP5-8.5 (very high emissions).

In addition to this rise in temperatures, IPCC-AR6 predicts a considerable increase in the duration and frequency of heat waves in southern Europe. Thus, under moderate to high emission scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5), heat waves could be 3 to 5 times more frequent by the end of the 21st century compared to the pre-industrial period, and their average duration could double or triple in some areas of southern Europe. This is evident, for example, in the recent heat waves in 2003, 2017, and 2022, which were notable for their intensity and damaging effects.

On the other hand, the most recent version of the RCP (Representative Concentration Pathways) scenarios are integrated into the IPCC Sixth Assessment Report (IPCC-AR6), published in 2021-2023. The RCPs have not changed in their basic structure since they were introduced in the Fifth Assessment Report (IPCC-AR5), and in combination with the SSP scenarios, they provide a more comprehensive analysis of the future evolution of the different parameters analyzed to predict climate change. RCPs remain relevant for modeling climate change but are combined with SSPs to provide a more detailed and accurate view of

possible future climate trajectories, considering both greenhouse gas emissions and socioeconomic factors.

It can be said that the predicted climate change situation poses a clear threat to health by making it difficult to achieve comfortable indoor conditions in buildings during the hot season, especially in areas such as the Mediterranean region, where summers are characterized by high temperatures and strong levels of solar radiation, as well as their long duration. Thus, in southern Spain, it is predicted that the number of days with temperatures above 35 °C will increase by more than 60 days throughout the 21st century (Junta de Andalucía, 2015), while the number of tropical nights will increase significantly in this area (IPCC-AR5).

Based on the above, it is clear that the building stock in southern Europe must be adapted and ready to face the consequences of global warming in order to reduce energy consumption for cooling, which is expected to increase as temperatures rise. This issue is particularly significant for the social housing stock constructed in southern Spain during the mid-20th century, prior to the introduction of Spain's first regulations on the energy efficiency of buildings. These buildings are marked by poor and outdated thermal insulation in their façades, which forces an increase in energy use to maintain indoor comfort. Given the generally low income of residents, this often leads to conditions of thermal discomfort, poor health, and, ultimately, energy poverty.

To address this problem, the European Union has launched multiple regulatory directives to improve the energy performance of building envelopes, while in recent decades, extensive research efforts have been made to improve energy efficiency to help reduce energy consumption for the thermal comfort of residents.

1.3. RADIATIVE COOLING

In the climate of the Mediterranean region, characterized by high temperatures and high levels of solar radiation during the cold season, the use of radiative cooling techniques for building renovation is a promising approach for improving the overall energy performance of the building envelope. Specifically, the renovation of social housing roofs

using this type of technique has yielded excellent results in southern Europe based on current climate data (Domínguez-Delgado et al., 2020). Therefore, its use in a context of rising temperatures is expected to yield good results in reducing energy consumption for cooling.

Radiative cooling for roofs aims, on the one hand, to minimize the absorption of solar radiation and, on the other hand, to emit the maximum thermal radiation by temperature accumulation on the roof.

For this purpose, one of the most used solutions is the application of a layer on the outer surface of the roof of a specific material that provides low solar absorptivity and high thermal emissivity.

In this study, the material consists of a newly developed ultra-emissive mgo-pvdf polymer nanocomposite paint with a solar reflectance of 96.3% and a thermal emissivity of 98.5%. This product delivers outstanding water-repellent and hydrophobic performance. It is suitable for easy application on a wide range of building materials, including tiles, wooden planks, and more, ensuring consistent coverage and strong adhesion (Das et al, 2023).

When a coating, such as the one described, with high emissivity and low solar absorptivity, is applied to the exterior surface of a roof, it typically qualifies as a cool roof.

In essence, cool roofs based in cool paints can be regarded as a passive thermal management strategy that does not necessitate active energy consumption, leading to reduced energy demand and lower greenhouse gas emissions.

2. OBJECTIVES

The aim of this work is to evaluate the effect on energy fluxes of the retrofitting by radiative cooling techniques of the roof of a building belonging to one of the social housing developments built in southern Spain in the middle of the last century, which can be considered an archetype of this housing stock, analyzing these fluxes in the current context and at two future dates, 2050 and 2080, and taking into account the A2 scenario described in the IPCC Fourth Assessment Report (IPCC-AR4).

3. METHODOLOGY

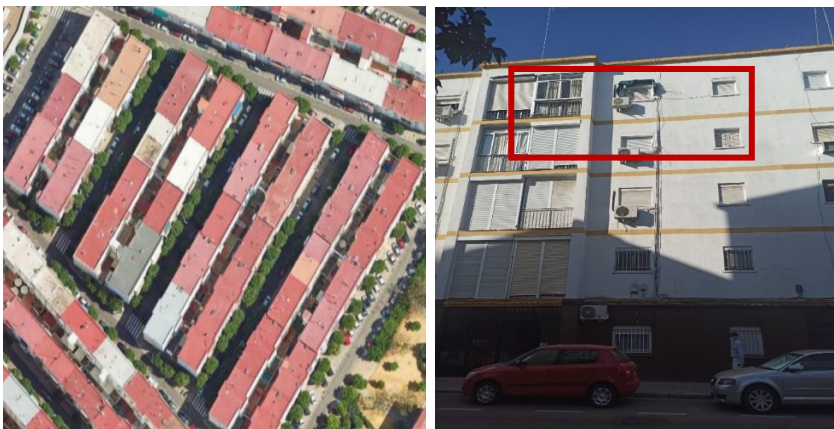
3.1. CASE STUDY

The building selected as a case study was a building belonging to the social housing stock built in the city of Seville, in southern Spain, in the 1960s, before the enactment in 1979 of the first Spanish regulation on energy demand in buildings (NBE-CT-79). The constructive and morphological typology of this house is typical of more than 40% of the social housing stock in southern Spain, making it one of the most prevalent building typologies in the region and a key representative example of local architecture. From the point of view of energy efficiency, it was characterized by the absence of energy insulation measures in the building envelope.

Figure 1-(a) shows an aerial view of the development; the roofs are flat and all the buildings in the development are the same height, so there are no shadows on the roofs. Figure 1-(b) shows the building case study with the analyzed dwelling marked in red.

The constructive configuration of the initial roof (the reference case) is described in Table 1, where the dimensions and thermophysical characteristics of the material layers of the roof are shown

FIGURE 1. (a) Aerial view of El Plantinar development. (b) Building case study



(a) (b)

TABLE 1. *Thermophysical characteristics of the roof case study*

Layer	Description	Thickness (m)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kg K)	Conductivity (W/m K)
1(Ex)	Bituminous paint	0.0015	1150	1000	0.23
2	Ceramic Tiles	0.005	2000	800	1.00
3	Mortar	0.01	2000	1000	1.40
4	Protective Layer	0.015	1150	1000	0.23
5	Mortar	0.01	2000	1000	1.40
6	Carbon cinders	0.1	640	657	1.40
7	Concrete vault	0.22	1330	1000	1.32
8(In)	Plastering	0.01	1000	1000	0.32

The external surface of the initial roof was considered to be covered with a layer of bituminous paint. Then, a solar radiation absorption coefficient of 0.8 and a thermal emissivity equal to 0.9 were considered, in accordance with the usual values for this type of coating. This roof is considered the reference roof. Afterwards, the ultra-emissive paint developed by Das et al. (2023) was considered to be applied to the exterior surface of the initial roof and the retrofitted roof will hereafter be referred to as the cool roof.

Seville, located in southern Spain, was chosen due to its representative Mediterranean climate (“Csa” in the Köppen classification), featuring hot, dry summers and intense solar radiation. Its predominantly clear nights during the warm season further favor radiative cooling implementation. According to the Spanish State Meteorological Agency (AEMET, 2010), Seville has an average annual temperature of 19.2°C. In the peak summer months of July and August, average maximum temperatures can reach up to 40°C, while in January, average minimum temperatures fall to 5.7°C. As a result, the region experiences mild winters and extremely hot, dry summers with high solar exposure. The highest daily average of incident solar radiation occurs in July, reaching 8.3 kWh/m², while the lowest is in December, at 2.3 kWh/m².

3.2. CURRENT AND PROJECTED CLIMATE FILES

The current weather file considered was the Energy Plus Weather file (epw) that is freely available from the Energy Plus weather files database (<https://energyplus.net/weather>). As for the projections used for 2050 and 2080, scenario A2 was used among those defined by the IPCC in its Fourth Assessment Report (IPCC-AR4). This scenario can be considered the equivalent of RCP8.5 of the IPCC-AR5, both scenarios being those considered by these reports to have the greatest impact on climate change, since they present the highest rates of greenhouse gas emissions for the time period considered.

The climate change scenarios used in the present investigation have been generated using the CCWorldWeatherGen software developed by the University of Southampton, which has the dual advantage of being freely available and providing climate files for direct input into the most common Building Energy Simulation (BES) programs. Details on the underlying methodology used in CCWorldWeatherGen can be found in Jentsch M.F. et al. (2008).

CCWorldWeatherGen is a software tool that helps create weather archives reflecting climate change conditions. It uses model data from the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), specifically the HadCM3 A2 scenario set, which can be accessed through the IPCC Data Distribution Center (IPCC DDC). This generator converts current Energy Plus Weather Files (EPW) into climate-adjusted versions (EPW or TMY2) for the desired projection date, compatible with a wide range of simulation software used in building energy performance analysis.

The weather file generation methods used by this tool are founded on the "morphing" approach for climate change adaptation of weather data, originally developed by Belcher et al. (2005).

To generate the desired projection, either in EPW or TMY2 format, the data needed to enter as inputs in the generator are:

- 1) An EPW file updated to today's date, available from the Energy Plus database via the web link.

2) A summary of the HadCM3 A2 climate change model prediction data, which can be downloaded from the IPCC DDC and accessed through the web link: http://www.ipcc-data.org/sres/hadcm3_download.html.

3.3. METHODOLOGY FOR THE HEAT FLUX COMPUTATION

3.3.1. Physical framework

The thermal performance of the building envelope, comprising walls and roof, is influenced by the following mechanisms:

Solar heat gains on the external surfaces.

Longwave radiative exchange between the outer surfaces of the roof and the sky.

Radiative heat exchange with surrounding urban structures.

Convective heat transfer from the roof surface to the surrounding air, modeled using Hagishima and Tanimoto's (2003) correlation:

$$h_c = 8.18 + 2.28 U_R [W/m^2K],$$

with U_R being the wind speed near the roof in m/s.

Conductive heat transfer through the walls and roof structure.

Convective and radiative heat exchange with the indoor of the building.

3.3.2. Heat flux computation

To evaluate the heat flux entering the building, a single temperature value, T_z , is employed to represent the indoor temperature. This assumption is a standard simplification in the study of energy transfer across building envelope elements (Saafi and Daouas, 2018). In this study, T_z corresponds to the cooling setpoint temperature for the warm season: 25 °C during the night period from 23:00 to 7:00, and 27°C during the daytime period from 7:00 to 23:00 (CTE, 2022).

Because of the time-dependent thermal behavior of the wall and roof layers, the heat flux into the interior at time t is calculated, following the method outlined in Domínguez-Torres et al. (2022), as

$$q_{in}(t) = h_{int} (T_z(t) - T_{w,in}(t)) [W/m^2K]$$

In this expression, $T_z(t)$ represents the indoor air temperature at time t , while $T_{w,in}(t)$ corresponds to the temperature at the interior surface of the envelope (walls or roof). The coefficient h_{int} , accounting for combined convective and radiative heat transfer at the internal surface, is taken as $8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ in accordance with the recommendation in (Ashrae, 2021).

3.3.2. Numerical resolution

The heat transfer through the walls and roof is computed by accounting for their multilayer composition. To this end, a finite difference method as proposed by Domínguez-Torres et al. (2022) is employed. This numerical approach enforces interface continuity conditions, ensuring both temperature and heat flux continuity across material layers. The method has been shown to yield accurate predictions of thermal fluxes through the building envelope. Furthermore, the model is coupled with boundary conditions that reflect the physical assumptions detailed in Section 3.3.1.

All numerical computations were performed using the open-source finite element software FreeFem++ (Hecht, 2012), developed by the French Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA).

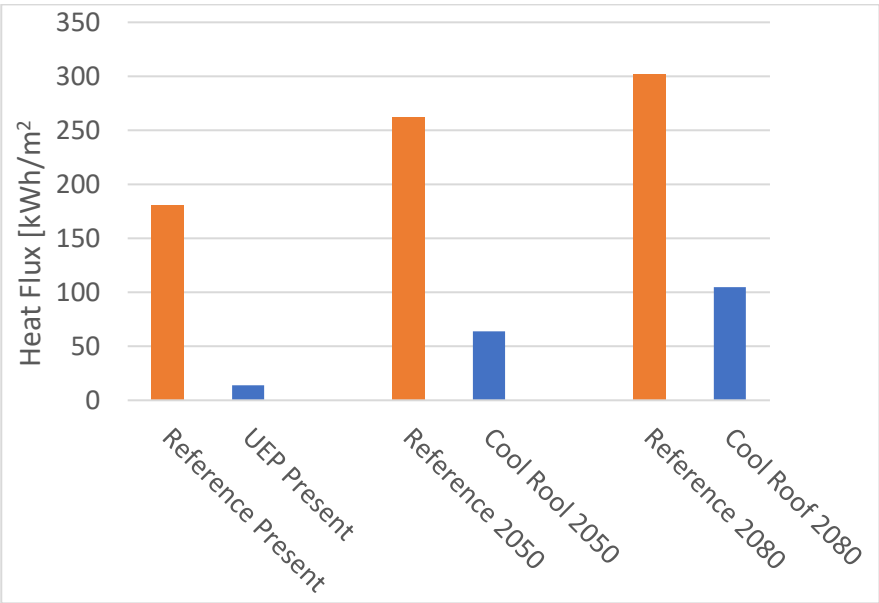
4. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 shows the heat flux per unit area through the roofs of the reference and retrofitted cases during the cooling season for the current year, the year 2050 and the year 2080.

Analyzing the results for each year studied, from Fig. 2 and Table 2, it can be seen firstly that at present, the reference case has a heat flux through the roof of about 180 kWh/m^2 while the building retrofitted with the ultra-emissive paint shows a heat flux through the roof of about 14 kWh/m^2 , Table 2. This means that for the current time the use of ultra-emissive paint provides a decrease in thermal flux of 166.59 kWh/m^2 representing a percentage reduction of about 92%, which is indicative that for the current temperature range during the warm season,

the considered ultra-emissive paint provides an excellent result, efficiently neutralizing the impact of very high outdoor temperatures and strong solar radiation.

FIGURE 2. Heat fluxes through the roof of the reference and the retrofitted cases during the warm season for the current, 2050 and 2080 years



For the year 2050, the reference case has a flux during the warm season of 261.85 kWh/m² versus a flux of 63.93 kWh/m² for the retrofitted roof. This represents a decrease in flux of 197.92 kWh/m² which represents a percentage reduction of 75.6 % showing once again the ability of the retrofitted roof with the ultra-emissive paint to provide an effective heat flux reduction in the face of increased temperatures in the year 2050 due to climate change, Table 2 and Figure 3.

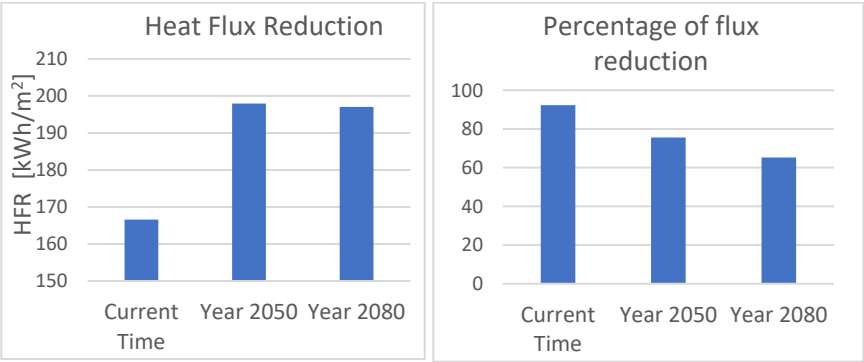
Finally, in the year 2080 the reference case has a flux during the warm season of 301.86 kWh/m² compared to a flux of 104.82 kWh/m² for the retrofitted roof, which means a decrease in heat flux of 197.03 kWh/m² representing a percentage reduction of 65.3 %, Table 2 and Figure 3. Although this fact shows that the sharp rise in temperatures reduces the

percentage decrease in heat flux, the difference is still very significant, so that in practice it can be observed, as mentioned above, a reduction in heat flux of about 2/3 compared to the reference case, which is certainly a significant decrease with important repercussions in terms of indoor comfort and the energy consumption devoted to maintaining this comfort.

TABLE 2. Heat fluxes through the roof of the reference and retrofitted cases during the warm season for the current, 2050 and 2080 years in kWh/m².

	Present day	Year 2050	Year 2080
Reference case	180.48	261.85	301.86
Retrofitted case	13.90	63.93	104.82

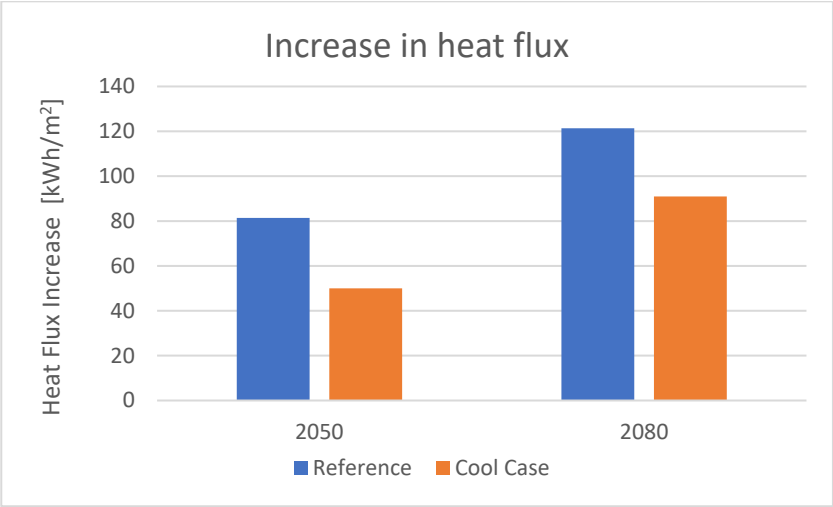
FIGURE 3. Reduction and percentual reduction in heat flux through the roof of the retrofitted case with respect to the reference case during the warm season for the current, 2050 and 2080 years



Regarding the evolution of the heat fluxes through the roof from the present time to the end of the century, the first thing to note from the results shown in Figures 2 and 4 and in Table 2 is how the heat flux through the roof during the warm season progressively increases for the years 2050 and 2080 compared to today.

Thus, the reference case presents an increase in heat flux during the warm season from the present to the year 2050 of 81.36 kWh/m² while for the retrofitted roof this increase is 50 kWh/m² as shown in Figure 4.

FIGURE 4. Increase in heat flux during the warm season in 2050 and 2080 compared to the current year.



This increase can be interpreted in terms of the fact that, although the cool coating attenuates the impact of the temperature rise, this is still strong enough to break the ability to nullify the heat flux in the warm season that the cold coating currently had.

In other words, there is an inward heat flux neutralization threshold related with the ambience temperatures for the ultra-emissive coating considered, which can be considered close to the ambience temperature values we currently have; however, when outside temperatures rise above this threshold, the cold coating also experiences an increase in heat flux, which although evident, is much lower than that of the reference case, and this considering that this increase in heat flux starts from very different values, namely 180.48 kWh/m² for the reference case while for the cold coating it is 13.90 kWh/m², which represents a substantially smaller increase in absolute terms, Figure 2.

Therefore, it can be concluded that the cold roof is not only able to reduce the heat flux compared to the reference roof at each point in time, but also the increase in heat flux caused by the impact of the temperature increase over the century is also lower.

On the other hand, the increase in heat flux through the roofs in the year 2080 with respect to the present for the reference roof is 121 kWh/m² while for the retrofitted case the increase is close to 90 kWh/m², which allows us to repeat the previous analysis, noting an increase in heat fluxes for the two cases of roofs analyzed, but with a clearly greater increase for the reference case than for the retrofitted case, an increase that, as mentioned above, starts from much higher values in the reference case, which translates into a much higher heat flux value for 2080 for the reference roof, as shown in Figure 2 and Table 2.

Based on the above, we can also state that for the time period 2050 - 2080 the increase in heat flux caused by the increase in temperature during this period is also lower for the cool roof, resulting in a greater damping of the effect of the thermal increase in ambient temperatures.

5. CONCLUSIONS

This study makes a comparative analysis of the energy performance of two roof configurations: one that can be considered as archetypical of the social housing built in southern Spain in the mid-twentieth century and another that represents a retrofitting of the roof of the previous one through the use of a recently developed material consisting of an ultra-emissive paint with low solar absorption.

The study evaluated the influence of this paint at the present time and when subjected to the impact of increased temperatures due to climate change, for which the thermal fluxes through the roofs of the two cases were analyzed, the building in its initial state and the same building retrofitted with the ultra-emissive paint, in the current year, 2050 and 2080. The projection method selected to produce the future climate files was CCWorldWeatherGen and the scenario considered was the A2 scenario as defined by the IPCC in the Fourth Assessment Report.

As a result of the research carried out, it is concluded that the ultra-emissive paint used for the retrofit of the social housing under study, allows a very significant reduction of heat flux in the warm season through the roof, this statement being valid for the present time and for the climate change scenarios considered in the years 2050 and 2080.

Thus, this reduction is 92.3% for the present, 75.59% for the year 2050 and 65.27% for the year 2080.

Therefore, it can be concluded that the use of the ultra-emissive paint analyzed is an excellent solution for the retrofit of the roofs of social housing built in southern Spain in the middle of the last century, being able to significantly reduce heat flows through the roof with the consequent advantages of improved indoor comfort, reduced energy costs due to the maintenance of indoor comfort. Therefore, the roof refurbishment analyzed is a retrofitting solution that can be recommended for use in the geographical and climatic framework considered for climate change mitigation by providing a significant reduction in greenhouse gas emissions due to the reduction of the indicated energy consumption which in turn translates into an improvement in the quality of life of the inhabitants of the dwellings where the proposed measure is applied.

6. REFERENCES

- AEMET (2010). Agencia Estatal de Meteorología de España. Guía Resumida del Clima en España (1981–2010).
http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/guia_resumida_2010
- ASHRAE (2021). ASHRAE handbook – Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Belcher SE, Hacker JN, Powell DS (2005). Constructing design weather data for future climates. *SAGE Publications Ltd STM*.
<https://doi.org/10.1191/0143624405bt112oa>
- CTE (2022). Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. Gobierno de España.
<https://www.codigotecnico.org>
- Das P, Rudra S, Maurya K, et al (2023). Ultra-emissive mgo-pvdf, polymer nanocomposite paint for passive daytime radiative cooling. *Advanced Material Technologies* 8:1 –8. <https://doi.org/10.1002/admt.202301174>
- Domínguez-Delgado, A.; Domínguez-Torres, H; Domínguez-Torres, CA. (2020), Energy and economic life cycle assessment of cool roofs applied to the refurbishment of social housing in southern Spain, *Sustainability*.
doi.org/10.3390/sul2145602

- Domínguez-Torres, C. A., Suárez, R., León-Rodríguez, A. L., Domínguez-Delgado, A. (2022). Experimental validation of a dynamic numeric model to simulate the thermal behavior of a facade. *Applied Thermal Engineering*, 204, 117686
- Hagishima A., Tanimoto J. (2003). Field measurements for estimating the convective heat transfer coefficient at building surfaces. *Building and Environment*, 38, 7, 873-881.
- Hecht (2012). Hecht, F. New development in FreeFem++. *Journal of numerical mathematics*, 20, 251-266.
- IPCC-AR4, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007. Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg1-sum_vol_en.pdf
- IPCC-AR5, 2014. IPCC Fifth Assessment Report (AR5). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC-AR6, 2023, IPCC Sixth Assessment Report (AR6). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35–115. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- IPCC DDC. IPCC Data Distribution Centre, HadCM3 climate scenario data download page. www.ipcc-data.org/sres/hadcm3_download.html
- Jentsch M.F., Bahaj A.S. and James P.A.B. (2008). Climate change future proofing of buildings. Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, Volume 40, Issue 12, pp 2148-2168
- Junta Andalucía (2015). Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. El Clima de Andalucía en el Siglo XXI. Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía. Available online: <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/428152/clima.pdf>
- NBE-CT-79 (1979). Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Gobierno de España. BOE-A-1979-24866. <https://www.boe.es/eli/es/rd/1979/07/06/2429>

- Saafi, K. and Daouas, N. (2018). A life-cycle cost analysis for an optimum combination of cool coating and thermal insulation of residential building roofs in Tunisia. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.010>
- Sharples S. (1984). Full scale measurements of convective energy losses from exterior building surfaces. *Building and Environment*. 19 (1984). 31-39.
- Spanish Building Technical Code (CTE). Basic Document on Energy Savings; Spanish Government: Madrid, Spain, 2022. Available online: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> (accessed on 13 September 2023).

SOSTENIBILIDAD DE LA VITICULTURA FRENTE A LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ISLA DE LANZAROTE, ISLAS CANARIAS

ANNA CATALDO¹

Universidad de La Laguna. Doctoranda en Desarrollo Regional

MIGUEL ÁNGEL MEJÍAS VERA

Universidad de La Laguna. Área de Análisis Geográfico Regional

DAVID PADRÓN MARRERO

Universidad de La Laguna. Área de Economía Aplicada

1. INTRODUCCIÓN

La viticultura en la isla de Lanzarote (Islas Canarias, España), es un ejemplo único de adaptación a condiciones extremas de carácter climático desarrollado en suelos volcánicos. Lanzarote, al igual que el resto de islas del archipiélago canario, puede considerarse, además, un centro de biodiversidad. Sus cepas han evolucionado hasta tal punto que ahora son genéticamente diferentes de las poblaciones originales. Las vides de Lanzarote pueden ser de gran interés para el sector vitivinícola ya que pueden actuar como vivero para obtener cepas mejor adaptadas y mitigando, de esta manera, los efectos del cambio climático (Fort, et al. 2022). Esta evolución, sin duda, se ha logrado gracias a una lucha constante, por parte del campesinado lanzaroteño, con las adversidades volcánicas, edáficas, hídricas, climáticas, económicas, sociales o políticas a lo largo de su historia, haciendo de la adversidad una oportunidad.

La expansión del cultivo de la vid en las islas realengas (Tenerife y La Palma) desde el siglo XVI, «propició un aumento de la demanda de

¹ Los autores forman parte del grupo de investigación interdisciplinar en agroturismo (GIA). Cátedra de Agroturismo y Enoturismo de las Islas Canarias Instituto Canario de Calidad Agroalimentaria Universidad de La Laguna.

cereales para abastecer a la mano de obra de ambas islas, lo cual influyó aún más en la intensificación de la explotación de tierras en Lanzarote» (Quintana, 2005; 237) esto supuso para la isla, no solo el aumento de roturación de tierras, sino un efecto llamada para mano de obra exterior a finales del siglo XVII «procedente de la propia región y de la cercana Madeira» (Quintana, 2005; 237). Pero sobrepasar los límites de los recursos ecológicos significó multiplicar las recesiones económicas pronto. El inicio del siglo XVIII conoció dos periodos de sequías importantes y prolongadas lo que constituyó, para los campesinos, reducir la extensión de áreas de labor, traspasar las mejores propiedades a los oligarcas locales para evitar la hambruna, concluyendo esta secuencia de desgracias con la erupción de Timanfaya en 1730. El proceso eruptivo no solo determinó la pérdida de espacio cerealístico, asentamientos y población, sino que también significó un aumento de la conflictividad social y miseria que concluye en la obligación de emigrar (Romero, 2003; Quintana, 2005; Macías, 1995).

Pero este paisaje sepultado se transformó desde el primer momento, de manera lenta al principio, y acelerada después, mediante la roturación y explotación de tierras «incultas hasta ese momento» (Quintana, 2005; 249). Estas acciones permitieron ya, comprobar que el lapilli o rofe, en lengua vernácula, propició beneficio en las cosechas, aportando capacidad de retención de la humedad del rocío, como demuestra Tejedor *et al.*, al analizar parcelas cubiertas y descubiertas por tefra (*mulching*), donde las protegidas son capaces de retener ocho veces más el agua, facilitando la infiltración y reduciendo la evaporación (Tejedor *et al.* 2003). Agua muy escasa, pues la pluviosidad media anual en toda la isla no llega a los 250 mm, con diferencias locales marcadas entre el norte y el sur, y la costa y el interior y de carácter irregular, esto se complementa con una insolación elevada (65%), temperaturas medias superiores al 20°C, y sobre todo, y muy importante, una oscilación térmica diurna muy elevada, que puede llegar hasta 17°C (Marzol, 1988; 70-71), que combinado a cielos despejados (130 días al año) crean importantes procesos de condensación (rocío), determinantes para los sistemas agrícolas sobre cubiertas de lapillis, arenados y jables.

Estos difíciles aspectos de la historia socioeconómica de la isla de Lanzarote, que son el inicio de la configuración de su paisaje actual, se convierten, otra vez, en la alternativa ante los efectos proyectuales del cambio climático en el que estamos inmersos, especialmente en áreas de dominio árido. El reciente reconocimiento de la FAO (2025) a los «Sistemas Agrícolas en Jable y Arenas Volcánicas en la isla de Lanzarote» como Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) es un aval y ejemplo del grado de compromiso de esta sociedad en la lucha por la mitigación y adaptación a condiciones extremas desde hace siglos.

Pero en la actualidad se está enfrentando a nuevos desafíos debido al aumento de eventos climáticos más extremos todavía, especialmente en las temperaturas, donde se han «registrado numerosos récords de temperatura en los últimos años, con un incremento sustancial en los registros termométricos extremos máximos de las series» (Dorta *et al.* 2018; 41). Se han sucedido «varias olas de calor con valores térmicos que han superado ampliamente los máximos alcanzados hasta la fecha, pero no sólo en época estival, en Lanzarote el 13 de mayo de 2015 se llegó a una temperatura de 42,6°C, 6°C más que el valor máximo anterior registrado en 1986» (Dorta *et al.* 2018; 41). En esta isla, «el análisis de los datos de mayo para una serie de 43 años constata, con el test de Mann-Kendall, un aumento estadísticamente significativo de los valores máximos» (Dorta *et al.* 2018; 41). En cuanto a las precipitaciones, no es tan significativa la reducción, en un ámbito ya escaso, sino la irregularidad, por tanto, no es tan relevante. Pero sí lo es el descenso de la humedad relativa, para explicar, según Vicente-Serrano *et al.*, el incremento de 18.2 mm/década en la evapotranspiración para Canarias, incremento especialmente significativo en verano (Dorta *et al.* 2018; 39). En el análisis de las olas de calor en Canarias, estos autores, indican que su número es notablemente mayor en los últimos años, con 24 episodios entre 1996 y 2015 y sólo 13 entre 1976 y 1995, según fuentes de la Agencia Estatal de Meteorología en el 2015. Además, las mayores intensidades, entendidas como la temperatura máxima de la ola de calor, se dan a lo largo del siglo XXI. Sí es significativo, también, por las consecuencias a los ciclos de la viña el aumento de las temperaturas mínimas, pues, para finales de siglo XXI se estima que estará entre 1,8°C y algo más de 3°C,

(AEMET, 2015), y el mayor ascenso térmico general será durante el otoño. A partir del «Monitor de Sequía Meteorológica» desarrollado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) -monitordesquia.csic.es-, se analizaron datos históricos desde 1961 correspondientes a La Geria (Figura 1). Se obtuvieron valores del índice de precipitaciones estandarizado (SPI) en diferentes escalas temporales, lo que permitió identificar anomalías climáticas en función de la duración de los períodos de referencia y evaluar la severidad de distintos tipos de sequía meteorológica. El análisis de los datos revela una marcada variabilidad mensual y estacional en el SPI-1 y el SPI-3, con oscilaciones significativas en las precipitaciones. La principal diferencia entre el SPI-1 y el SPI-3 radica en la escala temporal de la precipitación analizada. El SPI-1 se calcula a partir de la precipitación mensual y refleja anomalías de corta duración, por lo que se asocia a sequías de corto plazo. En cambio, el SPI-3 utiliza la precipitación acumulada durante tres meses consecutivos, proporcionando una visión más estable de la sequía y describiendo sequías de mediano plazo. En contraste, el SPI-12 presenta una mayor estabilidad, reflejando la persistencia de sequías prolongadas. Además, las líneas de referencia en los gráficos del SPI (-1 y -2) indican umbrales clave para la clasificación de sequías, donde valores inferiores a -1 corresponden a sequía moderada y valores inferiores a -2 indican sequía severa. Los resultados demuestran que La Geria, y por extensión Lanzarote se caracteriza por la irregularidad entre valores de 2 y -2, pero modalmente domina el umbral entre 0 y -1, lo que indica estados de sequía moderada para una serie temporal de 1960-2020. Estos episodios descritos, sin lugar a dudas, rompe con las condiciones ideales de producción vitícola que conocemos (Jones *et al.* 2005).

En Lanzarote, las condiciones de baja humedad y alta aireación de las plantas —favorecidas por la poda y la separación entre cepas en los hoyos de La Geria—, junto con la porosidad del suelo volcánico, dificultan el movimiento y la reproducción de la filoxera. Esto ha permitido conservar variedades autóctonas sin necesidad de injertos, reforzando el valor patrimonial y cultural del viñedo. Del mismo modo, las prácticas tradicionales han limitado la incidencia del oídio, asegurando la vitalidad de las cepas. Estas particularidades, lejos de ser anecdóticas,

forman parte de la identidad vitivinícola insular y contribuyen a comprender cómo el sistema vitícola de Lanzarote ha resistido históricamente tanto a cambios ambientales como a amenazas fitosanitarias.

Por tanto, ¿estas evidencias afectan a la sostenibilidad de la viña en la isla de Lanzarote? Estas cuestiones son las que tratamos de identificar en esta investigación, cuestionando a los protagonistas, viticultores y bodegueros sobre las repercusiones presentes y futuras de estos acontecimientos en el sector vitícola.

2. OBJETIVOS

Localizar y recopilar datos de Lanzarote, fundamentalmente climáticos y partir de referencias bibliográficas, revistas científicas de carácter histórico e informes, de manera que podamos determinar un perfil de la significación de estos hechos climáticos sobre el cultivo de la vid.

Caracterizar, actualmente, el cultivo de la vid en Lanzarote, centrándonos en el comportamiento cultural, económico y paisajístico a partir de los cambios climáticos que se están produciendo. En este objetivo es fundamental valorar la fortaleza de los viñedos lanzaroteños frente a plagas históricas en otras latitudes, como la filoxera y el oídio. Este objetivo se desarrollará a partir de la opinión, mediante una encuesta prototipo, de los agentes implicados: viticultores, bodegueros y técnicos especialistas. Método cualitativo. Escala Lanzarote.

Comprobar si se mantienen las prácticas tradicionales en el espacio protegido de La Geria. Esta fase se desarrolla mediante técnicas de observación de campo. Seleccionamos una serie de parcelas atendiendo a distintos patrones espaciales y su relación con otros componentes territoriales: parcelas ubicadas en el borde de carreteras más concurridas o visibles, otras más alejadas y no visibles, así como parcelas con hoyos más profundos y costosos, entre otros criterios. Exploramos si la adaptación a las nuevas condiciones pone en riesgo la preservación del patrimonio vitivinícola actual y las características únicas de los vinos locales, o en cambio, siguen manteniendo los modelos de sistemas tradicionales (hoyos, socos, secano -sin riego-, sin maquinaria y variedades

locales adaptadas). Método cualitativo. Instrumento de validación: fichas de observación. Escala La Geria. Nivel parcelas.

3. METODOLOGÍA

Estructuramos la metodología en base a los tres objetivos considerados.

3.1. BÚSQUEDA Y SISTEMATIZACIÓN DE REFERENCIAS MULTIDISCIPLINARES

La metodología que empleamos se inicia desde la búsqueda de referencias bibliográficas multidisciplinarias. Partimos, por la trascendencia del problema de fuentes que nos ayuden a explicar las características biofísicas del ámbito de estudio, La Geria (Lanzarote), y tratar de responder a la pregunta clave: ¿Los episodios climáticos que están aconteciendo en Lanzarote debido al cambio climático tiene repercusión en los sistemas tradicionales del cultivo de la viña?

En este sentido, son muchos los autores que han trabajado en el análisis de esos factores biofísicos de Lanzarote, que entendemos que son claves en los usos y aprovechamientos agrícolas posteriores, destacaremos en los estudios geomorfológicos recientes de Carmen Romero, especialmente en el estudio de la erupción de Timanfaya, Eduardo Martínez de Pisón o Francisco Quirantes y anterior ellos, Leoncio Afonso, apoyados en tesis del campo geológico como las de Hausen, Fuster, Coello, Araña o Carracedo. Pero en cambio, el clima de Lanzarote, no ha sido centro de una investigación tan prolija como el relieve, el volcanismo y la geología. A pesar de ello, debemos destacar los estudios de Victoria Marzol, especialmente en el campo de las precipitaciones y que nos da, para este trabajo, claves para interpretar por qué el sistema tradicional de cultivo de Lanzarote es idóneo. A esto le añadimos, en clave cambio climático de la región del Atlántico Norte, el estudio de respuestas científicas que realizan múltiples investigadores sobre los cambios que se están produciendo en los valores de determinados elementos climáticos, especialmente en la temperatura. Y más recientemente los estudios en el marco del proyecto europeo ARSIONE, donde se busca dar soluciones bajo un enfoque de innovación sistémica (SIA) y la ventana de innovación climática (CIW) con el propósito de construir un ecosistema para las

soluciones de adaptación al cambio climático. En el caso de Canarias, ARSIONE se centra en la transición ecológica y la vulnerabilidad de los acuíferos en las islas volcánicas, con especial importancia en la producción primaria (Santamarta, *et al.*, 2025). Otro bloque de referencias está formado por aquellas que buscan enfoques combinados, las relaciones que explican el funcionamiento de los hechos sistémicos, es el caso de Santana, con los estudios sobre precipitaciones de rocío, o Tejedor *et al.*, que analizan y demuestra la importancia del rofe como *mulching*, y las diferencias en cuanto retención de humedad y disminución de evaporación. Por último, están las relaciones que combinan los cambios de las condiciones climáticas y los efectos que generan a los estándares de calidad en el cultivo de la vid. En este caso aportamos estudios a escala global y en otras regiones, ya que en Canarias en general y en Lanzarote en particular no existen, hasta estos momentos, estos estudios específicos (Godenau, 2019). Destacamos a Vicente Sotés que hace un análisis del impacto que tendrá el cambio climático en la viticultura a nivel España (no se incluye Canarias), o el trabajo de Ruiz *et al.* en 2018. Así mismo, abarcando otras regiones en el mundo, Jones *et al.*, van Leeuwen *et al.* Bramley, *et al.*, o Hannah *et al.*, entre otros.

3.2. CARACTERIZAR LA ACTUALIDAD DEL CULTIVO DE LA VID EN LANZAROTE

La metodología de este objetivo es de tipo cualitativo. Está relacionado al objetivo dos. Se centra proponer un prototipo de cuestionario que nos permita conocer las prácticas tradicionales de los sistemas de cultivo en Lanzarote, pero al mismo tiempo reformular algunos apartados o incluir otros. (entendemos que no significativa desde el punto de vista estadístico, ya que la muestra es insuficiente, pero si nos permite, validar, corregir y reformular aspectos de la investigación) Utilizaremos *Google form* como plataforma, pero también apoyadas con entrevistas directas sobre su misma base. Si es significativo que la población (viticultores, bodegueros y técnicos especialistas) es amplia, si tenemos en cuenta el conjunto insular, pero para zonas más acotadas como La Geria, la población es menor, por tanto, puede ser más significativa. Escala Lanzarote.

TABLA 1. *Ítems o indicadores.*

Perfil	Rol
	Edad
	Experiencia
Sistema de cultivo	Tipo de técnicas tradicionales
	Variedades
Transmisión de conocimiento y relevo generacional	Tipo de formación
	Programas de actualización
	Causas de la actualización
	Relevo generacional
Percepción del cambio climático	Tipos de anomalías climáticas
	Afectación al viñedo o producción
	Tipo de afectación
	Diferenciación zonal
Futuro de la viticultura tradicional	Claves de supervivencia
Resiliencia y sostenibilidad	Valor paisajístico
	Claves agrícolas futuras
	Enoturismo
Gobernanza	Ayudas externas
	Tipo de ayudas
	Claves de regeneración y anclaje

Nota: Elaboración propia

3.3. COMPROBAR SI SE MANTIENEN LAS PRÁCTICAS TRADICIONALES EN EL ESPACIO PROTEGIDO DE LA GERIA.

La metodología de este objetivo es cualitativa. En esta fase trabajamos sobre técnicas de observación de campo. Para ello seleccionamos una serie de parcelas tipo. Las parcelas responden a diferentes patrones espaciales y en relación a otras componentes territoriales: borde de carretera más concurrida o visible; lo contrario, las más alejadas, no visibles; las de hoyos más profundos y costoso, etc. El diseño de la minuta de campo nos permite explorar si se están modificando los sistemas tradicionales para adaptarse a las nuevas condiciones, lo cual puede poner en riesgo la preservación del patrimonio vitivinícola actual y las características únicas de los vinos locales, o en cambio, siguen manteniendo los modelos de sistemas tradicionales (hoyos, soco, secano -sin riego-, sin maquinaria y utilización de variedades locales adaptadas) a pesar de

lo cambios. Método cualitativo. Instrumento de validación: fichas de observación. Escala La Geria. Nivel parcelas.

TABLA 2. *Ítems e indicadores de control*

Identificación	Código de parcelas	
	Fecha y hora de observación	
	Observador	
	Geolocalización	
Prácticas tradicionales	Elementos del sistema tradicional	
	Variedades de vid	
Otras prácticas	Elementos de otras prácticas	
	Variedades de vid	
Sostenibilidad y cambio climático	Funciones de resiliencia climática	Erosión
		Humedad del suelo
		Protección del viento
		Uso de agua
		Manejo eficiente del rofe
		Nivel de biodiversidad
	Nivel de degradación Nivel de abandono Cambio de uso	Muros cortavientos ro-tos
		Hoyos colmatados
		Hoyos abandonados
		Hoyos sin cultivos
		Cambio a sistemas no tradicionales
		Uso de agua
		Cambio de varietales
		Presión urbanística
		Presión turística

Nota: Elaboración propia

TABLA 3. Parcelas observadas

Parcela	Referencia de polígono SIGPAC ²
Barranco del Obispo	35:34:0:0:7:35
Vega de Tegoyo	35:28:0:0:13:255
Bilbao	35:34:0:0:7:45
Gaida	35:28:0:0:13:184
Caldera de Chupadero	35:34:0:0:6:144
Caldera de Guardilama	35:28:0:0:13:54

Nota: Elaboración propia. Fuente: SIGPAC

4. ÁREA DE ESTUDIO

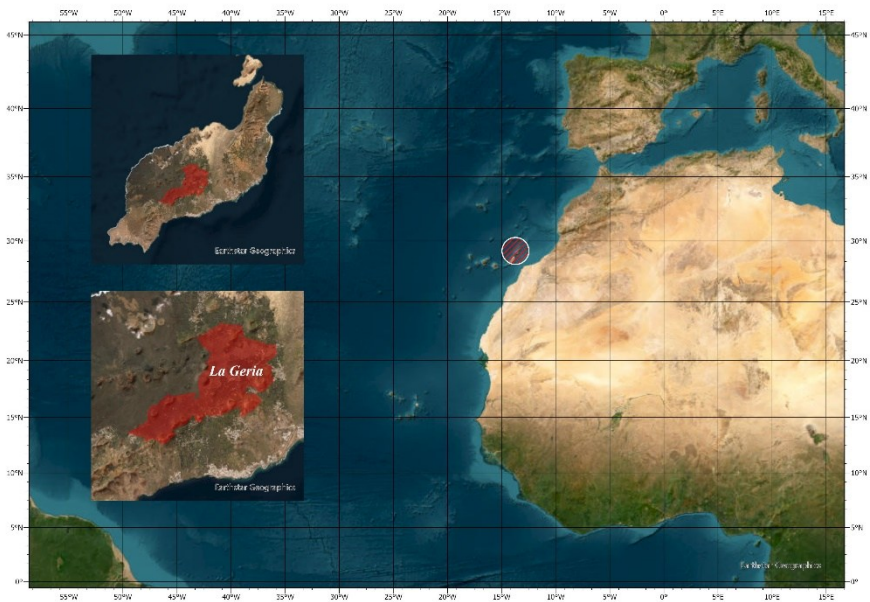
En esta investigación trabajaremos en varias escalas, una general y global desde el punto de vista de referencias, una segunda escala a nivel insular en Lanzarote, mediante el trabajo de las encuestas, y una tercera escala local, centrada en La Geria como modelo de análisis de campo (Figura 1 y 2).

La Geria se concentra en la unidad estructural central de Lanzarote, morfológicamente es un pasillo intervolcánico o vega (Afonso, 2004), estructurado de NE-SW y flanqueado: al SE, por un eje estructural NE-SW, formado por conos volcánicos de la Serie III (Guatisea, Montaña Blanca, Guardilama...), y de la Serie II (Caldera Riscada...) en la frontera del Macizo de Los Ajaches. Al NW, por un eje estructural en dirección ENE-WSW, formados por volcanes de la Serie III.

Esta subunidad se ve interrumpida por la erupción histórica de Timanfaya. Por un lado, es dividida en dos subsectores por la única colada que se dirige hacia el sur, atravesando el valle de la Geria, canalizándose por un pequeño barranco hacia el sureste; por otro, la deposición de cenizas y lapillis que cubren los suelos preexistentes en ese pasillo intervolcánico o vega.

² El código de referencia del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIG-PAC) se estructura siguiendo el siguiente orden: 35:34:0:0:7:35 equivale a: Provincia:Municipio:Agregado:Zona:Polígono:Parcela.

FIGURA 1. Mapa de localización de La Geria (Lanzarote, Islas Canarias)



Fuente: ESRI: mapas base. GRAFCAN S.A. Delimitación del espacio natural de La Geria.
Composición cartográfica: elaboración propia

Por tanto, La Geria se caracteriza por un relieve, relativamente llano producto de la acumulación de sedimentos provenientes de ambos ejes de volcanes que lo delimitan (Series II y fundamentalmente III), recubiertos o tapizados recientemente por una capa de diferentes grosores de cenizas y piroclastos (lapillis) de carácter aéreo, dividido en dos sectores, uno al NE, en el entorno de Montaña Blanca, y otro, al SW, entorno al grupo de volcanes que lidera Guardilama (603 m.s.n.m).

FIGURA 2. Mapa de detalle de La Geria. Espacio de cultivo sobre rofe junto a carretera y bodegas con servicios enoturísticos.



Fuente: Ortofotografía express (GRAFCAN) año 2021. Elaboración propia. Observar la disposición de los muros (socos) respecto al norte, los cuales protegen del viento alisio dominante del N-NE.

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

El resultado de esta fase se sintetiza en una base de referencias agrupados en niveles de inventario -componentes biofísicas y cambio climático-; nivel de tratamiento -correlaciones entre las diferentes componentes- (Tabla 4).

TABLA 4. *Síntesis de referencias multidisciplinarias asociadas al área de estudio y su problemática.*

Componentes	Disciplinas	Referencias
Componentes históricas y patrimoniales	Historia y economía histórica	Quintana, Macías
Componentes biofísicas	Geología y geomorfología	Romero
		Afonso
		Martínez de Pisón
		Quirantes
		Hausen
		Fuster
		Coello
		Araña
		Carracedo
	Clima	Marzol, Dorta et al
Cambio Climático	Geografía física	Dorta et al
	Ingeniería agrícola	Proyecto europeo AR-SIONE (Santamarta et al.)
Correlación entre variables biofísicas	Edafología	Tejedor et al.
Correlaciones variables biofísicas, cambio climático y viticultura	Ingeniería agrícola, economía	Vicente Sotés
		Godenau
		Jones et al.
		Van Leeuwen et al.
		Bramley et al. al.,Hannah et al.

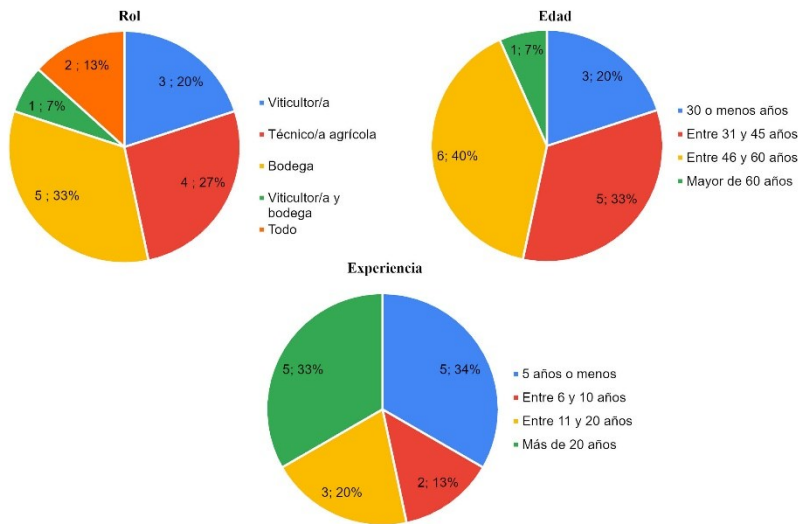
Nota: Elaboración propia

5.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA ENCUESTA

5.2.1. Perfil de las personas encuestadas

Tal y como se desprende de la información representada en el gráfico 1, la mayoría de las personas encuestadas son viticultoras de edad media y avanzada: cerca del 50 % (7 personas) tiene más de 45 años de edad, y acumula, en muchos casos, más de tres décadas de experiencia en el sector. Por el contrario, las personas encuestadas de 30 o menos años representan el 20% (3 personas) de la muestra.

GRÁFICO 1. *Perfil de las personas encuestadas*



Nota: En cada etiqueta de datos se muestra el número de casos (recuento) y el porcentaje sobre el total de personas encuestadas
Fuente. Elaboración propia

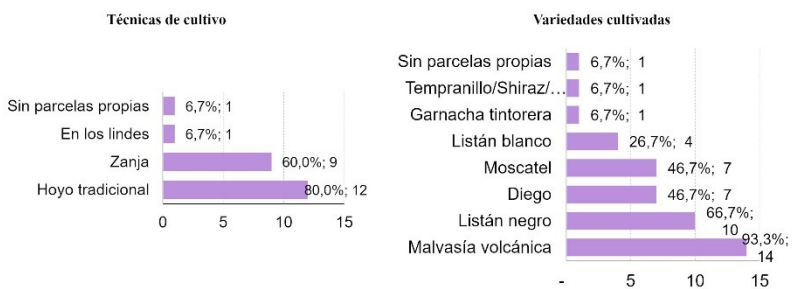
Aunque el reducido tamaño de la muestra impide elevar las conclusiones a nivel poblacional, el predominio de personas de 45 y más años y una larga experiencia bien puede interpretarse como evidencia (parcial y muy preliminar) del peso de la tradición y del conocimiento acumulado, pero también un reflejo del riesgo latente de falta de continuidad, ausencia de relevo generacional, ya que la presencia de jóvenes en el sector sigue siendo reducida.

5.2.2. Sistema de cultivo

Las personas encuestadas señalan que el sistema de hoyos tradicionales excavados en lapilli volcánico sigue siendo el método dominante, declarado por más del 80 % (un total de 12 de las 15 personas encuestadas). Este modelo, combinado con la utilización de variedades autóctonas como Malvasía volcánica, Listán blanco, Listán negro, Diego y Moscatel, puede interpretarse como evidencia de la persistencia de un

patrimonio agrícola con fuerte arraigo histórico (Gráfico 2). Sin embargo, en paralelo se registran iniciativas de innovación (alrededor del 15-20 % de los casos), vinculadas sobre todo a productores más jóvenes o bodegueros, que buscan optimizar el manejo del cultivo frente a escenarios de mayor aridez. Esta coexistencia de tradición y experimentación podría estar revelando que la viticultura lanzaroteña está entrando en una fase de tensión entre preservación cultural y adaptación climática.

GRÁFICO 2. *Sistema de cultivo*



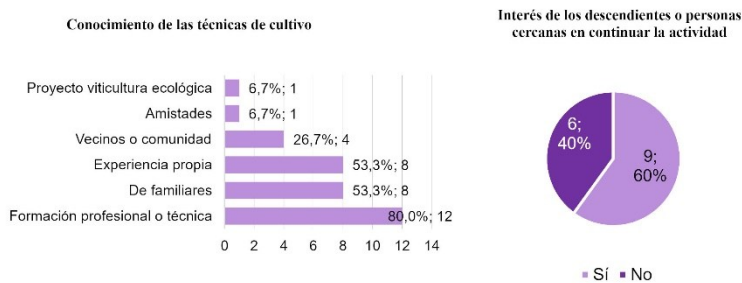
Nota: En cada etiqueta de datos se muestra el porcentaje que representa sobre el total y el número de casos (recuento). Fuente: elaboración propia

5.2.3. Transmisión del saber y relevo generacional

Los resultados obtenidos sugieren que la familia y la comunidad es una importante fuente de transmisión del conocimiento. El 53% de las personas encuestadas señala la transmisión intergeneracional dentro de la familia, mientras que un 26,7% señala que la transmisión de conocimientos entre vecinos y dentro de la comunidad es importante.

No obstante, las respuestas obtenidas también sugieren que los conocimientos transmitidos dentro de la familia y la propia comunidad cada vez se complementan más con formación técnica y experiencia directa.

GRÁFICO 3. Transmisión del saber y relevo generacional



Nota: En cada etiqueta de datos se muestra el porcentaje que representa sobre el total y el número de casos (recuento). Fuente: elaboración propia

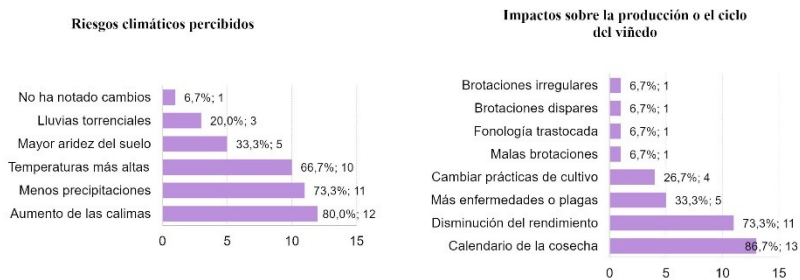
Por otro lado, el hecho de que el 60 % de los productores identifique posibles continuadores dentro de sus familias o círculos cercanos introduce un matiz relevante: aunque la falta de relevo sigue siendo uno de los principales retos percibidos, existe una base social que podría sostener la continuidad del modelo tradicional. Esto indica que no se trata de un proceso lineal de abandono, sino de un escenario mixto en el que conviven amenazas de pérdida cultural con oportunidades de regeneración.

5.2.4. Percepción del cambio climático

Todas las personas encuestadas declaran haber percibido al menos uno de los riesgos más habitualmente asociados al cambio climático: menores precipitaciones, episodios de lluvias torrenciales, mayor aridez del suelo, temperaturas más altas y durante periodos más prolongados o aumento de calimas (advecciones de polvo sahariano).³

³ Tan sólo una de las 15 personas encuestadas no declara haber observado ningún riesgo climático, aunque luego afirma haber tenido que modificar por tales circunstancias la forma de cultivar. Entendemos que se trata de una errata y que, por lo tanto, podemos afirmar que todas las personas encuestadas afirman percibir los riesgos climáticos.

GRÁFICO 4. *Percepción del cambio climático*



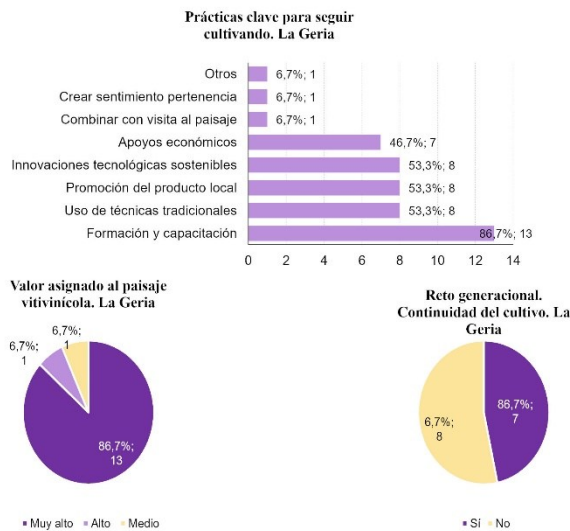
Nota: En cada etiqueta de datos se muestra el porcentaje que representa sobre el total y el número de casos (recuento). Fuente: elaboración propia.

Una amplia mayoría de las personas encuestadas declara, además, haber experimentado cambios recientes en sus viñedos: adelanto de la vendimia, mayor irregularidad en las lluvias y descenso en los rendimientos productivos. Más del 70 % asocia estos fenómenos directamente con el cambio climático, lo que podría estar reflejando que éste no se percibe (sólo) como un riesgo futuro sino (también) como una realidad presente. La coincidencia de estas percepciones con los registros meteorológicos de Lanzarote otorga un valor añadido a los testimonios de viticultores, consolidándolos como fuente válida de conocimiento local frente a la variabilidad climática.

5.2.5. Futuro de la viticultura tradicional

Entre los principales retos a tender para garantizar el futuro de la viticultura tradicional en La Geria, tres emergen con fuerza entre las personas encuestadas: la escasa rentabilidad, la incertidumbre del relevo generacional y la necesidad de profesionalización del sector. Sin embargo, los encuestados coinciden en que la preservación del paisaje vitícola de La Geria constituye un valor prioritario. Esta paradoja —dificultades económicas frente a alto valor patrimonial— sugiere que el futuro del sistema dependerá de la capacidad de articular incentivos que hagan compatible la continuidad económica con la conservación cultural.

GRÁFICO 5. Futuro de la viticultura tradicional



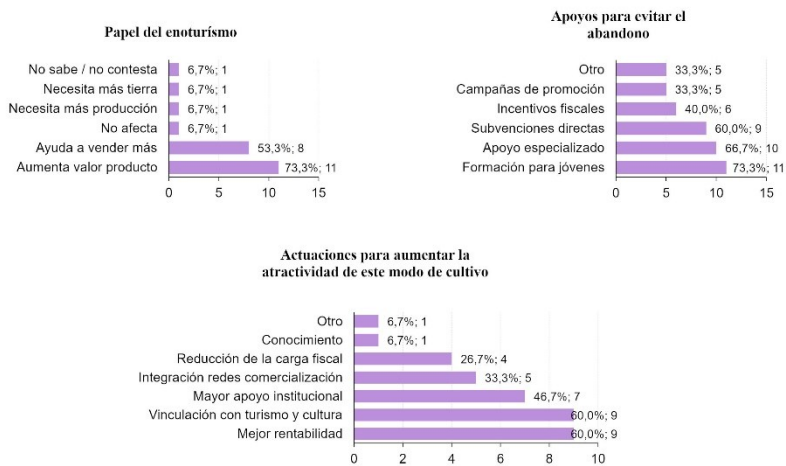
Nota: En cada etiqueta de datos se muestra el número de casos (recuento) y el porcentaje que representa sobre el total. Fuente: elaboración propia.

5.2.6. El papel del enoturismo y de la gobernanza

Las personas encuestadas resaltan que la sostenibilidad del sector no podrá depender exclusivamente de la viticultura como actividad agrícola, sino de su integración en un modelo territorial más amplio. En este marco, el enoturismo es identificado como la estrategia más valorada para diversificar ingresos, dar visibilidad al trabajo de los viticultores y reforzar la identidad cultural de la isla. Paralelamente, se señala la necesidad de políticas públicas activas y programas de apoyo económico e institucional que faciliten la incorporación de nuevas generaciones y aseguren la compatibilidad entre innovación y tradición.

En conjunto, los resultados de la encuesta reflejan una narrativa de resiliencia frente al cambio climático: aunque los viticultores reconocen la existencia de amenazas concretas, mantienen un fuerte compromiso con la conservación de sus prácticas, el paisaje y la identidad vitícola de la isla.

GRÁFICO 6. *Papel del enoturismo y la gobernanza*



Nota: En cada etiqueta de datos se muestra el número de casos (recuento) y el porcentaje que representa sobre el total. Fuente: Elaboración propia

La continuidad de este modelo dependerá, en última instancia, de la capacidad de integrar tradición y adaptación en un equilibrio que garantice tanto la viabilidad económica como la sostenibilidad cultural y ambiental, asegurando así su permanencia en un contexto de creciente incertidumbre climática.

5.3. RESULTADOS CUALITATIVOS DEL TRABAJO DE CAMPO.

Las observaciones de campo se realizaron en seis parcelas representativas del espacio protegido de La Geria, seleccionadas en función de su localización y tipología. Dos se ubican en bordes de carretera principales, con mayor presión turística y exposición visual, y las otras cuatro en zonas interiores más aisladas hasta dentro calderas volcánicas, con menor accesibilidad.

El mapa de localización de estas parcelas (Figura 3), se aprecian las diferencias espaciales entre las áreas observadas. Cada parcela fue caracterizada mediante fichas de campo siguiendo los indicadores establecidos en la metodología (Tabla 2).

FIGURA 3. Localización del viñedo observado



Fuente: Base cartográfica: Google maps. Elaboración propia

Las fichas de observación incluían prácticas de cultivo, variedades de vid, estado de conservación y riesgos asociados. Los principales resultados se sintetizan a continuación (Tabla 5).

FIGURA 4. Cultivos de viñedos en hoyos abandonados. La Geria



Fuente: Miguel Ángel Mejías

TABLA 5. Resultados observaciones en campo

Parcela	Práctica dominante	Variedades	Estado de conservación	Riesgos principales
Barranco del Obispo	Hoyos + muros	Malvasía Listán blanco Listán Negro Diego	Regular	Presión urbanística
			Manejo eficiente del rofe	Semi-abandono previo
			Sin riego	
Vega de Tegoyo	Hoyos sin Muros	Malvasía	Bueno	Presión urbanística
			Manejo eficiente del rofe	
			Sin riego	
Bilbao	Hoyos sin muros	Malvasía Burra blanca	Bueno	Riesgo de abandono
			Manejo eficiente del rofe	
			Sin riego	
Gaida	Hoyos + muros	Malvasía	Regular	Riesgo de abandono
			Manejo eficiente del rofe	
			Sin riego	
Caldera del Chupadero	Hoyos + muros	Listán blanco	Regular	Riesgo de abandono
			Manejo eficiente del rofe	
			Sin riego	
Caldera de Guardilama	Zanjas	Listán negro	Bueno	Riesgo de abandono
			Manejo eficiente del rofe	
			Sin riego	

Nota: Elaboración propia

A partir de esta síntesis, en la totalidad de las parcelas se constató la vigencia del sistema de cultivo tradicional, caracterizado por la plantación en hoyos excavados en el lapilli volcánico (*rofe*), protegidos en muchos casos con muros semicirculares (*socos*). Solo en la Caldera de Guardilama se identificó la persistencia del sistema lineal en zanjas, lo que constituye una excepción en el conjunto observado.

El rofe, material poroso y de gran capacidad higroscópica, continúa desempeñando un papel esencial: favorece la infiltración de las escasas lluvias, reduce la evaporación y permite el aprovechamiento del rocío nocturno, que constituye una fuente clave de humedad en fases críticas

del ciclo vegetativo. Estas funciones explican en buena medida la resistencia del sistema frente a las condiciones de aridez extrema de Lanzarote.

En cuanto a las variedades cultivadas, predominan las autóctonas tradicionales —Malvasía volcánica, Listán blanco, Diego y Listán negro—, muchas de ellas cepas centenarias aún productivas. En varias parcelas se detectaron procesos de recuperación de viñas antiguas, lo que pone de manifiesto un esfuerzo consciente de los agricultores por conservar el acervo genético local.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad y resiliencia climática, el modelo tradicional observado mantiene varias funciones clave: control de la erosión, conservación de la humedad edáfica, protección frente al viento y mantenimiento de la biodiversidad. Si bien no se registraron abandonos recientes en las parcelas estudiadas, sí se identificaron señales de semi-abandono en áreas próximas, lo que sugiere riesgos asociados a la falta de relevo generacional y a la presión turística.

En síntesis, el trabajo de campo confirma que el sistema vitícola de La Geria no solo sigue vigente, sino que actúa como una estrategia adaptativa eficaz frente al cambio climático. No obstante, su permanencia a futuro dependerá de la capacidad de la comunidad vitivinícola para conservar estas prácticas frente a un escenario marcado por temperaturas extremas, irregularidad de precipitaciones y tensiones socioeconómicas externas.

5. DISCUSIÓN

Cuando la geomorfología y el clima, de carácter extremo (problema), conduce a la sociedad a desarrollar el intelecto y el ingenio, para encontrar estrategias y medidas de supervivencia, adaptativas, transformadoras y proyectuales (soluciones), podemos afirmar que en Lanzarote estamos ante un verdadero paisaje cultural.

Adaptativas. Las condiciones extremas de aridez, siempre presentes, no eludían la necesidad de tener alimento, era necesario buscar los lugares más idóneos para ello, y los cultivos más adaptados. El binomio suelo-agua como raíz secular. Una vez seleccionados los lugares adecuados, con suelos potencialmente productivos, la variable clima se convierte

en factor determinante, pues es el que bascula entre comer y no comer, entre producir y no producir, entre quedarse o irse, entre vivir o morir.

Transformadoras. Un periodo volcánico de seis años que, en primer lugar, destruye el paisaje pretérito y lo convierte en un «malpaís» arrasado y sin cobertera edáfica; en segundo lugar, en otros ámbitos, las cenizas y piroclastos de proyección aérea, tapizan los suelos; y, en tercer lugar, coladas lávicas que se proyectan en el mar, aumentando la superficie insular. Sin duda, un paisaje transformado naturalmente, que obliga a iniciar un proceso de culturización. Hecho que no hace sino reforzar que las Islas Canarias son volcánicas y activas y que la secuencia de construcción-destrucción se encuentran dentro de las reglas del juego y por tanto es necesario reflexionar y volver a poner en valor los límites de crecimiento y las formas de construcción social del paisaje. Por poner un apunte reciente, podemos introducir el caso de la erupción del Tajogaite en la isla de La Palma en 2023, no solo desde el punto de vista de transformación natural, con masiva destrucción de paisajes culturales, sino por la problemática de su reconstrucción por las incertidumbres de los límites y las formas de crecimiento.

Proyectuales. El gran debate es ¿hacia dónde queremos ir? De una gran catástrofe, se encontró una gran solución, que ha funcionado durante 300 años (1730-2025). Hasta mediados del siglo XX, aplicable solo en los límites de acumulación piroclásticas natural, pero a partir de esa fecha, a través de ayudas del IRIDA (Instituto para la Reforma y el Desarrollo Agrario) fue ampliando su expansión geográfica a otros entornos insulares (arenados artificiales), como medida «de transformación de los baldíos es tierras de cultivos» (González, 2011). Esta solución concentra uno de los principios del concepto de sostenibilidad, pero también los de adaptación y mitigación frente al cambio climático, y como no, la resiliencia. Por tanto, ¿podemos proyectar un futuro sin obedecer a este ingenio (humano) centenario? Debemos, por tanto, afrontar los nuevos retos (contexto actual y futuro), con el mismo intelecto.

6. CONCLUSIONES

La viticultura en Lanzarote constituye un ejemplo único de agricultura en condiciones extremas, donde las prácticas tradicionales de La Geria

han demostrado ser altamente resilientes frente a la aridez, la escasez de agua y las plagas que afectaron a otros viñedos europeos. El sistema combina sostenibilidad, identidad cultural y valor paisajístico, y su experiencia puede inspirar a otras regiones áridas del planeta.

Las encuestas y el trabajo de campo confirman tanto la vigencia de este modelo como sus principales amenazas: descenso de rendimientos en años secos, riesgos de salinización con riegos artificiales, abandono de parcelas por presión económica y turística, y la posible pérdida de tipicidad de los vinos. Sin embargo, las adaptaciones tradicionales siguen aportando soluciones eficaces: ahorro de agua, protección frente a la erosión y conservación genética y sensorial de las variedades locales.

En consecuencia, se reafirma el valor del sistema vitícola de Lanzarote como modelo de adaptación al cambio climático, subrayando la necesidad de medidas sostenibles que aseguren la rentabilidad y el relevo generacional sin perder identidad. De esta forma, la viticultura lanzaroteña puede fortalecer su competitividad en los mercados globales a partir de la singularidad cultural, paisajística y enoturística que la caracteriza.

7. AGRADECIMIENTOS/APOYOS

Este trabajo ha contado con el apoyo de la Cátedra de Agroturismo y Enoturismo de Canarias, impulsada por el Instituto Canario de Calidad Agroalimentaria (ICCA) y la Universidad de La Laguna (ULL).

8. REFERENCIAS

- Afonso, L. (2004). Esquema de geografía física de las Islas Canarias. Ediciones Idea.
- Bramley, R., Ouzman, J., & Trought, M. (2020). Making sense of a sense of place: precision viticulture approaches to the analysis of terroir at different scales. *OENO One*, 54(4), 903–917. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.4.3858>
- Carracedo, J. C. (2011). Geología de Canarias. I, Origen, evolución, edad y volcanismo /. Rueda.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (2021). Monitor de sequía meteorológica. <https://monitordesequia.csic.es/monitor/?lang=es>
- Dorta, P., López, D., Martín, J. M., & Santana, D. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte suroriental. *Cuadernos Geográficos*, 57(2), 27–52. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>
- FAO. (2025). Sistemas importantes del patrimonio agrícola mundial (SIPAM): Sistemas agrícolas en jable y arenas volcánicas en la isla de Lanzarote. FAO.
- Fort, F., Marsal, G., Mateo-Sanz, J. M., Peña, V., Juan, M. C., & Zamora, F. (2022). Molecular characterisation of the current cultivars of *Vitis vinifera* L. in Lanzarote (Canary Islands, Spain) reveals nine individuals which correspond to eight new varieties and two new sports. *OENO One*, 56(3). <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.3.5519>
- Godenau, D. (2019). Cambio climático y sector vitivinícola en Canarias. En *Vinaletas, 7º Cuaderno de Cultura y Vino Tacoronte-Acentejo* (pp. 25–35). Cabildo de Tenerife / Editorial Vinaletas.
- González, A. (2011). El cultivo y producción del vino en la isla de Lanzarote. *Territoires du Vin*, 3. Université de Bourgogne. <https://doi.org/10.58335/territoiresduvin.1407>
- Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P. A., & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6907–6912. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110>
- Jones, G. V., White, M. A., Owen, R., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3), 319–343. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2>
- Macías Hernández, A. M. (1995). Tiempos de crisis y mutaciones, 1680-1820. En A. de Béthencourt Massieu (Ed.), *Historia de Canarias*. Cabildo Insular de Gran Canaria.

- Marzol, V. (1988). La lluvia, un recurso natural para Canarias. CajaCanarias.
- Quintana, P. C. (2005). Las catástrofes volcánicas y la transformación del paisaje agrario en Canarias durante la Edad Moderna: Lanzarote 1730–1750. *Revista de Historia Moderna*, 23, 233–260.
<https://doi.org/10.14198/RHM2005.23.10>
- Romero, C. (2003). El relieve de Lanzarote. Rubicón, Cabildo de Lanzarote.
- Ruíz García, L., Romero, P., Tornel, M., Menéndez, C. M., Cabello, F., & Martínez Cutillas, A. (2018). La viticultura frente al cambio climático: adaptación y estrategias de mejora. En Gobierno de la Región de Murcia (Ed.), *Influencia del cambio climático en la mejora genética de plantas* (pp. 165–198). Gobierno de la Región de Murcia.
- Santamarta, J. C., Cruz-Pérez, N., Rodríguez-Alcántara, J. S., Rodríguez-Martín, J., Marazuela, M. Á., & García-Gil, A. (2025). The Challenges of Water Management in the Canary Islands (Spain). In *Water Resources Management and Sustainability: Solutions for Arid Regions* (pp. 449–458). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Sotés Ruiz, V. (2018). Impactos y adaptación al cambio climático en España. En R. Compés López & V. Sotés Ruiz (Coords.), *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio Climático* (pp. 7-38). CajaMar.
- Tejedor, M., Jiménez, C., & Díaz, F. (2003). Volcanic materials as mulches for water conservation. *Geoderma*, 117(3–4), 283–295.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00129-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00129-0)
- van Leeuwen, C., Sgubin, G., Bois, B., Ollat, N., Swingedouw, D., Zito, S., & Gambetta, G. (2024). Climate change impacts and adaptations of wine production. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5(4), 220–235.
<https://doi.org/10.1038/s43017-024-00521-5>

ANALYZING THE ECONOMIC AND ENERGY FEASIBILITY OF BUILDING ENERGY RETROFITTING MEASURES IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE: A PROPOSAL FOR A DYNAMIC METHODOLOGY

CARLOS ANTONIO DOMÍNGUEZ-TORRES
*Higher Technical School of Architecture
University of Seville (Spain)*

HELENA DOMÍNGUEZ TORRES
*Faculty of Economic and Business Sciences
University of Seville (Spain)*

1. INTRODUCTION

1.1. CLIMATE CHANGE

Many agencies and organizations around the world, such as the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), have published numerous studies that highlight and confirm the existence of current climate change. According to the reports issued by these organizations, this ongoing climate change is characterized by an increase in global temperatures and the growing frequency and intensity of extreme weather events, such as heat waves, among other additional impacts such as rising sea levels, the retreat of glaciers and polar ice caps or the increase of droughts in some areas of the planet and floods in others.

In addition, there is a thesis generally supported by the scientific community studying climate change that human activity is the main cause of current global warming, a thesis supported by a wide variety of reports issued, such as the IPCC Fourth Assessment Report (IPCC-AR4, 2007), the IPCC Fifth Assessment Report (IPCC-AR5, 2014) and the IPCC Sixth Assessment Report (IPCC-AR6, 2023).

In these reports, a series of forecasts, also known as projections, have been made of the evolution of global temperatures linked to human activity in terms, fundamentally, of greenhouse gas emissions and influenced above all by climate policies, economic trends and technological evolution. Thus, the pioneering IPCC-AR4, published in 2007, was an important milestone in the scientific understanding of climate change and its possible future effects. The AR4 provided projections of global and regional climate change under different greenhouse gas emission scenarios.

The AR4 climate projections are based on general circulation climate models (GCMs) and emissions scenarios called SRES (Special Report on Emissions Scenarios), which were used before the introduction of RCPs (Representative Concentration Pathways) in subsequent reports.

In AR4, the IPCC used four SRES scenarios to model different trajectories of future emissions:

- **A1:** A scenario of rapid global development based on clean technologies and globalization. A1 has three sub-scenarios:
- **A1FI:** Assumes a scenario with a high dependence on fossil fuels (high emissions).
- **A1T:** Assumes a strong development of clean technologies (moderate emissions).
- **A1B:** Assumes a mix of energy sources (moderate emissions).
- **A2:** A regional development scenario with high population growth and very uneven economic development. This scenario projects high emissions due to population growth and the use of less clean technologies.
- **B1:** A scenario more oriented toward global sustainable development with low greenhouse gas emissions. CO₂ emissions remain low thanks to the transition to cleaner and more efficient energy sources.
- **B2:** An intermediate scenario that projects sustainable development but with a more localized focus on solving social and economic problems at the regional level. Emissions are lower than in A2, but higher than in B1.

Each of these scenarios forecasts different temperature rises by the end of the century according to the assumptions on which they are based. Thus, the global temperature increase was estimated for the A1B scenario to be between 1.1°C and 2.9°C by 2100, with an mean of 2.0°C; for scenario A2 the global temperature increase was estimated to be between 2.4°C and 6.4°C by 2100, with an mean of 3.4°C; for scenario B1 the global temperature increase was estimated to be between 1.1°C and 2.9°C by 2100, with a mean of 1.8°C and finally, for scenario B2 (intermediate emissions), global temperature increase was estimated between 1.4°C and 3.8°C by 2100, with an mean of 2.4°C.

Since that report, the IPCC's Fifth Assessment Report (AR5) was produced between 2011 and 2014 and was released in November 2014. This report expanded and updated the projections and conclusions presented in AR4, reflecting important advances in climate science and global policy. IPCC AR5 proposes a series of climate projections based on different greenhouse gas emissions scenarios, known as RCPs (Representative Concentration Pathways). Unlike AR4, which used SRES scenarios, AR5 introduced RCPs for a more detailed and flexible approach. The four main RCP scenarios in AR5 are:

- **RCP2.6:** Low emissions scenario, which assumes a significant global effort to reduce greenhouse gas emissions (which would limit global warming to 2°C or less).
- **RCP4.5:** Moderate emissions scenario with mitigation policies, but without such intensive efforts as in RCP2.6.
- **RCP6.0:** High-emissions scenario, where emissions grow moderately and then level off.
- **RCP8.5:** Very high emissions scenario, generally considered to be the “business as usual scenario”, without significant policies to reduce greenhouse gas emissions.

Among other forecasts for different climate variables, these projections contemplate an increase between 0.3 °C and 4.8 °C by 2100, depending on the emissions scenario (RCP2.6 to RCP8.5) and a generalized increase in the frequency and intensity of extreme events, such as heat waves.

Finally, between 2015 and 2023, the IPCC's Sixth Assessment Report was developed, and its synthesis report was published in 2023 (IPCC - AR6, 2023). This report proposes a set of detailed climate projections based on different emission scenarios and Shared Socioeconomic Pathways (SSP). In addition to other aspects as in the previous report, it considers the following global temperature increase forecasts with respect to pre-industrial times, associated with each of these SSP scenarios:

- **SSP1-1.9** (very low emissions): increase of about 1.4 °C.
- **SSP1-2.6** (low emissions): increase of about 1.8 °C.
- **SSP1-4.5** (intermediate emissions): increase of about 2.7 °C.
- **SSP1-7.0** (high emissions): increase of about 3.6 °C.
- **SSP1-8.5** (very high emissions): increase of about 4.4 °C.

It is therefore clear, in the light of the aforementioned reports and the associated projections and their effects on temperature increases in the immediate future, the importance of the anthropogenic factor in the possible climate frameworks we may encounter at the end of the century, the importance of the anthropogenic factor in the possible climatic frameworks that we can find at the end of the century and therefore clearly shows the need to act forcefully against emissions of greenhouse gases caused by human action from all areas of society and in particular from the construction sector in order to reduce the consumption of energy associated for different purposes and common uses in this sector and thereby minimize the emission of greenhouse gases associated.

1.2. IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON ENERGY VULNERABLE BUILDINGS AND POSSIBLE MEASURES TO DEAL WITH IT

The effects of climate change on the housing stock will occur globally, although affecting buildings in different ways and with different levels of severity depending on their geographic location, construction quality or typology.

In general, it is expected that an increase in indoor overheating associated with rising temperatures, overheating that may be generalized in already

warm areas such as southern Europe, but may also reach colder areas, as has occurred in northern and central Europe during the last heat waves.

In short, a greater impact of rising temperatures and increased heat waves can be expected in energy-obsolete, poorly insulated dwellings located in hot areas. An archetypal example of this is the housing stock built in Europe in the middle of the last century, which, in general, and especially in southern Europe, was built without applying energy efficiency criteria. Specifically, according to the European Commission, more than 40% of the European building stock is over 50 years old [Eurostat, 2019].

This housing stock will be particularly impacted by rising temperatures so that its users will have to face high rates of energy consumption to achieve indoor thermal comfort, which has a double effect: high rates of greenhouse gas emissions due to the increase in energy consumption and an increase in the vulnerable population in terms of energy poverty due to the fact that the increase in energy expenditure may be difficult to meet for a large sector of the population, especially the residents of the social housing stock built during this period, which translates into an increase in unhealthy living conditions and energy vulnerability.

In this context, a wide set of international guidelines has been developed to promote sustainable urban renewal strategies that support the transition to a low-carbon energy system [European Commission, 2016]. Thus, European directives [European Commission, 2016] have been enacted with the intention of favoring and promoting actions for the rehabilitation of the building stock at a general level, and especially at the level of the most obsolete referenced stock. This last directive highlights the need to advance in the double direction indicated above when considering retrofitting the building stock: to ensure the reduction of operational energy consumption and to improve the indoor comfort conditions of users.

In short, it can be stated that the already evident climate change makes it necessary to make a great effort in the energy rehabilitation of the housing stock in order to reduce energy consumption, provide acceptable indoor comfort conditions and meet global climate objectives.

In light of the above, we can consider that any retrofitting measure aimed at meeting the above objectives must be energetically feasible in the

sense that its implementation produces operational energy savings in achieving the objective of providing indoor comfort to the inhabitants of the dwelling. Therefore, we will say that a retrofitting measure is energetically feasible if, throughout its useful life cycle, it provides energy savings in energy consumption conducive to providing indoor comfort.

On the other hand, homeowners who wish to implement energy retrofitting measures have the legitimate and main concern of knowing whether the measure to be implemented produces some kind of savings in the costs necessary to achieve indoor comfort. It is therefore necessary to evaluate these costs and contrast them with the costs incurred to achieve such comfort if the conditions of the building are maintained, without any renovation intervention.

When the costs of a retrofitting intervention are evaluated, including operational costs to achieve indoor comfort, maintenance and installation costs over the life cycle of the materials used, and compared with the operational costs of maintaining the building in its original condition, if the overall cost of retrofitting is lower than the cost of maintaining the building without retrofitting, the retrofitting measure can be said to be cost-effective and economically feasible.

An important aspect of the analysis to determine the feasibility of a retrofitting measure, both from the energy and economic point of view, is the time-varying nature of energy consumption and associated costs, since the rise in temperatures that is predicted until the end of the century means that energy consumption varies each year, depending on the increase in temperatures, which makes it necessary to make a dynamic calculation taking this variability into account.

This paper presents and describes a methodology to analyse the energy and economic feasibility of building retrofit measures in the light of climate change. This feasibility analysis is based on a life cycle cost analysis of the energy and economic performance of the considered retrofit measure by introducing the effects of climate change on the operating costs to maintain the comfort of the building, as well as the possible variability of the thermophysical properties of the proposed measure that may influence its energy performance and, therefore, its economic evaluation.

The proposed methodology is illustrated by applying it to a case study taken from the social housing stock of Seville built in the middle of the 20th century in that city. The morphological and constructive characteristics of the housing chosen as a case study can be considered as archetypical of the social housing stock built in the South of Spain at that time.

2. OBJECTIVES

The main objective of this work is to present a methodological proposal for the analysis of the long-term effects, both energetic and economic, of energy rehabilitation solutions in housing in the light of climate change.

The purpose of this objective is to provide a framework for action to consider the dynamic effects produced by the temperature variation due to climate change on the operational energy consumption to achieve indoor comfort conditions and the associated economic costs, and finally to conclude the economic and energy feasibility of the retrofitting measures considered.

3. METHODOLOGY

A sketch of the proposed methodology presented in this paper is described below. This proposal divides the workflow to be carried out for each case study into five phases, which are listed below and developed as sub-sections in the rest of this section.

- PHASE I: Data preparation and determination of the case study. In this phase we proceed fundamentally to:

Characterization of the house or building to be analyzed: construction data, interior distribution, orientation, geographical location, use, occupancy, etc...

Preparation of climatic data: obtaining hourly climatic data for the location to be studied. These data will be obtained both for the current time and for the years to which the energy and economic analysis will be extended using climate change projections in the scenarios considered.

- PHASE II: Estimation of the initial building energy consumption.

Calculation of the energy consumption to obtain indoor comfort in the house under study in its initial situation. This calculation is made every year from the present to the year of the end of the analysis, 2080 in general, taking into account the annual variability in energy consumption induced by the change in temperature values predicted by the climate change projections used.

- PHASE III: This phase consists of two different stages.

Analysis of the constructive characteristics of the case study to locate the most vulnerable points likely to provide the greatest heat flow between the interior and exterior of the building.

Elaboration of proposals for the rehabilitation of the most vulnerable points located in the previous stage.

- PHASE IV: Estimation of the energy consumption of the building after the application of the retrofitting measures considered.

Calculation of energy consumption to obtain indoor comfort in the dwelling under study after the application of the retrofitting measures decided in Phase III. This calculation is made every year from the present to the year of completion of the analysis, 2080 in general, and as in Phase II, taking into account the annual variability of energy consumption induced by the change in temperature values predicted by the climate change projections used.

- PHASE V: Life cycle cost analysis. This analysis has different stages that are related:

Determination of the economic variables involved in the analysis: energy inflation rate, discount rate, costs of materials, energy costs, installation costs, etc....

Computation of future costs associated with operational energy consumption and maintenance of retrofitting measures,

as well as their possible renewal if provided for in the time frame considered.

Calculation of future costs associated with operating energy consumption and maintenance of the building in its initial state without executing any energy rehabilitation.

Discounting of future costs calculated at present value.

- PHASE VI: Drawing conclusions.

Energy Feasibility: it is determined whether the proposed retrofit measure produces energy savings over the full period of time considered and is therefore energy feasible.

Economic Feasibility: it is determined whether the proposed retrofit measure produces economic savings in total costs for the full period of time considered and is therefore cost-efficient and energy feasible.

Further details of the items listed above are provided in the following sections.

3.1. PHASE I: DATA PREPARATION AND DETERMINATION OF THE CASE STUDY

At this stage, it is necessary to distinguish between the data specific to the dwelling or building under study on the one hand, and the climate data on the other.

With regard to the data specific to the dwelling, as mentioned above, this data must cover all the necessary and typical data for carrying out an energy consumption estimation process, i.e., construction data including construction sections, dimensions and thermophysical variables, interior layout, orientation, and protocols for the use and occupancy of the dwelling, occupancy, etc.

In regard to climate data, it is necessary to have data referring to the present moment, available in any database such as the Energy Plus epw climate files, as well as files for the years from the present moment until 2080. These files must be obtained from climate projections from any

of the agencies, institutions, or commercial programs that enable the calculation of such projections.

In this chapter, we have considered the use of CCWorldWeatherGen software, developed by the University of Southampton, which is freely available and provides climate files for direct input into the most common building energy simulation (BES) programs. This software allows climate projections to be obtained for the years 2050 and 2080, considering the A2 scenario defined in (IPCC-AR4,).

This tool uses model data from the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), specifically the HadCM3 A2 scenario set. This generator converts current Energy Plus Weather Files (EPW) into climate-adjusted versions (EPW or TMY2) for the desired projection date, compatible with a wide range of simulation software used in building energy performance analysis. Once the projections for 2050 and 2080 have been calculated the other years are obtained by interpolating the data.

3.2. PHASE II: ASSESSMENT OF THE INITIAL BUILDING ENERGY CONSUMPTION

This phase focuses on calculating the energy consumption required to achieve indoor comfort within the reference building in its initial state, i.e., without any renovation measures having been implemented yet. This consumption depends on factors such as thermal loads, the performance of the equipment that may be used for air conditioning, and the use and indoor thermal loads of the dwelling or building under study.

In order to standardize the study and obtain data that is not conditioned by the use of the building or the quality of the air conditioning equipment, but rather focuses on the thermal behavior of the building envelope, the analysis can first focus on calculating the thermal loads influenced by the outdoor environment that must be compensated for in order to achieve indoor comfort. Due to the annual variation in temperatures from the present to 2080 caused by climate change, these loads will be calculated for each year of the period under analysis and will be used to determine the energy viability of the proposed renovation measure and subsequently to determine its economic viability.

Energy simulation programs for buildings, known as Building Energy Simulation (BES), such as the EnergyPlus program developed by the US Department of Energy (EnergyPlus, 2022), can be used to calculate loads.

3.3. PHASE III: ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION CHARACTERISTICS OF THE CASE STUDY AND PROPOSAL OF RETROFITTING MEASURES

As indicated in the title of the phase, once the calculations indicated in Phase II have been performed, an analysis of the construction characteristics of the case study is carried out to determine the most vulnerable points of the building, which are those that can cause or produce a greater exchange of thermal energy between the interior and exterior. This analysis can be supported by sensitivity analysis of thermal loads with respect to the different elements of the envelope.

Once the most vulnerable elements have been identified or located, an analysis is carried out and energy rehabilitation measures are proposed for these elements. These proposals must comply with sustainability and efficiency criteria, as well as with good construction practices.

3.4. PHASE IV: COMPUTATION OF THE BUILDING ENERGY CONSUMPTION AFTER THE IMPLEMENTATION OF THE RETROFITTING CONSIDERED.

In this phase, energy consumption is calculated to obtain indoor comfort after applying the renovation solutions decided upon in the previous phase. Again, this calculation is performed for each and every year from the present to the end of the analysis, generally 2080. This calculation is necessary because all climate change projections, and specifically the A2 scenario followed in this case, foresee a continuous and sustained increase in temperatures, which directly impacts annual thermal loads, making it necessary to calculate them in order to establish reliable conclusions for the period of time considered. The software used may be the same as that used in Phase II, in our case EnergyPlus.

3.5. PHASE V: LIFE CYCLE COST ANALYSIS.

In this phase of the methodology, the life cycle cost analysis is carried out. To do this, the values of the economic variables involved in the

analysis are first defined, such as energy inflation rate, discount rate, material costs, energy costs, installation costs, etc. These values must be determined based on the geographical and administrative framework of the study. Thus, for a case study in Spain, the energy inflation rate, the discount rate, or the energy costs must refer to the values for Spain, which can be determined from the various organizations and statistical agencies of the Spanish state itself or the European Union. The same applies to other specific variables such as the costs of implementing the rehabilitation measure, maintenance, etc.

Next, the future costs associated with operational energy consumption and maintenance of the renovation measures are calculated, as well as their possible renewal, if applicable, within the time frame considered. For this calculation, based on previously calculated energy loads and usage protocols, the performance of the air conditioning equipment, its type, and its cost are variables that must be determined based on the market and the potential purchasing power of the users of the dwellings.

The same method is used to calculate the future costs associated with operational energy consumption and maintenance of the building in its initial state without carrying out any energy renovation, only the necessary maintenance tasks.

The next stage in this phase is to discount the calculated future costs to their present value. To do this, we use the P1-P2 methodology introduced in [Duffie and Beckman, 2006]. More details on this methodology and its use in building retrofitting can be found in [Domínguez-Delgado et al, 2021]. In this sense, the use of the P1-P2 method, the methodology presented here, is dynamic in nature and adapts to each moment in time based on changes caused by variations in thermal loads due to the increase in temperatures generated by climate change in the projection analyzed.

3.6. PHASE VI: ESTABLISHING CONCLUSIONS.

Finally, the results are analyzed, and conclusions are drawn to determine energy feasibility and economic viability.

- Energy Feasibility: by comparing the results of the Phase II, the calculation of the initial building energy consumption for the whole period from nowadays to 2080 with the results from the Phase IV, calculation of the building energy consumption after the implementation of the retrofitting considered, it is concluded, if the energy consumption value from Phase IV is lower than the energy consumption value from Phase II, the retrofit measured considered provides real energy savings and the implemented retrofitting measure is energy feasible. Additional savings in GHG emissions and kWh are calculated.
- Economic Feasibility: From the analysis performed in the Phase V, the present worth of all the costs associated with the retrofit measured from nowadays to 2080 is compared with the present worth of all the costs associated with the with the present worth of the case retrofitted: If the present worth of the refurbished case is lower than the present worth of the costs associated with the buildings undergoing refurbishment, the measure implemented is considered cost-effective and generates real economic savings for the time interval considered.

4. RESULTS AND DISCUSSION

To illustrate the proposed methodology, its application is described in a case study representing social housing in the city of Seville, built in the 1960s, which is archetypal of the social housing stock built in southern Spain in the 1960s and 1970s. These buildings are characterized by the absence of energy insulation measures in the building envelope.

Figure 1-(a) shows an aerial view of the development. Figure 1-(b) shows the building case study with the analyzed dwelling marked in red.

The constructive configuration and thermophysical characteristics of the material layers are shown in Table 1 for the walls and in Table 2 for the roof.

FIGURE 1. (a) Aerial view of El Plantinar development. (b) Building case study.

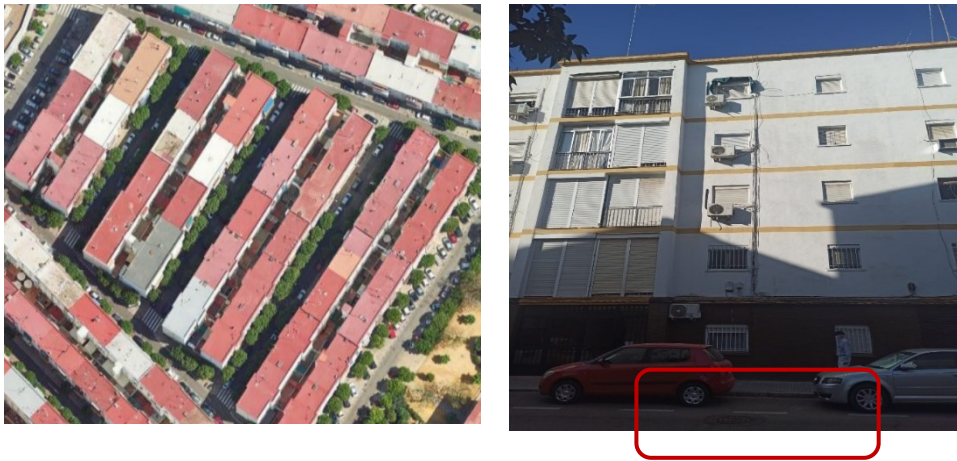


TABLE 1. Walls construction detail

Layer	Description	Thickness (m)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kg K)	Conductivity (W/m K)
1(Ex)	Cement rendering	0.015	1300	1000	0.67
2	Perforated brick	0.115	780	1000	0.35
3	Cement rendering	0.010	1300	1000	0.67
4	Air chamber	0.05	1.184	1007	0.0255
5	Hollow brick	0.04	770	1000	0.32
6 (In)	Plastering	0.015	1000	1000	0.57

The data in Tables 1 and 2 were taken from the Spanish Construction Code (CTE). The dwelling covers an area of 72 m², with all windows featuring 3 mm glass, aluminum frames, and PVC blinds.

The roof was initially covered by ceramic tiles coated with bituminous paint for waterproofing. The paint's typical optical values were considered: 0.8 for solar absorptivity and 0.9 for thermal emissivity. These values, together with the configuration shown in Tables 1 and 2, are considered the reference case.

TABLE 2. *Roof construction detail.*

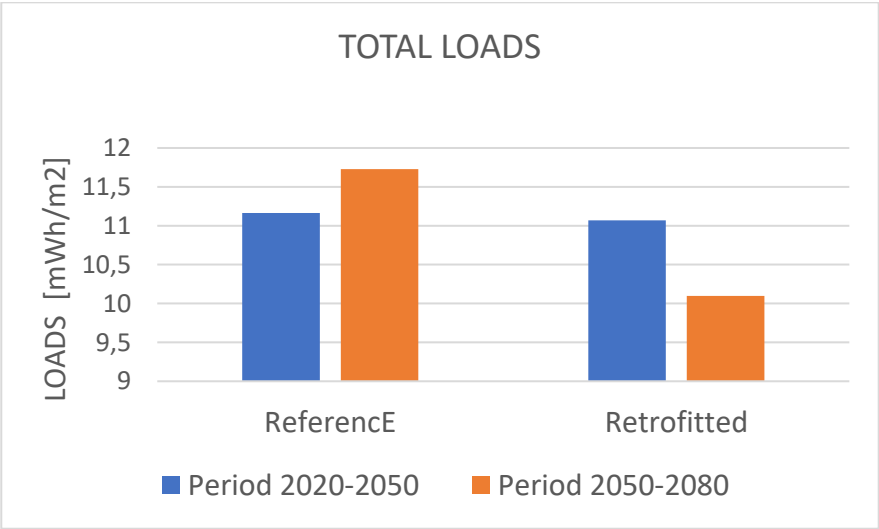
Layer	Description	Thickness (m)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kg K)	Conductivity (W/m K)
1(Ex)	Bituminous paint	0.0015	1150	1000	0.23
2	Ceramic Tiles	0.005	2000	800	1.00
3	Mortar	0.01	2000	1000	1.40
4	Protective Layer	0.015	1150	1000	0.23
5	Mortar	0.01	2000	1000	1.40
6	Carbon cinders	0.1	640	657	1.40
7	Concrete vault	0.22	1330	1000	1.32
8(In)	Plastering	0.01	1000	1000	0.32

Subsequently, a retrofit solution was considered using the ultra-emissive cold paint to the roof developed by Das et al. (2023), whose optical values are 0.037 for solar absorptivity and 0.985 for thermal emissivity. This paint was applied to the outer surfaces of the walls and the roof. This is considered the retrofit case in order to show the performance of the proposal methodology.

Climate change projections for the city of Seville for the years 2050 and 2080 are then developed, considering scenario A2 according to the fourth assessment report prepared by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), and the climate values are interpolated to obtain hourly data for each year between the present and 2080.

Next, we proceed to the phase of calculating thermal loads for the reference case and the retrofitted case for each year from the present to 2080 using EnergyPlus software. To analyze the results in a compact way, Figure 2 shows the total loads in mWh/m² for the time interval from 2020 to 2050 and the interval from 2050 to 2080.

FIGURE 2. Total thermal loads [mWh/ m²] for the time period of 2020-2050 and 2050-2080, for the reference and the retrofitted cases



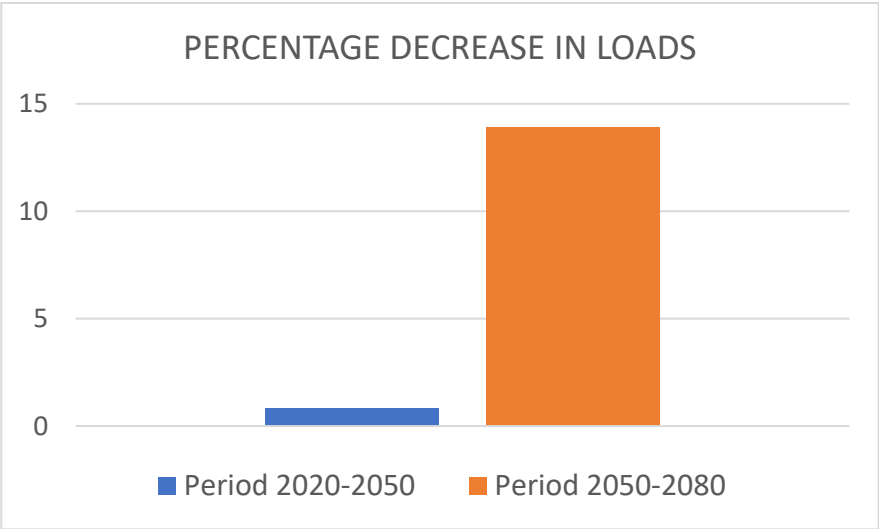
The first thing that can be observed is that, in the reference case, the loads increase as time progresses.

This increase in loads is mainly due to the increase in the energy needed to cool the home during the summer. In contrast, in the case of the renovated building, there is a reduction in loads in the second period compared to the first. This is because, in the period from 2020 to 2050, the application of the cool paint considered almost completely cancels out the absorption of solar energy, thereby introducing a significant penalty in the winter season, which results in a low overall annual balance of energy flow reduction to the interior.

In contrast, in the second period, there is a significant reduction in thermal loads. This is because, in the warm season, the ultra-emissive paint considered is capable of blocking the absorption of solar radiation, thereby reducing the thermal load for cooling, while in the cold season, due to the increase in temperatures, the penalty introduced by the cold paint is much lower, producing overall a significant reduction in the global load in the second period compared to the first.

On the other hand, it can be seen that in both periods, the retrofitted case reduces energy loads compared to the reference case, although as shown in Figure 3, this reduction is around 1% for the first period and approximately 14% for the second period.

FIGURE 3. *Percentual reduction of the thermal loads for the time periods of 2020-2050 and 2050-2080.*



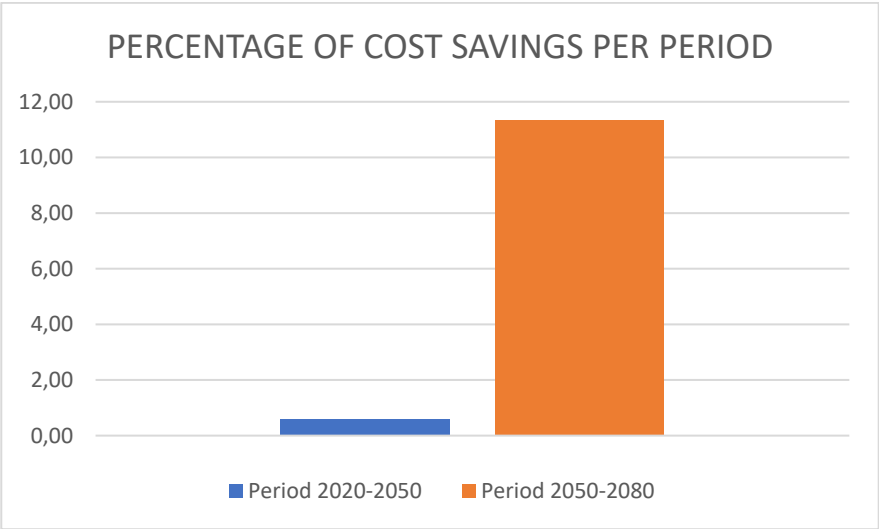
In view of the results shown, it can be stated that the rehabilitation measure applied produces real energy savings, with an average of around 7.5% for the period between 2020 and 2080, making it viable from an energy standpoint.

After the energy analysis, we move on to the life cycle cost analysis phase, following the guidelines described in Section V. In this regard, it should be noted, as indicated above, that the total cost is determined by a series of variables that must be quantified in local terms and in terms of the social sector that is assumed to be the user of this type of social housing.

Thus, the type of air conditioning unit is considered mid-range and has a standard market price. On the other hand, an economic scenario is considered with an inflation rate for energy prices of 3% per year and a monetary

discount rate equal to 1.5%, which are average values within Europe for this type of analysis [Domínguez-Delgado (2020), Nydahl et al. (2019)].

FIGURE 4. *Percentual reduction of the economic costs for the time periods of 2020-2050 and 2050-2080*



Once the future costs for each year between 2020 and 2080 have been calculated, they are converted to present worth using the P1-P2 method described above, adapted to the temporal variation in the value of these costs as a result of the increasing dynamics of ambient temperature values.

Once the present worth of the total costs for each period has been calculated, the percentage decrease in these costs is estimated, and the results are shown in Figure 4.

As can be seen in this figure, the first period does not yield significant savings, 0.60%, from the point of view of the costs of the renovated housing compared to the reference housing. As mentioned above, this is due to the penalty in heating consumption due to the low solar gain introduced by the use of ultra-emissive paint. On the contrary, in the second period, coinciding with a reduction in the penalty effect in the cold season and a notable decrease in heat flow in summer compared to the reference case, there is a saving of around 11.35%, which means

that the percentage saving in economic costs for the entire period 2020-2080 is around 6%.

4.5. DRAWING CONCLUSIONS

As the final phase of the methodological study, conclusions are drawn from the analysis carried out. Basically, the two fundamental conclusions are that, in light of climate change in the period 2020-2080 and for an A2 scenario that contemplates high emissions due to population growth and the use of less clean technologies, the proposed retrofitting can produce energy savings of around 7.5% for that period and total cost savings of around 6%.

The advantages of using the proposed construction solution and the suitability of its application in the context of social housing analyzed in the Mediterranean geographical framework are therefore evident.

5. CONCLUSIONS

This chapter introduces a methodology for the dynamic analysis of the long-term effects, both energy and economic, of energy rehabilitation solutions in housing in light of climate change.

This methodology is based on a dynamic version of the P1-P2 method for life cycle cost analysis, adapted to variations in climatic and operational variables.

The proposed methodology has been illustrated with a case study consisting of a dwelling in the social housing stock built in the middle of the last century in southern Spain.

As a final conclusion, it can be said that the proposed methodology is well suited to determining the energy and economic viability of renovation measures for buildings in the context of climate change and that it is useful for optimizing building renovation measures, considering the impact of climate change in the coming decades of this century.

REFERENCES

- AEMET (2010). Agencia Estatal de Meteorología de España. Guía Resumida del Clima en España (1981–2010).
http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/guia_resumida_2010
- ASHRAE (2021). ASHRAE handbook – Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Belcher SE, Hacker JN, Powell DS (2005). Constructing design weather data for future climates. *SAGE Publications Ltd STM*.
<https://doi.org/10.1191/0143624405bt112oa>
- CTE (2022). Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. Gobierno de España.
<https://www.codigotecnico.org>
- Das P, Rudra S, Maurya K, et al (2023). Ultra-emissive mgo-pvdf, polymer nanocomposite paint for passive daytime radiative cooling. *Advanced Material Technologies* 8:1 –8. <https://doi.org/10.1002/admt.202301174>
- Domínguez-Delgado, A.; Domínguez-Torres, H; Domínguez-Torres, CA. (2020), Energy and economic life cycle assessment of cool roofs applied to the refurbishment of social housing in southern Spain, *Sustainability*.
doi.org/10.3390/sul2145602
- Domínguez-Torres, C. A., Suárez, R., León-Rodríguez, A. L., Domínguez-Delgado, A. (2022). Experimental validation of a dynamic numeric model to simulate the thermal behavior of a facade. *Applied Thermal Engineering*, 204, 117686
- Duffie, J.A.; Beckman, W. (2006). Solar Engineering of Thermal Processes; John Wiley and Sons Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2006.
- EnergyPlus, (2024). Energy Plus 24.1.0, U.S. Department of Energy.
<https://www.energyplus.net>
- European Commission (2016). An EU Strategy on Heating and Cooling (COM(2016) 51 Final); Brussels, Belgium, February 2016. Available online: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2016\)51&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2016)51&lang=en)
- Eurostats, Newsrelease-Euroindicators February 2019. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9967985/3-10072019-BP-EN.pdf/e152399b-cb9e-4a42-a155-c5de6dfe25d1>.
- Nydahl, H.; Andersson, S.; Astrand, A.P.; Olofsson, T. (2019). Including future climate induced cost when assessing building refurbishment performance. *Energy Build.*, 203, 109428
- Hagishima A., Tanimoto J. (2003). Field measurements for estimating the convective heat transfer coefficient at building surfaces. *Building and Environment*, 38, 7, 873-881.

- Hecht (2012). Hecht, F. New development in FreeFem++. *Journal of numerical mathematics*, 20, 251-266.
- IPCC-AR4, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007. Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wgl-sum_vol_en.pdf
- IPCC-AR5, 2014. IPCC Fifth Assessment Report (AR5). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC-AR6, 2023, IPCC Sixth Assessment Report (AR6). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35–115. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- IPCC DDC. IPCC Data Distribution Centre, HadCM3 climate scenario data download page. www.ipcc-data.org/sres/hadcm3_download.html
- Jentsch M.F., Bahaj A.S. and James P.A.B. (2008). Climate change future proofing of buildings. Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, Volume 40, Issue 12, pp 2148-2168
- Junta Andalucía (2015). Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. El Clima de Andalucía en el Siglo XXI. Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía. Available online: <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/428152/clima.pdf>
- NBE-CT-79 (1979). Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Gobierno de España. BOE-A-1979-24866. <https://www.boe.es/eli/es/rd/1979/07/06/2429>
- Saafi, K. and Daouas, N. (2018). A life-cycle cost analysis for an optimum combination of cool coating and thermal insulation of residential building roofs in Tunisia. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.010>
- Sharples S. (1984). Full scale measurements of convective energy losses from exterior building surfaces. *Building and Environment*. 19 (1984). 31-39.
- Spanish Building Technical Code (CTE). Basic Document on Energy Savings; Spanish Government: Madrid, Spain, 2022. Available online: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> (accessed on 13 September 2023).

EL EFECTO HALO DE LAS ENERGÍA RENOVABLES: LA PERCEPCIÓN SESGADA DE SU COSTE REAL

ÁLVARO VALCÁRCEL
Universidade da Coruña

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la producción de energía sostenible es una de las mayores preocupaciones de la sociedad occidental, existiendo en una buena parte de la ciudadanía un interés genuino en su desarrollo e implementación (European Commission, 2025). Esta concienciación viene alimentada por una gran presencia de las energías renovables en los medios de comunicación (Rochyadi-Reetz et al., 2019; Castelló, 2025), así como por muchos gobiernos e instituciones públicas y privadas, que se esmeran en dar una imagen de sostenibilidad a través del uso de este tipo de energías; de hecho, muchos partidos políticos llevan incluida la transición hacia las mismas en sus programas de gobierno (Duffield, 2020). A nivel internacional, este avance hacia las energías renovables es uno de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 Organización de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015), y aparece recogido en diversos documentos como el pacto verde europeo (Comisión Europea, 2019). Asimismo, hay un importante consenso social en torno a que esta transición va con retraso (IRENA, 2023).

Existe evidencia científica de que las energías renovables son menos dañinas para el planeta que los combustibles fósiles (Xu et al., 2023). Estos últimos, si bien es cierto que han sido fundamentales para el desarrollo de grandes avances sociales como la industrialización de la sociedad y el estado del bienestar (Armaroli & Balzani, 2011), desde hace ya varios años han empezado a quedar obsoletos debido a su impacto negativo en el medioambiente, encontrándose actualmente en el punto de mira de los

movimientos ecologistas por ser considerados los principales causantes del calentamiento global (Fernandes-Jesus et al., 2020).

Pero a pesar de esta evidencia científica, para desarrollar las energías renovables se necesitan una serie de materiales cuya extracción resulta también altamente contaminante, además de que en el proceso muchas veces se vulneran los derechos humanos más esenciales (Farjana et al., 2019; Mallory & Sohngen, 2023); se podrían conseguir estos materiales de forma menos dañina, pero evidentemente supondría un mayor coste (Ierides et al, 2025). Esto hace que las denominadas energías verdes no se puedan considerar verdes del todo, puesto que al final también resultan ser una fuente de contaminación.

No obstante, estos aspectos negativos existentes en torno a este tipo de energías rara vez aparecen publicados en los medios de comunicación, por lo que es posible que una buena parte de la población no esté al tanto de los mismos y piense que todo lo que tiene que ver con ellas supone un avance hacia un planeta más sostenible; esto es lo que en psicología se conoce como “efecto halo” (Thorndicke, 1920), que consiste en percibir una parte de la realidad de forma sesgada debido a que es evaluada en su totalidad a partir únicamente de una de sus características, que puede ser positiva o negativa, al tiempo que se ignoran y/o se desconocen otras que pueden ser completamente opuestas.

2. EL EFECTO HALO

El efecto halo es un constructo psicológico acuñado por el psicólogo Edward Lee Thorndicke, (1920). Se trata de un sesgo cognitivo según el cual evaluamos las características de una persona o de un objeto a partir de la primera impresión (buena o mala) que nos ha transmitido una única característica concreta del mismo, sin tener información acerca del resto; en el caso que nos ocupa, este efecto se produciría en el momento en el que nos llega información sobre un aspecto positivo de las energías renovables, como por ejemplo que son más respetuosas con el medioambiente que los combustibles fósiles, y a partir de ahí ya damos por hecho que el resto de sus características son igual de positivas, pese a no disponer de información sobre ellas.

De esta forma, muchas veces de manera inconsciente, nos generamos opiniones acerca de determinados temas sin tener realmente la información necesaria para hacerlo, dejándonos llevar únicamente por determinados elementos que resaltan sobre el resto y que solapan todo lo demás. Es importante tener en cuenta que las personas tendemos a buscar información que valide nuestras ideas, por lo que una vez que el efecto halo se ha producido, es probable que consideremos veraz la información que concuerde con el juicio que nos hemos formado, y que por el contrario no nos resulte fiable aquella otra que pueda ponerlo en duda; esto es lo que en psicología se conoce como sesgo de confirmación (Wason & Johnson-Laird, 1972).

Entre las posibles causas del efecto halo se encuentran los heurísticos, que son atajos mentales que utiliza nuestro cerebro para resolver situaciones que necesitan una respuesta urgente de manera rápida y eficaz (Tversky & Kahneman, 1974). Este tipo de atajos mentales pueden resultar efectivos en muchas ocasiones, ya que permiten resolver muchas tareas de forma automática sin necesidad de detenerse a pensar y planificar aquello que se hace, lo cual significa un importante ahorro de esfuerzo y energía a nivel mental (Shah & Oppenheimer, 2008).

Sin embargo, otras veces esta falta de análisis puede conducir a sesgos cognitivos (Nadurak, 2024). En el caso de las energías renovables, la urgencia por eliminar los combustibles fósiles puede hacer que las personas se aferren a cualquier alternativa que resulte aparentemente viable, y que por el mero hecho de que contaminan menos consideren que este tipo de energías sólo tienen ventajas, sin pararse a analizar todas sus características en profundidad.

Otro motivo importante que puede favorecer la aparición del efecto halo son los denominados marcos mentales (Bateson, 1955; Goffman, 1974). Los seres humanos no podemos procesar toda la información que nos llega a través de nuestro entorno, eso sería completamente inabarcable; lo que hacemos es filtrar la información y seleccionar únicamente aquella que más nos interesa. Para poder hacer esto dividimos la información en parcelas o marcos, y solamente atendemos a aquello que queda dentro de estos marcos, mientras que lo que queda fuera lo ignoramos (Lakoff, 2006; 2010). Para la formación de los marcos mentales es clave la repetición y la frecuencia con la que recibimos una información determinada,

y una vez que están establecidos son muy difíciles de modificar (Lakoff, 2006; 2010). Debido a esto, en el caso que aquí se estudia, si constantemente nos llega información de que las energías renovables son la solución al problema del calentamiento global y a la emisión de gases de efecto invernadero es lógico que sean valoradas positivamente en su totalidad, sin prestar atención a los inconvenientes que puedan tener.

Del mismo modo, esta repetición con la que se emite una información puede ser fundamental para corregir el efecto halo, ya que si se informa repetidamente acerca de todas las características de aquello que se está evaluando, información que probablemente habrá pasado inadvertida tras quedar solapada por la impresión inicial, será posible realizar un juicio de forma más objetiva y menos sesgada. Este fenómeno de proporcionar información relevante con el fin de influir en las opiniones y en las decisiones de las personas recibe el nombre de imprimación o “efecto priming” (Gómez-Román et al., 2021).

3. LAS ENERGÍAS RENOVABLES: VENTAJAS, INCONVENIENTES Y POSIBLES ALTERNATIVAS

Las energías renovables son actualmente una industria en expansión, puesto que permiten reducir la contaminación en gran medida (IRENA, 2025). En un mundo cuya población va en aumento y cuyos hábitos de consumo se han multiplicado en las últimas décadas, especialmente en los países occidentales, este tipo de energías permite una producción más ecológica y menos contaminante, reduciendo así la emisión de gases de efecto invernadero, que son los principales causantes del calentamiento global (Sayed et al., 2021). Las ventajas de las energías renovables pueden apreciarse en varios sectores como la industria, el transporte o la vivienda, y como la mayoría son obtenidas de fuentes inagotables su precio tiende a ser menor que el de aquellas procedentes de combustibles fósiles (IRENA, 2025).

No obstante, no todo lo referente a este tipo de energías son ventajas, sino que también existen importantes inconvenientes. Para producir energías renovables son necesarios generadores y almacenadores, los cuales se fabrican a partir de una serie de materiales que en la actualidad se obtienen mediante minería extractiva, muchas veces en países del

tercer mundo (Berthet et al., 2024; Mallory & Sohngen, 2023). La extracción de todos estos minerales, además de dañar severamente el terreno, supone la emisión a la atmósfera de una importante cantidad de gases de efecto invernadero, que son los principales causantes del calentamiento global, ya que se da la paradoja de que en este proceso se utilizan combustibles fósiles (Islami et al., 2025); no obstante, esta cantidad es menor que la que se emite cuando se produce energía directamente con este tipo de combustibles (Sayed et al., 2021). Además, dado que desde la extracción inicial hasta la fabricación de generadores de energía existe toda una cadena de suministro, el impacto ambiental y social de la minería extractiva no tiene lugar mayoritariamente en los países en los cuales esa energía es empleada, sino frecuentemente en los países subdesarrollados (Berthet et al., 2024).

La minería extractiva necesaria para obtener las materias primas a partir de las cuales es posible generar energías renovables no solo es perjudicial para el medioambiente, sino que en muchos casos supone también la explotación de los trabajadores de las minas, especialmente en países del tercer mundo como la República Democrática del Congo, quienes tienen que trabajar en condiciones muy peligrosas y con medidas de seguridad deficientes (Berthet et al., 2024; Mallory & Sohngen, 2023). Actualmente existen proyectos en fase incipiente para tratar de reducir el uso de aquellos materiales más conflictivos y sustituirlos por otros que lo sean menos, así como por materiales reciclados (Ierides et al., 2025), pero todavía falta por concretar cómo se llevará a cabo esta transición, y lo más importante, el coste que supondrá.

En los siguientes apartados se analizan cuatro tipos de almacenadores y generadores de energías renovables: baterías de litio, electrolizadores, turbinas eólicas y paneles solares. Asimismo, se incluyen aquellas alternativas a los mismos que presentan un mayor grado de sostenibilidad. A continuación, en la Tabla 1, se muestran todos los minerales necesarios para la fabricación de cada uno de los dispositivos analizados.

3.1 BATERÍAS DE LITIO

Estas baterías son esenciales para el almacenaje de energía renovable procedente de distintas fuentes como el sol, el agua o el viento, lo cual hace posible reducir la dependencia de los combustibles fósiles (Ngoy

et al., 2025). Se componen de un polo negativo o ánodo, donde se liberan electrones, un polo positivo o cátodo, donde se reciben estos electrones, y un electrolito, que permite el transporte de iones entre ambos polos para la liberación de energía eléctrica; el ánodo está compuesto de grafito, el cátodo de varios minerales, como níquel, cobalto y manganeso, y el electrolito de sales de litio (Llamas-Orozco et al., 2023). La extracción de todos estos minerales resulta muy perjudicial para el medioambiente (Berthet et al., 2024).

Como posibles alternativas ya existen actualmente baterías de flujo o de sodio, cuya fabricación permite eliminar o reducir numerosos minerales como el cobalto o el manganeso; no obstante, su rendimiento es menor (Ierides et al, 2025; Phogat et al, 2025). Entre las que están en fase temprana de comercialización, la que mejores resultados parece ofrecer es la de cátodo de litio, manganeso y hierro, aunque los únicos materiales que elimina son el cobalto y el níquel (Ierides et al, 2025).

3.2 ELECTROLIZADORES

Los electrolizadores son aparatos que sirven para descomponer el agua en los dos componentes que la conforman, hidrógeno y oxígeno, mediante un proceso llamado electrolisis; esto hace que sean muy útiles a la hora de producir hidrógeno verde, el cual se usa para sustituir los combustibles fósiles en sectores en los que no es posible o es complicado utilizar la energía eléctrica (Adebayo et al., 2025). Entre los minerales más conflictivos que componen estos dispositivos se encuentran los siguientes: oro, platino, magnesio, manganeso, aluminio y cobre (Berhet et al. 2024; Ierides et al, 2025).

Como posibles alternativas se pueden encontrar electrolizadores alcalinos o de óxido sólido (Adebayo et al., 2025); la fabricación de estos nuevos aparatos requiere menos minerales del grupo del platino, pero a su vez supone aumentar considerablemente otro tipo de minerales problemáticos como el cobalto, el cobre o el níquel (Ierides et al, 2025). Existen otros dispositivos en fase de desarrollo, pero ninguno de ellos permite una reducción significativa de materiales críticos (Ierides et al, 2025).

3.3 TURBINAS EÓLICAS

También conocidas como aerogeneradores, convierten la energía cinética del aire en energía eléctrica. Estas turbinas están formadas, entre otros componentes, por una torre de sustento, palas aerodinámicas que recogen la energía cinética cuando sopla el viento y un generador que se encarga de transformarla en electricidad (Das Karmakar & Chattopadhyay, 2025). Entre los minerales usados en la fabricación de turbinas eólicas cuya extracción supone una mayor contaminación se encuentran el aluminio, el boro, el manganeso, el molibdeno y las tierras raras (Morozovska et al., 2024; Ierides et al, 2025).

El objetivo principal de los dispositivos alternativos es sustituir las tierras raras (disproso, neodimio y praseodimio) y el boro, y actualmente entre los que mejor lo consiguen se encuentran los generadores de inducción de doble alimentación, ya disponibles, y los generadores de sustitución de imán permanente por contactos eléctricos rotatorios, todavía en fase inicial de comercialización y con un mayor coste (Ierides et al, 2025).

3.4 PANELES SOLARES

Los paneles solares transforman la luz del sol en electricidad mediante sus células fotovoltaicas, que captan la luz y liberan electrones creando una corriente eléctrica. Entre los componentes de estos paneles encontramos minerales como silicio, hierro, cobre o plata, cuya extracción supone importantes daños medioambientales; esto hace que estos generadores dejen una importante huella ecológica (Saad, 2024).

Existen varias alternativas a estos dispositivos, siendo en este caso el objetivo principal reducir o eliminar el boro y el silicio, y para conseguirlo se encuentran actualmente disponibles los módulos de contacto pasivados con óxido de túnel, los módulos de heterojunción con capas finas intrínsecas, los generadores de reducción del grosor de las células y los generadores de células de calcogenuros (Ierides et al, 2025); estos últimos son los que presentan una mayor eliminación de boro y silicio, pero a su vez suponen un aumento de cobre y galio en su fabricación (Ierides et al, 2025) y su eficiencia es menor (Resalati et al, 2022; Maalouf et al., 2023).

TABLA 1. *Minerales empleados en la fabricación de almacenadores y generadores de energía*

GENERADOR/ALMACENADOR DE ENERGÍA	MINERALES EMPLEADOS EN SU FABRICACIÓN
Baterías	Cobre, grafito, silicio, titanio, fósforo, aluminio, niobio, cobalto, litio, manganeso, níquel.
Electrolizadores	Platino, oro, cobalto, cromo, potasio, circonio, plata, titanio, níquel, boro, caliza, magnesio, silicio, tantalio, tierras raras, grafito, cinc, vanadio, estroncio, barita, manganeso, molibdeno, aluminio, hierro, cobre.
Turbinas eólicas	Hierro, cromo, manganeso, molibdeno, cinc, niobio, silicio, aluminio, cobre, plomo, níquel, boro, disprosio, neodimio, praseodimio.
Paneles solares	Aluminio, hierro, plomo, níquel, cinc, boro, germanio, silicio, plata, cobre, selenio, indio, molibdeno, galio, estaño, telurio, cadmio.

Nota. *Esta información ha sido extraída íntegramente del siguiente informe: “Substitution and reduction of critical and strategic raw materials in clean energy technologies” (Ierides et al., 2025).

Como se puede apreciar, el proceso de fabricación de los cuatro dispositivos aquí mencionados supone importantes costes medioambientales, por lo que el impacto positivo de las energías renovables queda sensiblemente reducido; a todo esto hay que añadir el hecho de que estos generadores tienen una duración limitada, por lo que una vez que esta finaliza se convierten en residuos que no son sencillos de gestionar (European Commission: Joint Research Centre, 2025).

Las baterías de litio, al final de su vida útil, suponen un problema ambiental grave, debido a que cómo cada vez su volumen es mayor se acumulan en grandes vertederos afectando gravemente al medioambiente (Chen et al., 2025). No obstante, de llevarse a cabo un reciclaje adecuado, se estima que será posible reemplazar la práctica totalidad de sus componentes sin recurrir a la minería extractiva, por lo que de lograrse sería un gran avance en materia de protección ambiental (Yang et al., 2025).

Los electrolizadores tienen un reciclaje limitado debido a que su composición es compleja, aunque está demostrado que fomentarlo sería ecológicamente beneficioso (Uekert et al., 2024).

Las turbinas eólicas tienen una duración de entre veinte y veinticinco años, y se estima que para 2050 se habrán generado aproximadamente diez megatoneladas de residuos procedentes de estos dispositivos, cuyo principal problema son las palas aerodinámicas, muy difíciles de reciclar debido a su alto contenido en fibra de vidrio. No obstante, el resto de sus componentes son potencialmente reciclables en un 85%, aunque eso no significa que esta cantidad de reciclaje se lleve siempre a cabo (European Commission: Joint Research Centre, 2025).

Finalmente, los paneles solares sufren un deterioro progresivo de su eficacia a la hora de producir energía, y aunque pueden alargar su vida útil hasta treinta años su reciclaje es complicado debido a su alto contenido en fibra de vidrio (European Commission: Joint Research Centre, 2025). Esto hace que los residuos se acumulen y den lugar a grandes vertederos, lo cual supone un importante foco de contaminación (Al Zaabi & Ghosh, 2024).

De todas formas, estas descripciones simplemente reflejan el escenario ideal para cada uno de los generadores analizados, el cual a día de hoy está lejos de cumplirse (European Commission: Joint Research Centre, 2025).

4. EL COSTE DE LLEVAR A CABO UNA TRANSICIÓN REALMENTE VERDE

Incluso si se llegasen a implementar todas las posibles alternativas mencionadas en el apartado anterior, las cuales podrían contribuir a mejorar la sostenibilidad de las energías renovables, lo cierto es que todavía quedaría mucho camino por recorrer para que este tipo de energías pudiesen considerarse realmente verdes. Hay que tener en cuenta que independientemente de que se empleen unos materiales u otros en la fabricación de generadores, son muy pocos los que se extraen en suelo europeo, y es precisamente en Europa donde está implementada la legislación ambiental más estricta, por lo que es posible que aquellos minerales procedentes de otras partes del mundo no estén sujetos a controles de calidad ambiental tan exhaustivos.

La normativa ambiental europea incluye, entre otras, las siguientes directivas regulatorias que son de aplicación a la industria minera: la

Directiva 2006/21/EC sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2006); la Directiva 2011/92/EU, modificada por la 2014/52/EU, de evaluación de impacto ambiental (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2011, 2014); la Directiva 2000/60/EC, que establece un marco comunitario en política de aguas (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2000); la Directiva 2004/35/EC de responsabilidad ambiental (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2004); y la Directiva 2012/18/EU sobre el control de accidentes con sustancias peligrosas (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2012). Otra ley fundamental es el Acta de Materias Primas Críticas (Comisión Europea, 2023a), que regula, entre otras cosas, la sostenibilidad de dichos materiales.

No obstante, la Unión Europea delega en cada país donde se lleven a cabo las actividades mineras, sea miembro o no, la responsabilidad de aplicar estas leyes en su territorio (Tyulebayeva et al., 2023). Si bien es cierto que en otros países claves en el suministro de materias primas también existen leyes y directivas similares, como la ley de recursos minerales en China (Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, 2025), lo cierto es que en lo referente a su aplicación real existen diferencias significativas entre unos países y otros, como así lo reflejan numerosos indicadores internacionales. El índice de desempeño ambiental (EPI por sus siglas en inglés) sitúa a los países de la Unión Europea en las primeras posiciones, mientras que otros, como China, Guinea, la República Democrática del Congo o Sudáfrica, donde se concentra gran parte de la minería extractiva, aparecen en los puestos 156, 149, 128 y 106 respectivamente (Yale Center for Environmental Law & Policy, 2024). Por su parte, el instituto de gobernanza de los recursos naturales (NRGI) señala la débil gobernanza y la corrupción de estos países, lo cual también es indicativo de su falta de control medioambiental de las industrias extractivas (Natural Resource Governance Institute, 2021). Existe también la Iniciativa de Transparencia de las Industrias Extractivas (EITI), que regula el correcto funcionamiento de estas en materia económica, ambiental y laboral, pero está también sujeta a la voluntad de los países y de las empresas extractivas para que

informen de manera veraz y transparente de sus actividades, algo que no siempre ocurre; por ejemplo, China no participa en esta iniciativa (EITI, 2024) y en la República Democrática del Congo muchas minas están en manos de grupos armados (Comisión Europea, 2023b).

Todo esto indica que mientras que los países europeos disponen de los mecanismos necesarios para garantizar una actividad minera regulada por la legislación ambiental, en el resto del mundo no siempre ocurre lo mismo, por lo que la contaminación es mucho mayor (Qiu, 2024; Mallory & Sohngen, 2023), además de que en los países subdesarrollados las condiciones laborales de los mineros en algunos casos son de semiesclavitud, estando muy presente la mano de obra infantil (Berthet et al., 2024). De esta forma, mientras que los países occidentales desarrollados se benefician de la transición energética, el tercer mundo tiene que soportar la carga que dicha transición supone (Berthet et al., 2024).

A la vista de estos datos, se puede deducir que si realmente se aplicasen los estándares ambientales y sociales adecuados en los países tercermundistas productores de materias primas esenciales, el precio de dichas materias se dispararía enormemente, encareciendo de forma muy notoria el precio de la energía.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha explicado cómo las energías renovables son presentadas en sociedad como un gran avance hacia un planeta más verde y menos contaminado, lo cual va ligado de algún modo a la idea de un futuro mejor, por lo que hablar de energías renovables significa hablar de esperanza y de ilusión.

Esta visión esperanzadora de las energías renovables es un buen ejemplo de cómo las personas tienden a utilizar atajos mentales a la hora de formarse una impresión sobre algo, con el objetivo de resolver de forma rápida situaciones que requieren un esfuerzo mental. En este caso concreto queda de manifiesto la relevancia del efecto halo, sesgo según el cual a partir de una característica positiva de las energías renovables, cómo es el hecho de que contaminen menos que los combustibles

fósiles, automáticamente se da por sentado que no hay nada negativo en torno a este tipo de energías, algo totalmente erróneo.

Para producir energías renovables son necesarias una serie de materias primas cuya extracción, como se ha demostrado a lo largo del texto, resulta enormemente perjudicial para el medioambiente, ya que en el proceso se contamina el suelo, se malgastan grandes cantidades de agua potable y se emplean combustibles fósiles, a los cuales precisamente las energías renovables pretenden reemplazar; sin estas materias primas no sería posible fabricar generadores como paneles solares, electrolizadores o turbinas eólicas, ni tampoco baterías de almacenaje.

La mayoría de estas materias primas no se obtienen en países occidentales, que es donde más se usan, sino que una buena parte de ellas procede del tercer mundo, de ahí que mientras los ciudadanos de zonas desarrolladas se benefician de las ventajas de este tipo de energías, los del tercer mundo tienen que pagar los costes asociados a su producción. Si bien es cierto que hoy en día existen iniciativas para reducir o eliminar aquellos materiales más problemáticos, igualmente seguirá siendo necesaria la extracción de materias primas en países donde no se lleva a cabo una correcta aplicación de las normativas ambientales necesarias para garantizar una minería extractiva menos contaminante, por lo que el problema no se resolverá tan fácilmente.

Para que las energías renovables sean realmente energías verdes será necesario que en los países del tercer mundo se adopten medidas que garanticen una extracción de materias primas respetuosa con el medioambiente, además de infraestructuras adecuadas y, sobre todo, condiciones laborales dignas para los trabajadores de estos países, que incluyan salarios adecuados, medidas de seguridad eficientes y evidentemente la prohibición del uso de mano de obra infantil. De aplicarse todas estas medidas el precio de las materias primas se dispararía, aumentando también sustancialmente el coste de la energía.

Como se puede apreciar, las energías renovables tienen tanto ventajas como inconvenientes, pero al hablar de ellas sólo se enfatizan sus ventajas, lo cual puede conducir a que las personas se formen una idea de las mismas basada exclusivamente en sus características positivas, y

que debido a esto imaginen que el resto también lo son, es decir, que crean falsamente que su producción no es perjudicial para el medioambiente, que los países subdesarrollados no ven diezmados sus recursos y su territorio cuando de allí se extraen materias primas críticas para la fabricación de generadores y que su coste es bajo, cuando de ser producidas de forma realmente ecológica y socialmente responsable no lo sería. Todas estas creencias erróneas causadas por la presentación de estas energías como algo esperanzador e ilusionante dan muestra de lo presente que está en ellas el efecto halo de Edward Lee Thorndicke.

Para corregir este efecto halo que enmascara los inconvenientes de las energías renovables es necesario que se transmita información de forma repetida en los medios de comunicación, las redes sociales y cualquier otro canal de difusión sobre como del tercer mundo son extraídas sistemáticamente materias primas críticas para la fabricación de generadores. Debe generalizarse la idea de que el tercer mundo cumple un papel fundamental en el progreso del primero, al igual que ocurría durante la época colonial, y de que sufre las consecuencias de dicho progreso, ya que es allí precisamente donde se produce la mayor parte de las actividades contaminantes llevadas a cabo para la generación de energías renovables, además de otras injusticias sociales como las condiciones laborales peligrosas o la mano de obra infantil. Igualmente, es necesario informar de que el coste de la energía no es el que se ve reflejado actualmente, ya que en el momento en el que estas injusticias sean corregidas el precio de la energía se encarecerá notablemente.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adebayo, A. V., Pelumi, P. A., & Aina, O. A. (2025). Advancements in electrolyser efficiency for scalable hydrogen production from renewable sources. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 9(8), 1535 - 1544.
<https://rsisinternational.org/journals/ijriss/articles/advancements-in-electrolyser-efficiency-for-scalable-hydrogen-production-from-renewable-sources/>
- Al Zaabi, B., & Ghosh, A. (2024). Managing photovoltaic Waste: Sustainable solutions and global challenges. *Solar Energy*, 283, 112985.

- Armaroli, N., & Balzani, V. (2011). The legacy of fossil fuels. *Chemistry, an Asian journal*, 6(3), 768–784. <https://doi.org/10.1002/asia.201000797>
- Bateson, G. (1955). *A theory of play and fantasy*. Psychiatric Research Reports, 2, 39-51.
- Berthet, E., Lavalley, J., Anquetil-Deck, C., Ballesteros, F., Stadler, K., Soytaş, U., Hauschild, M., & Laurent, A. (2024). Assessing the social and environmental impacts of critical mineral supply chains for the energy transition in Europe. *Global Environmental Change*, 86, 102841. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102841>
- Chen, Y., Zhang, L., Zhang, Y., Zhou, Y., Zhang, Z., Lin, S., Wei, W., & Huang, X. (2025). Underground fires induced by disposed li-ion battery in peatland and landfill. *Process Safety and Environmental Protection*, 199, 107235. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107235>
- Das Karmakar, S., & Chattopadhyay, H. (2025). A comprehensive look into the sustainability of wind power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 217, 115694. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115694>
- Das, J., Kleiman, A., Rehman, A. U., Verma, R., & Young, M. H. (2024). The cobalt supply chain and environmental life cycle impacts of lithium-ion battery energy storage systems. *Sustainability*, 16(5) <https://doi.org/10.3390/sul6051910>
- Castelló, E. (2025). La mediatización de la ruralidad. *Nuevos Imaginarios Del Rural*, 111–129.
- Comisión Europea. (2019). El Pacto Verde Europeo. Comunicación de la Comisión COM (2019) 640 final. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>
- Comisión Europea. (2023a). *Critical Raw Materials Act*. EUR-Lex. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en
- Comisión Europea. (2023b). Report from the Commission to the European Parliament and the Council: Review of the functioning and effectiveness of Regulation (EU) 2017/821 (Conflict Minerals Regulation) pursuant to Article 17(2) of Regulation (EU) 2017/821. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/897655ef-7a54-11ef-bbbe-01aa75ed71al/language-en>
- Duffield, J. S. (2020). The politics of renewable power in Spain. *European Journal of Government and Economics*, 9(1), 5–25. <https://doi.org/10.17979/ejge.2020.9.1.5231>
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. Communication from the Commission COM(2019) 640 final. Publications Office of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>

- European Commission. (2025). Special Eurobarometer 565: Climate change. Directorate-General for Communication. <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/565>
- European Commission: Joint Research Centre, Foster, G., Kastanaki, E., Beauson, J., Neuwahl, F., & Marschinski, R. (2025). Circular economy strategies for the EU's renewable electricity supply (EUR 40182). Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/5598339>
- Extractive Industries Transparency Initiative. (2024). *Countries*. EITI. Recuperado de <https://eiti.org/countries>
- Farjana, S. H., Huda, N., & Mahmud, M. A. P. (2019). Life cycle assessment of cobalt extraction process. *Journal of Sustainable Mining*, 18(3), 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.03.002>
- Fernandes-Jesus, M., Lima, M. L., & Sabucedo, J.-M. (2020). “Save the Climate! Stop the Oil”: Actual Protest Behavior and Core Framing Tasks in the Portuguese Climate Movement. *Journal of Social and Political Psychology*, 8(1), 426–452. <https://doi.org/10.5964/jsp.p.v8i1.1116>
- Goffman, E. (1974). *Frame analysis: An essay on the organization of experience*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gómez-Román, C., Sabucedo, J.-M., Alzate, M. and Medina, B. (2021). Environmental Concern Priming and Social Acceptance of Sustainable Technologies: The Case of Decentralized Wastewater Treatment Systems. *Front. Psychol.* 12: 647406. doi: 10.3389/fpsyg.2021.647406
- Ierides, M., Nohl, L., Alves Dias, P., Nohl, M., Blagoeva, D., & Magnani, N. (2025). *Substitution and reduction of critical and strategic raw materials in clean energy technologies*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/1465999>
- IRENA (2023) World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5 °C Pathway, Volume 1, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Islami, M. S., Urmee, T., Lund, C., Bahri, P. A., & Anisuzzaman, M. (2025). Decarbonisation strategies for critical mineral supply chain: State-of-art in mining and refining industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 218, 115811. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115811>
- Lakoff, G. (2006). *No pienses en un elefante*. Barcelona: Península.
- Lakoff, G. (2010). Why it Matters How We Frame the Environment. *Environmental Communication*, 4(1), 70–81. <https://doi.org/10.1080/17524030903529749>

- Llamas-Orozco, J. A., Meng, F., Walker, G. S., Abdul-Manan, A. F. N., MacLean, H. L., Posen, I. D., & McKechnie, J. (2023). Estimating the environmental impacts of global lithium-ion battery supply chain: A temporal, geographical, and technological perspective. *PNAS Nexus*, 2(11), pgad361. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad361>
- Maalouf, A., Okoroafor, T., Jehl, Z., Babu, V., & Resalati, S. (2023). A comprehensive review on life cycle assessment of commercial and emerging thin-film solar cell systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186, 113652. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113652>
- Mallory, C. & Sohngen, B. (2023). The paradox of the green energy revolution: Does Chinese cobalt mining in the Democratic Republic of the Congo undercut benefits of green energy? (Doctoral dissertation, The Ohio State University).
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. (2025, July 1). Revised Mineral Resources Law enhances efforts to restore mining areas. http://en.npc.gov.cn.cdurl.cn/2025-07/02/c_1104865.htm
- Morozovska, K., Bragone, F., Svensson, A. X., Shukla, D. A., & Hellstenius, E. (2024). Trade-offs of wind power production: A study on the environmental implications of raw materials mining in the life cycle of wind turbines. *Journal of Cleaner Production*, 460, 142578. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142578>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Resolución A/RES/70/1). Naciones Unidas. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Nadurak, V. (2024). How to evaluate the rationality of heuristics? Thinking & Reasoning, 31(2), 137–157. <https://doi.org/10.1080/13546783.2024.2395063>
- Natural Resource Governance Institute. (2021). *2021 Resource Governance Index*. NRGi. Recuperado de <https://resourcegovernance.org/analysis-tools/publications/2021-resource-governance-index>
- Ngoy, K. R., Lukong, V. T., Yoro, K. O., Makambo, J. B., Chukwuati, N. C., Ibegbulam, C., Eterigho-Ikelegbe, O., Ukoba, K., & Jen, T. (2025). Lithium-ion batteries and the future of sustainable energy: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 223, 115971. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115971>
- Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea. (2000). *Directiva 2000/60/EC por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 327, 1–72. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>

- Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea. (2004). *Directiva 2004/35/EC sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 143, 56–75. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/35/oj>
- Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea. (2006). *Directiva 2006/21/EC relativa a la gestión de los residuos de industrias extractivas*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 102, 15–34. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/21/oj>
- Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea. (2011). *Directiva 2011/92/EU relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 26, 1–21. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2011/92/oj>
- Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea. (2012). *Directiva 2012/18/EU (Seveso III) sobre el control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 197, 1–37. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/18/oj>
- Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea. (2014). *Directiva 2014/52/EU por la que se modifica la Directiva 2011/92/EU relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos sobre el medio ambiente*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 124, 1–18. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/52/oj>
- Phogat, P., Dey, S., & Wan, M. (2025). Powering the sustainable future: A review of emerging battery technologies and their environmental impact. *RSC Sustainability*, 3(8), 3266–3306. <https://doi.org/10.1039/D5SU00127G>
- Qiu, H. (2024). Examining the environmental consequences of china's mineral wealth and governance in the context of the natural resource curse. *Heliyon*, 10(17), e35891. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35891>
- Resalati, S., Okoroafor, T., Maalouf, A., Saucedo, E., & Placidi, M. (2022). Life cycle assessment of different chalcogenide thin-film solar cells. *Applied Energy*, 313, 118888. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118888>
- Rochyadi-Reetz M, Arlt D, Wolling J and Bräuer M (2019) Explaining the Media's Framing of Renewable Energies: An International Comparison. *Front. Environ. Sci.* 7:119. doi: 10.3389/fenvs.2019.00119
- Saad, M. A. H. (2024). Analyzing the lifecycle of solar panels including raw material sourcing, manufacturing, and end-of-life disposal. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 13(1), 966–978. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2024.13.1.0478>

- Sayed, E. T., Wilberforce, T., Elsaid, K., Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Chae, K., & Olabi, A. G. (2021). A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal. *Science of the Total Environment*, 766, 144505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144505>
- Shah, A. K., & Oppenheimer, D. M. (2008). Heuristics made easy: An effort-reduction framework. *Psychological Bulletin*, 134(2), 207–222. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.2.207>
- Thorndike, E. L. (1920). A Constant Error in Psychological Ratings. *Journal of Applied Psychology*, 4, 25-29. <https://doi.org/10.1037/h0071663>
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157), 1124–1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>
- Tyulebayeva, K., Hafen, F., & Martins, M. (2023). *The right to say no: A legal toolbox for communities affected by mining in the EU*. European Environmental Bureau (EEB). <https://eeb.org>
- Uekert, T., Wikoff, H.M., Badgett, A. (2024). Electrolyzer and Fuel Cell Recycling for a Circular Hydrogen Economy *Adv. Sustain. Syst.* 8, 1–11
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (Resolution A/RES/70/1). United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Wason P. C., Johnson-Laird P. N. (1972). *Psychology of reasoning: Structure and content* (Vol. 86). Harvard University Press.
- Xu, J., Zhao, J., & Liu, W. (2023). A comparative study of renewable and fossil fuels energy impacts on green development in asian countries with divergent income inequality. *Resources Policy*, 85, 104035. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104035>
- Yale Center for Environmental Law & Policy. (2024). *Environmental Performance Index 2024*. Yale University. Recuperado de <https://epi.yale.edu>
- Yang, D., Wang, M., Luo, F., Liu, W., Chen, L., & Li, X. (2024). Evaluating the recycling potential and economic benefits of end-of-life power batteries in china based on different scenarios. *Sustainable Production and Consumption*, 47, 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.001>

AMÉRICA LATINA: CAMBIO CLIMÁTICO RECIENTE CON ÉNFASIS EN LOS ODS

VIVIANA MASCIADRI

*Centro de Investigaciones
y Estudios sobre Cultura y Sociedad (CONICET, UNC)*

1. INTRODUCCIÓN

Con información proveniente del Banco de datos regional para el seguimiento de los ODS en América Latina y el Caribe y de estadísticas ambientales de CEPALSTAT, esta investigación se propone realizar un estudio descriptivo sobre cambio climático con énfasis en el ODS 13 (meta 13.1 y meta 13.3) y el ODS 14 (meta 14.1). A dichos fines se utilizan datos abiertos complementarios publicados en portales oficiales de: *Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio* (NASA); *Geoportal ODS*; *Global Plastic Watch*; *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (INPE); *World Resources Institute* (WRI).

La investigación se organiza en cuatro secciones. Luego de la introducción, los aspectos conceptuales preceden a los resultados y la conclusión.

2. ASPECTOS CONCEPTUALES

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es una alteración a largo plazo de los modelos meteorológicos promedio que definen el clima local, regional y global de la Tierra. Desde que comenzaron las mediciones sistemáticas se han acumulado observaciones suficientes para sostener que el cambio climático es un hecho real (Arias et al., 2021; OMM, GAW, 2023, 2024; CEPAL, 2024; NASA, 2024; Naciones Unidas, 2025).

FIGURA 1. *Evolución hacia un consenso científico sobre el cambio climático*

En 1824, Joseph Fourier calculó que un planeta del tamaño de la Tierra, situado a nuestra distancia del Sol, debería ser mucho más frío. Sugirió que algo en la atmósfera debe estar actuando como una manta aislante. En 1856, Eunice Foote descubrió esa manta, mostrando que el dióxido de carbono y el vapor de agua en la atmósfera de la Tierra atrapan la radiación infrarroja (calor) que escapan del planeta.

En la década de 1860, el físico John Tyndall identificó el efecto invernadero natural de la Tierra y sugirió que ligeros cambios en la composición atmosférica podrían provocar variaciones climáticas. En 1896, un artículo fundamental del científico sueco Svante Arrhenius predijo por primera vez que los cambios en los niveles de dióxido de carbono atmosférico podrían alterar sustancialmente la temperatura de la superficie a través del efecto invernadero.

En 1938, Guy Callendar relacionó los aumentos de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre con el calentamiento global. En 1941, Milutin Milankovic conectó las edades de hielo con las características orbitales de la Tierra. Gilbert Plass formuló la teoría del dióxido de carbono del cambio climático en 1956.

En 2021, en el Sexto Informe de Evaluación, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, integrado por expertos científicos de países de todo el mundo, concluyó que es inequívoco que el aumento de CO₂, metano y óxido nítrico en la atmósfera durante la era industrial es el resultado de las actividades humanas y que la influencia humana es el principal impulsor de muchos cambios observados en la atmósfera, el océano, la criósfera y la biosfera.

Fuente: NASA, 2024, bit.ly/46QLgwm; Arias et al., 2021, bit.ly/4kV96dT

Entre las evidencias que sintetizan esta noción se alude a los siguientes signos en el sistema: la temperatura global está aumentando, las capas de hielo se están reduciendo, los glaciares y las nieves eternas están desapareciendo, el grosor del hielo marino del Ártico está disminuyendo,⁴ la acidificación de los océanos se está agravando⁵ y los eventos extremos están aumentando en frecuencia (NASA, 2024).

La información sobre nuestro planeta y su clima proveniente de satélites en órbita terrestre recopilados durante muchos años se enfocan en cómo, los gases afectan el movimiento de radiación infrarroja a través de la atmósfera, es decir, en la naturaleza de atrapar el calor del dióxido de carbono y otros gases.

Si bien el efecto invernadero es esencial para la vida en la Tierra, las emisiones de origen humano en la atmósfera atrapan y ralentizan la pérdida de calor hacia el espacio cuando son tan voluminosas.

Aunque el Sol ha desempeñado un papel en los cambios climáticos del pasado, la evidencia muestra que no explica el calentamiento actual del sistema terrestre. La vida en la Tierra depende de la energía solar.

⁴ Impactando en la gobernanza oceánica.

⁵ Cfr. Ocean Acidification: The Other Carbon Dioxide Problem, <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/Ocean+Acidification>

Aproximadamente la mitad de la energía luminosa que llega a la atmósfera de la Tierra pasa a través del aire y las nubes hacia la superficie, donde es absorbida e irradiada en forma de calor infrarrojo. Y alrededor del 90% de este calor es absorbido por los gases de efecto invernadero e irradiado nuevamente, lo que ralentiza la pérdida de calor hacia el espacio. Es lo que se conoce como forzamiento radiativo mundial: “algo que actúa sobre el clima de la Tierra que fuerza un cambio en la forma en que la energía fluye a través de él (como los gases de larga duración que atrapan el calor, también conocidos como gases de efecto invernadero). Estos gases reducen la salida de calor en la atmósfera y hacen que el planeta se caliente”. Los cuatro gases de efecto invernadero principales son el CO₂, el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y los clorofluorocarbonos (CFC);⁶ estos últimos compuestos químicos no existen en la naturaleza; su origen es industrial —refrigerantes, solventes y propulsores de latas de aerosol— (NASA, 2024).

Debido a que el calentamiento del océano aumenta la cantidad de vapor de agua en nuestra atmósfera, y a medida que otros forzamientos (como el dióxido de carbono) cambian las temperaturas globales, el vapor de agua en la atmósfera responde, amplificando el cambio climático en curso. El vapor de agua aumenta a medida que el clima de la Tierra se calienta. Las nubes y las precipitaciones (lluvia o nieve) también responden a los cambios de temperatura y pueden ser importantes mecanismos de retroalimentación en tanto respuesta física o química.

Es importante reconocer que los efectos del calentamiento global están ocurriendo ahora, son irreversibles y empeorarán mientras los humanos agreguen gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (NASA, 2024).

2.2. ODS

Según la CEPAL, el concepto de desarrollo sostenible sobre el que se cimenta la nueva agenda de desarrollo internacional alude a un complejo equilibrio entre medio ambiente, desarrollo económico y social.

⁶ El Protocolo de Montreal (1989) regula los CFC porque dañan la capa de ozono. No obstante, las emisiones aumentaron lo que motivó que los miembros del acuerdo pidieron una acción inmediata registrándose reducciones a partir de 2018.

“El núcleo principal de esta propuesta y el criterio para evaluar su éxito residen precisamente en la integración efectiva de estos tres pilares del desarrollo, a fin de que la política social no esté supeditada al crecimiento económico y que la sostenibilidad del medio ambiente no esté sujeta a las modalidades de producción y de consumo prevaecientes” (Naciones Unidas, 2013, p. 10).

Figura 2. Hacia un consenso sobre desarrollo sostenible

La Asamblea General crea la Comisión Brundtland. Su informe, “Nuestro Futuro Común” (1987) presentaba el término “desarrollo sostenible”: desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras, integrando políticas ambientales y estrategias de desarrollo económico y social.
Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), Río de Janeiro, Brasil, 1992). Instrumento que formaliza el concepto de desarrollo sostenible mediante los Principios de Río.
Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, Sudáfrica, 2002) y Cumbre Internacional para el Financiamiento al Desarrollo (Monterrey, México, 2002): el desarrollo sostenible se financia.
En 2010, en un contexto regresivo se lanzaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que fusionan el desarrollo sostenible con la agenda internacional de desarrollo para el periodo posterior a 2015. El paradigma supone que la protección del medio ambiente genera nuevas oportunidades económicas.
3ª Conferencia Internacional sobre Financiación para el Desarrollo (Adís Abeba, Etiopía, 2015). Establece la Agenda de Acción de Adís Abeba que sienta las bases del compromiso de la Agenda 2030 con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Fuente: elaboración propia

No hay duda de que la supervivencia de nuestras sociedades y de nuestro planeta pasa por un mundo más sostenible (Arias et al., 2021). Desafío poliédrico (OMM, GAW, 2023, p. 2). Que impele a integrar efectivamente los tres pilares, aunque por el momento no se están obteniendo resultados óptimos.

TABLA 1. Emisiones globales de GEI, 2019 (MtCo2)

Emisiones	MtCo2	%	MtCo2	%	MtCo2	%	MtCo2	%	MtCo2	%	
Total	48 116.5	100.0									
Subtotal	32 818.2	68.2	Subtotal	15 298.3	31.8						
Puesto 1 al 10	32 818.2	68.2	Puesto 11 al 20	5 450.2	11.3	Puesto 21 al 30	2 953.1	6.1	Resto de países	5 061.9	10.5
China	12 705.1	26.4	Arabia Saudita	723.1	1.5	Argentina	369.1	0.8	Sin especificar	1 833.1	3.8
Estados Unidos	6 001.2	12.5	Corea del Sur	698.5	1.5	Egipto	351.8	0.7			
India	3 394.9	7.1	México	653.9	1.4	Iraq	320.8	0.7			
Union Europea (27)	3 383.4	7.0	Australia	586.0	1.2	Malasia	313.0	0.7			
Rusia	2 476.8	5.1	Sudáfrica	555.4	1.2	Nigeria	308.2	0.6			
Japón	1 166.5	2.4	Turquía	488.5	1.0	Argelia	282.0	0.6			
Brasil	1 057.3	2.2	Vietnam	450.1	0.9	Kazajistán	274.7	0.6			
Indonesia	1 002.4	2.1	Reino Unido	440.1	0.9	Venezuela	255.7	0.5			
Irán	893.7	1.9	Pakistán	432.5	0.9	Emiratos Árabes Unidos	243.5	0.5			
Canadá	736.9	1.5	Tailandia	422.1	0.9	Filipinas	234.3	0.5			

Fuente: adaptado de Ge, Friedrich, Vigna (2021), bit.ly/3GTb54k

En efecto, a nivel mundial, las emisiones de GEI han aumentado un 50% entre 1990 y 2018 (Ge, Friedrich, Vigna, 2021). En 2019, China fue el país del mundo con las mayores emisiones globales seguido de Estados Unidos. En los puestos tercero y cuarto se posicionan India y la Unión Europea, respectivamente. Mientras que Rusia, Japón, Brasil, Indonesia, Irán y Canadá se ubican entre los puestos quinto y decimo en ese orden. Este grupo sintetiza el 68% de las emisiones globales (tabla 1). Mientras que el resto de las emisiones se reparten entre los países ubicados entre los puestos 11 y 30 (17,4%), resto (10,5%) y sin especificar (3,8%).

Y no han dejado de aumentar según lo indica el informe *Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible* donde se alude a que las emisiones mundiales de CO₂ “procedentes de la combustión de combustibles y los procesos industriales alcanzaron la cifra récord de 37,6 gigatoneladas, lo que supone un aumento del 0,8 %” en 2024 respecto a 2023 (Naciones Unidas, 2025, p. 19). Si bien los incrementos en el consumo de gas natural, carbón y electricidad para refrigeración impulsaron las emisiones, la expansión de tecnologías de energías limpias como la solar, la eólica y la nuclear mitigó lo que podría haber sido un aumento de las emisiones tres veces mayor (Naciones Unidas, 2025, p. 19).

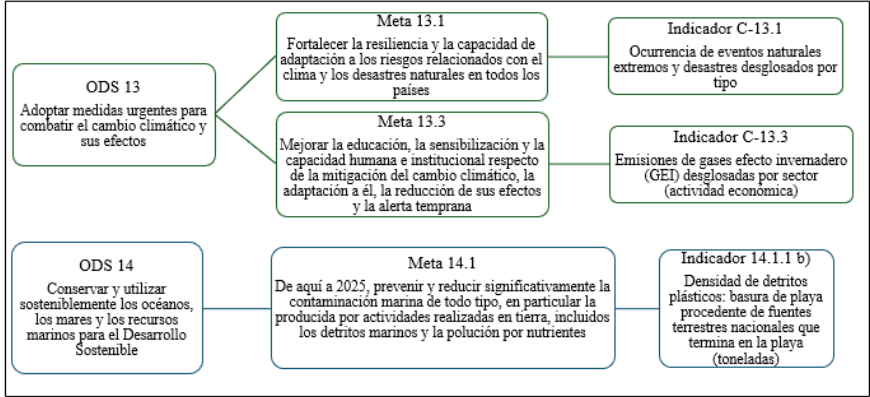
Respecto a esta región, América Latina y el Caribe es hoy preferentemente urbana y de ingreso medio, aunque muy heterogénea y desigual; coexisten países de ingreso medio alto, miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y del Grupo de los Veinte (G20), pequeños Estados insulares, países sin litoral, y uno de los países más rezagados del mundo: Haití.⁷ La heterogeneidad también se manifiesta al interior de cada uno de ellos (Naciones Unidas, 2013, p. 11).

No obstante, todos enfrentan desafíos ambientales comunes: cambio climático, pérdida de biodiversidad, gestión de los recursos hídricos y el suelo, problemas marinos y costeros, creciente urbanización que dificulta la gestión de los residuos y de las ciudades (Naciones Unidas, 2013, 16-17; CEPAL, 2024). Por ello, haciendo hincapié en los ODS

⁷ En el puesto 170 sobre 188 países del índice de Desarrollo Humano de 2021.

relacionados al cambio climático se examinan los siguientes objetivos, metas e indicadores.

FIGURA 3. *Objetivos, metas e indicadores analizados*



Fuente: elaboración propia

3. RESULTADOS

3.1. ODS 13, META 13.1, INDICADOR C-13.1

De acuerdo con CEPALSTAT, un desastre es un evento repentino que trastoca seriamente a una comunidad o sociedad, causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que exceden la capacidad comunitaria y social para hacer frente a la situación con los recursos propios.

El indicador sobre ocurrencia de desastres relacionados con el cambio climático y geofísicos agrupan información sobre nueve eventos naturales extremos y desastres, clasificados en cuatro conjuntos que a los fines de CEPALSTAT se agregaron en:

- (1) geofísicos —terremotos, erupciones volcánicas y desplazamientos de masa seca— y;
- (2) relacionados con el cambio climático —tormentas, inundaciones, desplazamientos de masa húmeda, temperaturas extremas, sequías e incendios—.

De acuerdo con información del *Center for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), el primero de la lista es el continente asiático con 167 hechos, zona donde se ubican siete de los diez primeros países del mundo con mayor número de desastres en 2024: Indonesia (n=20), Filipinas (n=18), China (18), India (n=15), Vietnam (n=10), Afganistán (n=8), Tailandia (n=7). Sigue Las Américas con 118 desastres naturales; los países de la región incluidos en el ranking de los diez más afectados son: Estados Unidos de América (n=29), Brasil (n=11), México (n= 8). Seguidamente se posicionan el continente africano con 75, Europa con 24 y Oceanía con 9 desastres (CRED, 2025).

TABLA 2. *Número máximo y mínimo de focos activos detectados por satélite según año registrado ordenados por el número medio. Países y región, 1998-2025¹*

Región, países	Focos activos detectados		
	Máximo ¹	Media ¹	Mínimo ¹
América del Sur	614 976 2007	368 568	133 341 2000
Brasil	393 915 2007	219 811	101 530 2000
Argentina	74 111 2020	36 882	19 1999
Bolivia	90 026 2024	36 474	7 747 1998
Paraguay	44 774 2003	22 679	3060 1998
Venezuela	44 013 2024	21 143	295 1998
Colombia	28 073 2004	15 043	10 1999
Perú	18 730 2005	10 921	373 2001
Chile	6 732 2017	3 595	11 2000
Ecuador	3 920 2009	2 222	54 2000
Guyana	3 204 2024	1 228	2 2001
Uruguay	1 365 2015	690	1 2001
Suriname	1 074 2024	485	177 2022
Guyana Francesa	412 2009	262	88 2021

¹al 20 de junio de 2025; ²media del período 1998-2025 o según corresponda. Fuente: INPE, <https://www.gov.br/inpe/pt-br>

Como la información relacionada con el cambio climático producida por el *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) que CEPALSTAT publica entre sus estadísticas ambientales sobre eventos naturales extremos y desastres podría estar subregistrada, al menos en el caso de los incendios, se analizará la información sobre América del Sur producida por el *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (INPE) sobre focos activos detectados por satélite. En 1998, el 91% de los focos activos se localizaron en Brasil, descendiendo a un 54% en 2024. Es decir, los incendios relacionados con el cambio climático se han extendido al resto de países en América del Sur.

En la tabla 2 se presenta el guarismo máximo y mínimo de focos activos según año de ocurrencia de los desastres. En América del Sur el año más catastrófico fue 2007 con un total de 614 976 incendios. Incide en ese registro Brasil con un registro máximo de 393 915 incendios en el mismo año.

Si se ordenan los países según número medio de incendios se obtiene el ranking de los primeros diez: Brasil, Argentina, Bolivia, Paraguay, Venezuela, Colombia, Perú, Chile, Ecuador y Guyana con sus respectivos máximos y mínimos según año de registro. Estos datos indican que, por ejemplo, para Argentina, el año menos catastrófico fue 1999 con 19 incendios mientras que el más catastrófico fue el 2020 con un total de 74 111 incendios, año en que la temperatura media de América del Sur fue de 1.32°.

3.2. ODS 13, META 13.3, INDICADOR C-13.3

Se conoce que las acciones por el clima se ubican muy por debajo del nivel necesario para cumplir los compromisos asumidos en virtud de la Agenda 2030 y del artículo segundo inciso a del Acuerdo de París:

Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático (Naciones Unidas, 2012).

Es decir, el objetivo del Acuerdo de París es limitar el calentamiento mundial a muy por debajo de 2, preferiblemente a 1,5 grados

centígrados, en comparación con los niveles preindustriales. Sin embargo, en el artículo 4, inciso 1 el Acuerdo establece que:

Para cumplir el objetivo a largo plazo referente a la temperatura que se establece en el artículo 2, las Partes se proponen lograr que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible, teniendo presente que las Partes que son países en desarrollo tardarán más en lograrlo, y a partir de ese momento reducir rápidamente las emisiones de gases de efecto invernadero, de conformidad con la mejor información científica disponible, para alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros en la segunda mitad del siglo, sobre la base de la equidad y en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza (Naciones Unidas, 2012).

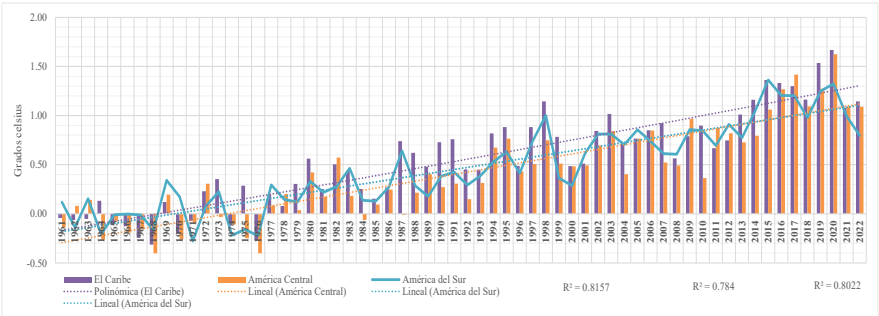
Sin embargo, si se analizan las variaciones de la temperatura media regional, El Caribe y América Central que reúne a países en desarrollo — y muy rezagados como Haití— parecen contradecir tales enunciados.

Según indican las estadísticas ambientales de CEPALSTAT, las regiones El Caribe y América Central superaron ese umbral en 2020, con 1,7° y 1,6°, respectivamente (gráfico 1).

En efecto, de acuerdo con una publicación reciente de la CEPAL (2024, p. 11), “en América Latina y el Caribe, la temperatura ha aumentado entre 0,7 °C y 1 °C frente a la media del período comprendido entre 1961 y 1980”. Los días de exposición a olas de calor se ha incrementado, en paralelo al incremento de enfermedades transmitidas por vectores. Los glaciares en la zona de los Andes tropicales han perdido al menos un 30% de su superficie, registrándose sequías en la zona central de Chile, en la cuenca Paraná-La Plata, y en más del 50% del territorio mexicano. Los arrecifes de coral han disminuido en tamaño, densidad y cobertura, lo que se sumó al aumento de la decoloración.

Como ya se dijo, a la par del incremento de la temperatura se ubican el aumento de las emisiones. Un informe reciente de Naciones Unidas evalúa que los niveles de dióxido de carbono se sitúan un 151% por encima de los niveles preindustriales (los más altos en más de 2 millones de años). Al tiempo que la acidificación de los océanos y el riesgo de que se extingan especies va en aumento (Naciones Unidas, 2025, párr. 9).

GRÁFICO 1. Variaciones observadas de la temperatura media. El Caribe, América Central y América del Sur, 1961-2022⁸



Fuente: CEPALSTAT, <http://bit.ly/46Tzmls>

En efecto, la acidificación continuada hace peligrar la vida marina y la estabilidad del clima debido a que una de las causas de pérdidas y daños derivados del cambio climático es el fracaso de la labor de mitigación y adaptación. Los umbrales en los que la adaptación no consigue evitar los impactos del cambio climático se denominan límites de adaptación. Los límites estrictos son los que surgen en sistemas y sólo pueden evitarse mediante la atenuación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Es decir, ecosistemas sensibles como los arrecifes de coral y la criosfera, son los primeros en expresar los límites estrictos de adaptación (UNEP, 2021, 2023; Naciones Unidas, 2025, párr. 119).

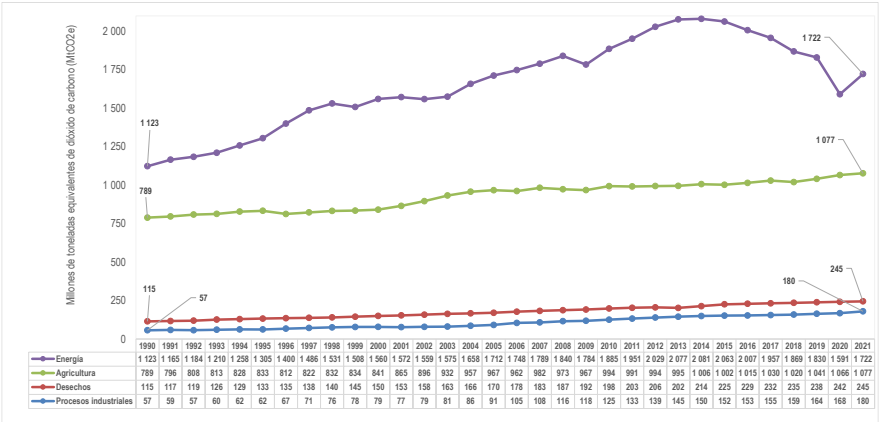
Si se comparan las estadísticas de América Latina respecto al total mundial se obtiene que, del total de cada sector, las emisiones de agricultura

⁸ Los datos de la variación de la temperatura media anual corresponden al año meteorológico que inicia el 1º de diciembre del año civil anterior y finaliza el 30 de noviembre del mismo año civil. Este indicador contiene datos de las variaciones observadas de la temperatura media de la superficie por país. El análisis del NASA-GISS se inició a finales del decenio de 1970. La fuente de las mediciones medias mensuales en las estaciones es la versión 3 de la Red Mundial de Datos Climatológicos Históricos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAAGHCN, por sus siglas en inglés), que incluye datos procedentes de 7 300 estaciones de todo el mundo. El análisis del GISTEMP integra, además, información de la versión 4 donde “los datos correspondientes a un país pequeño son representativos de una región circundante mayor (...) y podrían haber incluido datos de estaciones situadas hasta 250 km” de su frontera.

(18,4%) y desechos (14,6%) son las que más peso relativo tiene entre las emisiones de GEI de 2021 en esta región (Masciadri, 2025).

Por otra parte, al examinar la progresión ascendente de los GEI se obtiene el impacto absoluto de cada sector en MtCO₂e (gráfico 2). En primer lugar, se ubica el sector de energía que representa a cinco subsectores: electricidad/calor, manufactura/construcción, transporte, otras combustiones y emisiones fugitivas. La mayoría de las emisiones de energía provienen de emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles. Sin embargo, las emisiones de CH₄ y N₂O pueden también ser significativas.⁹

GRÁFICO 2. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), desglosadas por sector (actividad económica). América Latina, 1990-2021



Fuente: Banco de datos regional para el seguimiento de los ODS en América Latina y el Caribe, bit.ly/44anwBK

En segundo lugar, se posiciona el sector agricultura que incluye estadísticas de emisiones de CH₄ y N₂O, expresadas en equivalentes de CO₂. Las emisiones totales incluyen: fermentación entérica, gestión del estiércol, cultivo del arroz, fertilizantes sintéticos, estiércol aplicado a los suelos, estiércol depositado en las pasturas, residuos agrícolas,

⁹ Si bien fueron consultadas en CEPALSTAT, la información de emisiones de CO₂ proviene de estimaciones de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), mientras que las emisiones de CH₄ y N₂O derivan de estimaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés).

cultivación de suelos orgánicos, combustión de residuos agrícolas, y combustión de sabana.¹⁰

En tercer lugar, las estadísticas de emisiones de CH₄ y N₂O por desechos incluyen las siguientes actividades: vertederos (residuos sólidos), tratamiento de aguas residuales, residuos provenientes del humano, y otros desechos.¹¹

Por último, las estadísticas de los procesos industriales incluyen las emisiones de CO₂ por producción de cemento;¹² emisiones de N₂O derivadas de la producción de ácido adípico y nítrico; emisiones de N₂O y CH₄ provenientes de otras industrias (no agrícolas) y emisiones de gases fluorados (HFCs, PFC, y SF₆).¹³

Este resultado indica cuales son las actividades económicas que, en orden de importancia requieren Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, a fin de Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

3.3. ODS 14, META 14.1, INDICADOR 14.1.1 B)

Ya se ha demostrado que la basura malamente dispuesta es un “caldo de cultivo” para el desarrollo de entornos insalubres. Y que entre las enfermedades relacionadas con los efectos indirectos del cambio climático sobre la salud humana destacan, las correlacionadas a los sistemas naturales, en particular, las enfermedades transmitidas por vectores. En efecto, en el bienio 2023-2024, el entorno insular (San Bartolomé, Isla de San Martín, Martinica, Guadalupe) y otros países como Nicaragua, Guyana, Guyana Francesa, Paraguay, además de Brasil, transitaron ciclos epidémicos con tasas de incidencia de dengue muy elevadas. Así y

¹⁰ Si bien fueron consultadas en CEPALSTAT provienen de FAOSTAT.

¹¹ Proviene de estimaciones de EPA. El sector de combustible de caldera contiene estadísticas de emisiones de CO₂ provenientes de IEA.

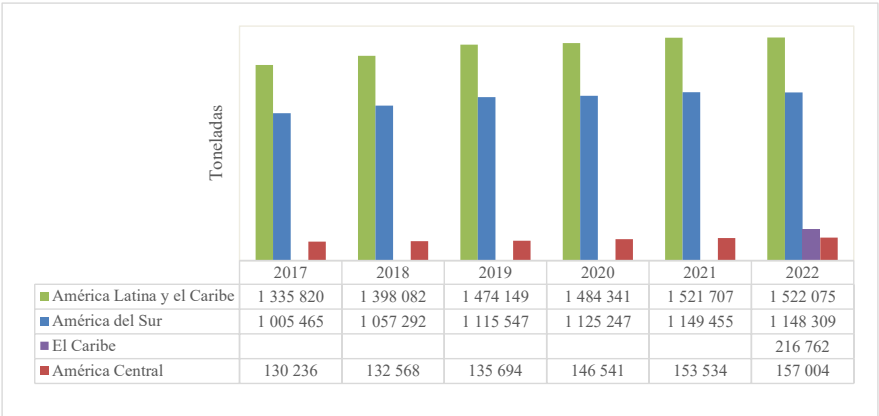
¹² Producidas por el CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center).

¹³ Derivados de estimaciones de la EPA.

todo, destaca que el 2024 habría sido un arduo año en términos sanitarios para Brasil que registró, 10.272.999 casos de dengue (Masciadri, 2025).

El cuadro se agrava al observar el gráfico 3 donde se representa que los residuos de playa procedente de fuentes terrestres nacionales que terminan en la playa no han dejado de incrementarse en el periodo informado, rondando la cifra de 1 522 075 en toda América Latina y El Caribe en 2022. De ese total, 1 148 309 toneladas corresponde a América del Sur, 216 762 a El Caribe y 157 004 toneladas a América Central.

GRÁFICO 3. Basura de playa procedente de fuentes terrestres nacionales que termina en la playa (Toneladas). América Latina y el Caribe, 2017-2022



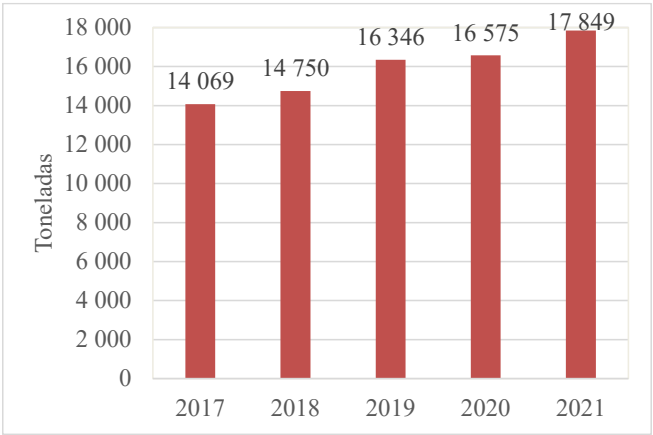
Fuente: Banco de datos regional para el seguimiento de los ODS en América Latina y el Caribe, bit.ly/44anwBK

Ocurre que, durante las últimas cuatro décadas, la producción mundial de plástico se ha disparado. Y se prevé que el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción, el uso y la eliminación de plásticos convencionales derivados de combustibles fósiles crezca hasta alcanzar aproximadamente las 2,1 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO2e) en 2040, lo que supone el 19% del presupuesto de carbono mundial. Según otro enfoque, se calculó que las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de los plásticos fueron de 1,7 GtCO2e en 2015 y se prevé que aumenten hasta unas 6,5 GtCO2e para 2050, lo que supone el 15% del presupuesto de carbono mundial (UNEP, 2021, p.5.; Charles D., Kimman L., 2023).

Como se observa en el grafico anterior, América Latina y el Caribe no escapa a este precario panorama mundial. En esta región, Brasil es el país peor posicionado debido a que se ubica sexto en el ranking mundial sobre generación de basura.

En síntesis, los residuos plásticos posconsumo representan un problema grave a nivel mundial compartido a lo largo de toda la cadena de valor. La producción mundial de plástico empezó alrededor de la década de 1950. Debido a su enorme poder contaminante que acelera las emisiones de metano existen, actualmente, cuatro tipos de medidas para hacer frente a la problemática de los residuos plásticos: 1) prohibiciones; 2) impuestos; 3) sistemas de depósito-reembolso, y 4) responsabilidad extendida del productor.

GRÁFICO 4. Basura de playa procedente de fuentes terrestres nacionales que termina en la playa. Panamá, 2017-2021



Fuente: Banco de datos regional para el seguimiento de los ODS en América Latina y el Caribe, bit.ly/44anwBK

Sin embargo, las medidas no están dando los resultados esperados al menos en esta región. Por ejemplo, la Ley 6 de derecho ambiental y de derecho administrativo del 6 de febrero de 2018 que establece la gestión integrada de residuos sólidos en las instituciones públicas solicita a las instituciones que clasifiquen sus residuos y realicen esquemas de reciclaje para papel, botellas de plástico, envases Tetra Pak y latas de aluminio (Gaceta

Oficial, 2018; Flores Montalvo, Loutfi Olivares, 2020). Sin embargo, el volumen de la basura de playa procedente de fuentes terrestres nacionales que termina en la playa correspondiente a Panamá continúa agravándose.

Contrariamente a lo que ocurre, una de las soluciones podría pasar por diseñar estándares, certificaciones y requisitos de etiquetado para los productos que eduquen a la población sobre los impactos ambientales del plástico. Hasta que eso ocurra, incluir en ciertos productos la advertencia podría incentivar a los consumidores a replantearse el uso de objetos como, por ejemplo, las bolsas de plástico de un solo uso.

FIGURA 3. Ejemplos de diseño para productos contaminantes y referencia a la patente de Sasson-Stoin (2017) para el tratamiento circular de la basura de plástico (a) (b) (c)



Fuente: adaptado de (a) Global Plastic Watch, (b) Aurora y (c) Plastic Back

Huelga mencionar que las ciudades son uno de los factores que más contribuyen al cambio climático. De acuerdo con ONU-Habitat, las ciudades consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, abarcan menos del 2% de la superficie de la Tierra.

En 2020, el número de metrópolis era de 1934: 34 superaron los 10 millones de habitantes mientras que 51 albergaban poblaciones de 5 a 10 millones, 494 de 1 a 5 millones, y 1355 de 300 000 a 1 millón.

En 2020, América Latina y el Caribe contaba con 215 metrópolis: 6 superaron los 10 millones de habitantes, 3 albergaban poblaciones de 5

y 10 millones de habitantes, 65 de 1 a 5 millones, y 141 de 300 000 y 1 millón. Brasil (61), México (54), Colombia (18), Argentina (17), Venezuela (17) y Perú (11) son los países con más metrópolis en América Latina y el Caribe (Naciones Unidas, 2015, 2020).

GRÁFICO 5. *Proporción de la población urbana que vive en barrios marginales (en porcentajes)*



Fuente: Banco de datos regional para el seguimiento de los ODS en América Latina y el Caribe, bit.ly/44anwBK

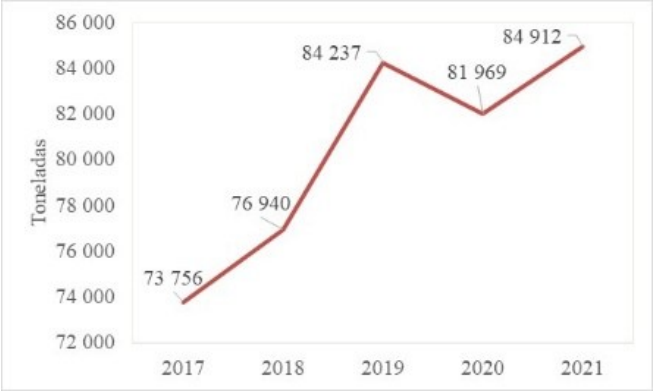
Se conoce que las tendencias de población urbana en América Latina y el Caribe de 2015 a 2035 pasará de 505 millones en 2015 a alrededor de 627 millones en 2035. Al tiempo que el crecimiento urbano continuará ejercido presiones ambientales agudas. La región es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, entre los que se ubican los eventos hidrometereológicos extremos. En tal sentido este panorama es urgente para América Central y los pequeños Estados insulares del Caribe (ONU-Hábitat, Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana de España s.f.).

En la sección anterior se mencionó que según datos de 2019 entre los países con mayores emisiones globales de GEI se ubicaron Brasil (puesto 7), México (puesto 13), Argentina (puesto 21) y Venezuela (puesto 28) (Ge,

Friedrich, Vigna, 2021). El grafico 5 muestra el porcentaje de población urbana que viven en barrios marginales en países muy heterogéneos.

Tres de ellos integran el G20: Argentina, Brasil y México. Y mientras que Venezuela integra la OPEP, Haití se ubica entre los países de la región más rezagados en Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, con un 51% de la población urbana residiendo en barrios marginales, asentamientos informales o viviendas inadecuadas.¹⁴

GRÁFICO 6. Basura de playa procedente de fuentes terrestres nacionales que termina en la playa (toneladas). Haití, 2017-2021



Fuente: Banco de datos regional para el seguimiento de los ODS en América Latina y el Caribe, bit.ly/44anwBK

Retomando la incidencia de la contaminación, el indicador densidad de detritos plásticos destaca el aumento de 73 756 toneladas a 84 912 toneladas en 2021 (gráfico 6). Asimismo, la información satelital brindada por el *Global Plastic Watch*, indica que en la isla existen ocho basurales a cielo abierto con detritos plásticos. El pequeño país insular se ubica en el puesto 124 de *Plastic Waste Makers Index*, 2021. Las principales empresas multinacionales asentadas en Haití son: Reliance Industries Ltd, Indorama Ventures PCL, Dow Inc, Exxon Mobil Corp

¹⁴ Según datos del *World Resource Institute* sobre emisiones históricas globales las correspondientes a Haití en 2018 fueron de 12.1 Mt (Energía 5Mt; Agricultura 4,66Mt; Residuos 1,47Mt; LUCF 634.6 Kt; Procedimientos Industriales 378 Kt).

y LyondellBasell Industries NV. La tabla 3 informa sobre la ubicación de los sitios según su ubicación y demás variables de interés.¹⁵

TABLA 3. *Sitios con detritos plásticos según ubicación ordenados por densidad de población, distancia de agua y contenido de arcilla en el suelo. Haití, 2021*

Sitios con detritos plásticos	Ubicación	Densidad de población	Distancia de agua	Contenido de arcilla en el suelo (%)
Route Boulevard venesuelen prolonger, Village Rapatrier, Ire Varreux	18°36'33" N 72°19'59" W	28 080	273	36
Baby Barber Shop, Route Nationale # 3, Balan	19°44'2" N 72°11'8" W	26 857	135	33
Vernet, Ire Bourdet, Carrefour Bourdet	18°12'25" N 73°45'49" W	17 417	433	34
Marassa, 3e Petit Bois, Santo	18°34'27" N 72°14'33" W	16 589	1	31
La Ferronay, 4e Bellevue, Commune de Tabarre	18°32'21" N 72°13'25" W	12 778	159	28
Route Nationale # 1, 5e Bocozele, Terre Noir	19°8'56" N 72°40'17" W	1 232	890	27
Ire des Varreux, Croix-des-Bouquets, Commune Croix-des-Bouquets	18°39'39" N 72°17'45" W	1 043	273	33
Ire Champin, Capette, Commune Caracol	19°40'4" N 72°2'23" W	272	247	27

Nota: la información demográfica se contrastó con el mapa que representa el porcentaje de población urbana por sección comunal publicado por el *Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique*.
Fuente: adaptado de *Global Plastic Watch*

4. CONCLUSIONES

Este panorama indica que los países de la región precisan sumar sus esfuerzos para obtener mejores indicadores sobre Acción por el Clima (ODS 13) y Vida Submarina (ODS 14). El desafío poliédrico debe abordarse con la mayor premura posible para intentar alcanzar lo establecido en la Agenda 2030.

AGRADECIMIENTOS/APOYOS

Al geólogo, geofísico y demógrafo Mario Sigismondi por sus comentarios sobre la información publicada en el global plastic watch. A Sofía Romero por el diseño de la figura 3a. Al international center for university teaching of jewish culture y al institute of chemistry, faculty of science of the Hebrew University of Jerusalem por confirmar la IP via email.

¹⁵ Para más detalles véase Kruse, 2022.

5. REFERENCIAS

- Arias P. A. et al. (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- Aurora (2025). *Plastic Back: la startup israelí que recicla desechos plásticos y los convierte en petróleo crudo*. Aurora Israel Noticias en Español.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) (2025). *2024 Disasters in Numbers*. CRED.
- Charles D., Kimman L. (2023). *Plastic Waste Makers Index 2023*. Minderoo Foundation.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2024). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe, 2023: necesidades de financiamiento y herramientas de política para la transición hacia economías con bajas emisiones de carbono y resilientes al cambio climático*. LC/TS.2023/154.
- Flores Montalvo A., Loutfi Olivares F. (2020). *Mecanismos de política para disminuir los residuos plásticos de un solo uso: revisión de las opciones disponibles y su aplicabilidad en México*. WRI México.
- Gaceta Oficial (2018). *Ley 6 que establece la gestión integrada de residuos sólidos en las instituciones públicas*. Asamblea Nacional, Legislación de la República de Panamá.
- Ge M., Friedrich J., Vigna L. (2021). Cuatro gráficos que explican las emisiones de gases de efecto invernadero por país y por sector. *World Resource Institute*, bit.ly/3GTb54k
- Kruse, C. (Mar 2022). Satellite Monitoring of Terrestrial Plastic Waste. *arXiv:2204.01485v1 [cs.CY]*.
- Masciadri, V. (2025). Panorama reciente sobre cambio climático y contaminación en América Latina con énfasis en los ODS. *V Congreso Internacional Identidades, Inclusión y Desigualdad. Identidades/Alteridades. El delgado hilo de las fronteras* (en prensa).
- NASA (2024). *What Is Climate Change? Find Out More: A Guide to NASA's Global Climate Change Website*. bit.ly/46QLgwm

- Naciones Unidas (2025). *Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Asamblea General, Consejo Económico y Social, A/80/81-E/2025/62.
- (2013). *Desarrollo sostenible en América Latina y El Caribe: seguimiento de la Agenda de las Naciones Unidas para el Desarrollo post-2015 y Río+20*. LC/G.2577.
- (2012). *Acuerdo de París*. bit.ly/3ICQiTt
- Plastic Back (2025). *Plastic Back Produces Plastic-Derived-Oils, Which Are Upcycled to Create New Products*. bit.ly/4m81KVg
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) (2023). *Informe sobre la brecha de adaptación 2023. Financiación y preparación deficientes. Resumen ejecutivo*. doi: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43796>
- (2021). *De la contaminación a la solución: Una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos. Síntesis*. DEP/2379/NA.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat) (2020). *Estado Global de las Metrópolis 2020. Folleto de Datos Poblacionales*. HS Number: HS/031/20S.
- ONU-Habitat, Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana de España (s.f.). *Implementando la nueva agenda urbana: casos prácticos en América Latina y El Caribe*. NIPO 179-25-07-4.
- Organización Meteorológica Mundial, Global Atmosphere Watch (2023). *Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero*. N° 19, 1-11.
- Sasson, Y.; Stoin, U. (2017). *A process for treating plastic waste*. Yissum Research Development Company of The Hebrew University of Jerusalem Ltd.; WO2017118975A1
- World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch (2024). *WMO Greenhouse Gas Bulletin*. N° 20, 1-11.

WEATHERING INSTABILITY: INSIGHTS FROM A BIBLIOMETRIC EXPLORATION OF CLIMATE CHANGE AND POLITICAL RISK

KARL-HEINZ ARVIND ERMISCH
Universidad Europea de Canarias

1. INTRODUCTION

Climate change and political risk are increasingly intertwined challenges shaping global governance, security, and development (von Uexkull & Buhaug, 2021; Hedlund, 2023). Climate change, with its extreme weather and environmental destruction, acts as a "threat multiplier," increasing societal vulnerabilities (Sitati et al., 2021; Hedlund, 2023). Political risk—instability from conflicts, leadership changes, or policy variability—limits countries' ability to address climate change (Vanhala et al., 2023). Unstable politics hinder climate governance, while climate impacts can lead to social unrest and conflict (Abdi et al., 2023; Arnall, 2023).

1.1. KEY CONCEPTS

Climate change refers to long-term global temperature shifts from human activities. It poses systemic threats to ecosystems, economies, and welfare, including rising seas, storms, drought, and food insecurity (von Uexkull & Buhaug, 2021; Sitati et al., 2021). Political risk is the likelihood of instability or adverse political events impacting policy or investments. Common symptoms are civil conflict, war, sudden leadership changes, and socio-political instability. Both climate and political risks threaten global livelihood security and stability (Hedlund, 2023; Arnall, 2023). Political risks disrupt policy implementation, investment, and trust (Vanhala et al., 2023; Abdi et al., 2023).

Their interaction is critical. Successful climate adaptation depends on strong institutions and political will. Climate shocks can strain resources and social cohesion, igniting grievances (von Uexkull and Buhaug, 2021; Buhaug et al., 2014). Climate security encompasses this nexus, assessing how climate-induced risks challenge human and national security (Arnall, 2023; Detges, 2017). "Political risk" globally includes governance fragility undermining development objectives (Kobrin, 1979; Oh and Oetzel, 2011). Political disruptions hinder climate policy, while climate stressors increase social vulnerabilities in fragile states (Abdi et al., 2023; Sitati et al., 2021), impacting multi-risk regions.

1.2. CLIMATE CHANGE AS A DRIVER OF POLITICAL RISK

Climate change impacts resource availability, intensifying water scarcity and hazards. Over 2 billion people lack safe drinking water; nearly half the world faces annual scarcity (WHO/UNICEF, 2023). These figures are projected to drastically increase. Climate-induced agricultural reductions impede growth and increase food insecurity, exacerbating resource competition (Giovanis & Ozdamar, 2025). Climate change negatively impacts global food security via production disruptions, higher prices, and reduced safety (FAO, 2021). Resource scarcity, particularly water and arable land, is a known conflict driver (Homer-Dixon, 1994). Weather shocks, like droughts, damage agriculture, reducing the cost of conflict while increasing tensions (Von Uexkull et al., 2016).

The UN Security Council recognizes climate change exacerbates security challenges, especially in the Sahel (Henrico & Doboš, 2024). This creates a “climate-aggravated resource curse,” intensifying scarcity and conflict risk (Giovanis & Ozdamar, 2025).

Climate change aggravates displacement. Millions are newly displaced each year (IDMC, 2023). While a 'push' factor, the climate-migration-conflict nexus is complex (Savelli et al., 2022; Savelli et al., 2023), influenced by demographic, socioeconomic, social, political, and environmental factors (Savelli et al., 2022). Climate displacement destabilises politics through resource depletion and weakened state capacity (National Intelligence Council, 2021; IDMC, 2023). Crowding in host areas pressures resources, increasing tensions. Governmental

institution resilience often outweighs natural resource levels or climate vulnerability in determining resource-related displacement and conflict (National Intelligence Council, 2021).

Climate change intensifies extreme weather events, threatening human health. These events caused ~2 million deaths and \$4.3 trillion in economic losses globally (1970-2021) (WMO, 2023). Climate change also worsens air quality, increases heat-related illness, and heightens mental health impacts (WHO, 2023). It impedes healthcare access. Children are particularly vulnerable. Inequities of climate change's burden on marginalised communities (e.g., racial minorities, migrants, indigenous peoples) raise equity and social justice concerns (Savelli et al., 2022), increasing inequalities, poverty, and financial charges on poor households. Public health crises, especially affecting marginalized sectors, can overburden services, increase social tension, and fuel grievances against the state, leading to societal polarization and human rights erosion.

Climate change, combined with political risk, reduces democratic quality, as heightened economic/social costs from climate-related disasters increase civil/political unrest (Beacham et al., 2024). This pushes governments to repressive tactics, diminishing democratic resilience. Drought exposure appears to decrease support for democracy, especially in democratic societies (Beacham et al., 2024), linked to weakening public trust. Low-income or marginalized communities in fragile states are most affected, reversing development gains, threatening governance, and raising conflict risks (National Intelligence Council, 2021). Insufficient climate finance for these countries widens disparities, stimulating "anti-West" rhetoric and undermining multilateralism (Climate Home News, 2025). Despite majority support for climate change action in democracies, opposition from communities bearing disproportionate costs affects politicians, causing policy instability or delays.

1.3. POLITICAL RISK AS A DRIVER OF CLIMATE CHANGE

The conventional definition of political risk is the probability of government actions or institutional imperfections restricting multinational investments or company cash flow (Marston, 2019). This involved asset expropriation, unexpected taxation, political instability, and

disputes like strikes, terrorism, and war (Coronati & Jallat, 2020). However, climate fundamentally changes this; its universal pressures increasingly intensify political instability. Political risk now includes uncertainties from non-state actors related to environmental breakdown, rewiring existing political risks.

Global climate politics are a political contest. Governments in turbulent or divided circumstances may lack competence or consensus for long-term climate plans (Vanhala et al., 2023). As Hedlund (2023) notes, “climate risk assessment is not merely a scientific venture but also inherently political,” constrained by vested interests, sectoral conflicts, and distributional debates. Domestic political risk could slow low-carbon transition or curtail adaptation investment. Conversely, stable, inclusive politics can contribute to successful climate governance by allowing for long-term planning and public support (Keohane & Victor, 2011). In the developing world, political risk frequently overlaps with international climate cooperation and finance. Weak or conflict-ridden states may be unable to access or use adaptively climate adaptation funding, creating a climate poverty trap. Vanhala et al. (2023) contend that fundamental climate governance issues are political, involving negotiation, contestation, and distributive choices. For countries with political unrest, climate finance efforts may be deferred or co-opted by elites, hindering adaptation (Betzold & Weiler, 2017). Research in Sub-Saharan Africa finds that government stability is directly statistically significant for conflict reduction and for facilitating adaptation: Abdi et al. (2023) find that “government stability reduces internal conflicts in the short run,” suggesting stronger institutions can reduce conflict and simultaneously foster climate resilience.

1.4. POLITICAL RISK AND CLIMATE CHANGE

The interaction between political risk and climate change is a defining challenge of the 21st century. Climate change acts as a threat multiplier (Cullum, 2024), amplifying existing socio-political vulnerabilities. Its impacts, ranging from resource scarcity and human displacement to health crises and strain on governance, lead to heightened political risks. Political risk itself is evolving, moving beyond traditional

definitions centred on the state to encompass uncertainties driven by environmental breakdown (Marston, 2019).

Climate change, if poorly managed, can itself become a political risk. Droughts, floods, or resource scarcity can lead to public discontent under poor governance. For example, climate-exacerbated food and water shortages have been linked to unrest in regions such as Syria and the Sahel (Kelley et al., 2015; Sitati et al., 2021). However, scholars note that the connection is indirect and mediated: climate shocks alone seldom trigger violence unless they are added to existing grievances or weak institutions (von Uexkull & Buhaug, 2021). Political risk thus both conditions and is conditioned by climate: where climate impacts reinforce social stress (e.g., competition over crops or water), conflict becomes more likely in the presence of underlying political grievances or exclusion (Abdi et al., 2023; Mach et al., 2019).

1.5. BIBLIOMETRIC CONTEXT

Given the fragmented nature of research on political risk and climate change, bibliometric analysis is ideal for mapping this literature (Fan et al., 2022; Donthu et al., 2021). This systematic approach identifies trends, key topics, and field structures (Aria & Cuccurullo, 2017), revealing how research is distributed, what issues gain attention, and how scholarly networks form. By quantifying publication and citation patterns, bibliometrics uncovers hidden connections, complementing traditional reviews. For example, Fan et al. (2022) showed how bibliometric tools can synthesize thousands of climate studies, highlighting dominant themes and collaborations (Haunschild et al., 2016).

Existing bibliometric analyses have explored broad climate change trends (Fu and Waltman, 2022; Wang et al., 2018; Chen et al., 2023), climate change risk perception (Fan et al., 2022), and the intersection of sustainability and risk management (Nobanee et al., 2021). Studies have also scrutinized political connections (Ahmed and Hussainey, 2023) and risk management in foreign direct investment, including climate risks (Pan et al., 2022). Even specific areas like climate change education (Westphal et al., 2025) and migration (Milán-García, 2021;

Ghosh and Orchiston, 2022) have been analysed bibliometrically, revealing trends and gaps.

Despite these insights, a direct bibliometric analysis of the intersection between political risk and climate change is notably absent. Current studies either focus on broad climate change trends or political factors impacting economic outcomes (Chen et al., 2023; Nobanee et al., 2021). Therefore, this study aims to fill this critical gap. This research will be the first comprehensive bibliometric analysis to specifically address the intricate nexus of political risk and climate change. This study will explore how academics understand and research this complex relationship. It will highlight key themes, leading researchers, major publications, emerging trends, and future research areas, enhancing our grasp of this field.

2. OBJECTIVES

This study uses bibliometric analysis to map the evolving research on political risk and climate change. The objectives include identifying key publications, mapping the intellectual structure through co-citation and bibliographic coupling, and determining influential authors, institutions, and countries. We will also pinpoint main research themes via keyword analysis and explore temporal trends (Fan et al., 2022). This data-driven approach, unlike ad hoc searches, provides a comprehensive overview of the field's intellectual structure (Passas, 2024; Goerlandt & Li, 2022), highlighting research gaps (e.g., under-studied regions) and emerging trends (e.g., climate-related migration).

3. METHODOLOGY

The bibliometric analysis was based on the Scopus database, which was chosen for its broad, multidisciplinary journal coverage and high-quality, curated data (Passas, 2024). We searched Scopus for the Boolean query "climate change" AND ("political risk" OR "political instability") in the title, abstract, and keywords fields. The search was limited to publications dated 2000–2024 and included all document types (articles, reviews, conference papers, book chapters, etc.) to ensure comprehensive coverage. All languages and source types were included. The

search was executed in Scopus (retrieved January 2025), and the resulting records were exported in CSV format. This search returned a comprehensive dataset of climate-politics related publications, which was then subject to data cleaning and analysis.

All retrieved records were processed to remove duplicates and correct inconsistencies. Bibliographic entries were checked for duplicate entries and merged as needed. For example, Excel was used to remove exact-duplicate records. The cleaned dataset—comprising articles, reviews, proceedings, etc. on climate change and political risk/instability—was then prepared for bibliometric mapping. Records were formatted for import into VOSviewer, which supports Scopus CSV exports. In VOSviewer, we used, where appropriate, full-counting (default) for co-authorship and co-occurrence measures, and we applied a minimum occurrence threshold to filter out trivial nodes (e.g., requiring authors or keywords to appear in at least two documents).

Bibliometric mapping and visualization were conducted using VOSviewer (van Eck & Waltman, 2010). VOSviewer is a specialized tool for constructing and visualizing bibliometric networks (co-authorship, co-citation, co-occurrence, etc.) (Du et al., 2024). We generated three main networks. First, a co-authorship network of authors (and, separately, of countries/institutions) was created to reveal collaboration patterns. In VOSviewer, this was done by selecting “Co-authorship” analysis with units as authors (and separately as countries); edges represent shared publications. Clusters in the map indicate groups of researchers or countries that frequently collaborate. This follows standard practice for bibliometric collaboration analysis (Passas, 2024).

Second, a co-citation network of references (and of cited authors) was built to capture the intellectual structure of the field. We used VOSviewer’s “Co-citation” analysis (cited references as units), so that two papers are linked if they are cited together in the climate-politics literature. Clusters in the co-citation map reveal groups of foundational papers or authors that form sub-topics (Du et al., 2024). Co-citation analysis is a classic way to identify thematic linkages in science.

Third, a keyword co-occurrence network (co-word analysis) was mapped using the author keywords (and index keywords). In VOSviewer’s “Co-occurrence” analysis, each node is a keyword and links show how often two keywords appear together in the same documents. The resulting map highlights major research themes and their interrelations (van Eck & Waltman, 2010). For all networks, the VOS layout places strongly related items closer together, and cluster colours were used to indicate thematic groupings. Edge weights (link strengths) and node sizes (frequency of publications or citations) were also displayed in the visualizations.

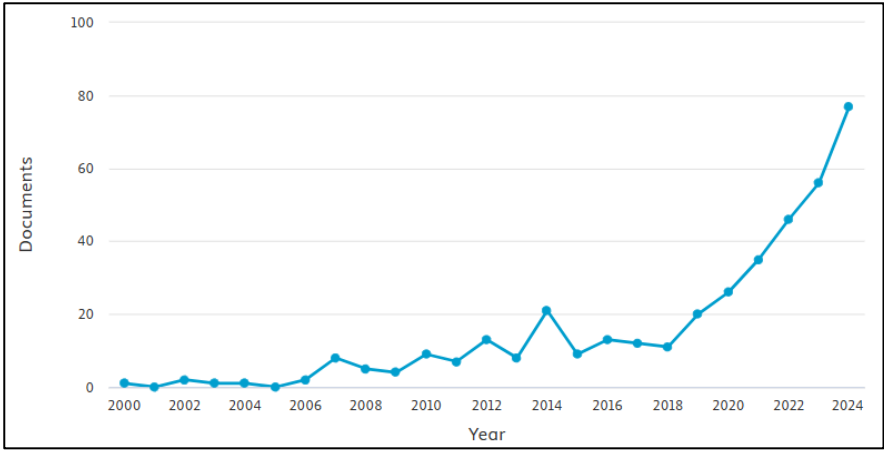
Throughout, we followed bibliometric best practices. For example, Passas (2024) recommends clearly defining objectives, cleaning data (removing duplicates and standardizing names), and choosing appropriate mapping techniques. In line with this, we systematically documented each step. We cite relevant protocols: for instance, Du et al. (2024) describe using VOSviewer to map co-authorship, co-citation, and keyword co-occurrence networks in bibliometric analysis. All VOSviewer maps were generated with default settings unless noted; network clusters were interpreted to identify core research fronts, key collaborations, and central concepts in the climate change–political risk literature.

4. RESULTS

4.1. PUBLICATION TRENDS

Figure 1 shows the annual output of publications on climate change and political risk. The field was nearly dormant in the early 2000s (fewer than 10 papers per year) but exhibits a sharp acceleration from about 2015 onward, with over 30 documents in 2022 and nearly 80 by 2024. This recent surge is consistent with broader analyses of climate literature: for example, Lindawati and Meiryani (2024) report that climate change vulnerability research “has grown rapidly” since 2006, and Fan et al. (2022) find that ~71% of climate-risk perception studies appeared in 2016–2022. Figure 1 thus confirms an exponential growth in interest, likely driven by global attention to climate impacts on stability.

FIGURE 1. *Documents per year*

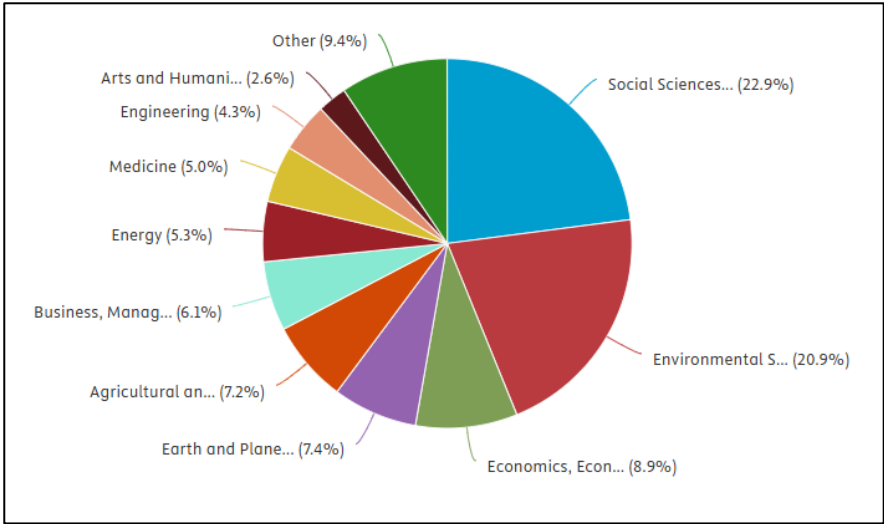


Source: Scopus

4.2. SUBJECT AREAS

Figure 2 shows the disciplinary distribution of the retrieved documents. Social Sciences (22.9%) and Environmental Science (20.9%) are the largest categories, reflecting the dual nature of “climate change and political risk” as both a societal and environmental issue. Economics/Finance (8.9%), Earth & Planetary Sciences (7.4%), and Agricultural/Biological Sciences (7.2%) also have substantial shares. Other represented fields include Business/Management (6.1%), Energy (5.3%), Medicine (5.0%), Engineering (4.3%), and Arts/Humanities (2.6%), with the remainder (9.4%) in miscellaneous areas. This broad spread underscores that climate-risk research is highly interdisciplinary. Indeed, bibliometric analyses of climate research note that in recent decades all areas of science have engaged with climate issues – especially engineering and the social sciences, which show the fastest growth. For example, Haunschild et al. (2016) found that social-science and engineering fields “show the strongest field-specific relative increase” in climate research. The prominence of social sciences here is likely due to the political and human dimensions of climate risk (policy, migration, governance), while environmental and earth science categories reflect the climate data and modeling underpinning such studies.

FIGURE 2. Documents by subject area

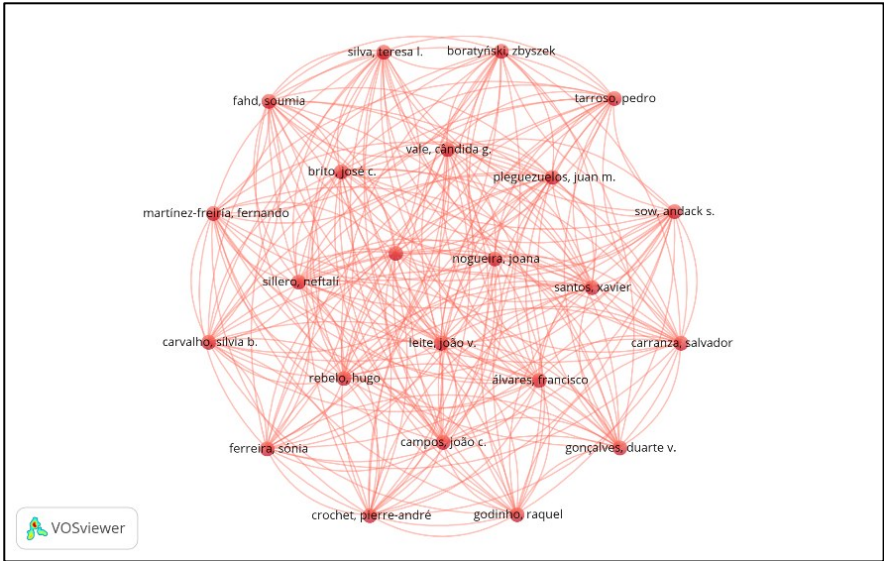


Source: Scopus

4.3. CO-AUTHORSHIP AND COLLABORATION NETWORKS

The author co-authorship network (Figure 3) reveals the collaborative structure of the field. A single large cluster of authors (red nodes) dominates, indicating that many researchers form an interconnected community. Central nodes (larger circles) include authors such as Joana Nogueira, João V. Leite, Cândida G. Vale, Xavier Santos, Teresa L. Silva, and Silvia B. Carvalho among others (Figure 4). These individuals have many co-authorship links, suggesting they are key collaborators. Other notable connected authors are Fernando Martínez-Freiría, Hugo Rebelo, Pedro Tarroso, and Zbigniew Boratyński. The tightness of this cluster indicates a highly collaborative network, which is typical in emerging interdisciplinary fields. The use of VOSviewer (van Eck & Waltman, 2010) to map co-authorship makes it clear that a core group of researchers is driving the literature, often within the same regional or linguistic communities (the Portuguese-speaking cluster is especially evident). This pattern – a dense co-authorship network – is expected in a specialized topic and facilitates rapid knowledge exchange among leading groups.

FIGURE 3. Co-authorship, authors, minimum documents per author 1, minimum citations 100



Source: VOSviewer

4.4. CITATION AND SOURCE ANALYSIS

Table 1 lists the top sources ranked by citations received. The Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) leads with 476 citations, followed by Marine Policy (423) and Global Environmental Change (341). Other highly cited journals include Geoforum (316), Environmental Science and Pollution Research (304), Climatic Change (286), and Energy Policy (208). These journals span general science (PNAS), policy (e.g. Energy Policy, Marine Policy), and environmental science (e.g. Global Environ Change, Climatic Change). The presence of Climatic Change in the top ranks is noteworthy; Fan et al. (2022) also identified Climatic Change as the single most dominant journal in climate risk-perception research, and Haunschild et al. (2016) similarly found it a top outlet in climate bibliometrics. That these sources are highly cited here indicates that political-risk studies draw on both broad multidisciplinary outlets (PNAS, Energy Policy) and specialized climate/environmental journals.

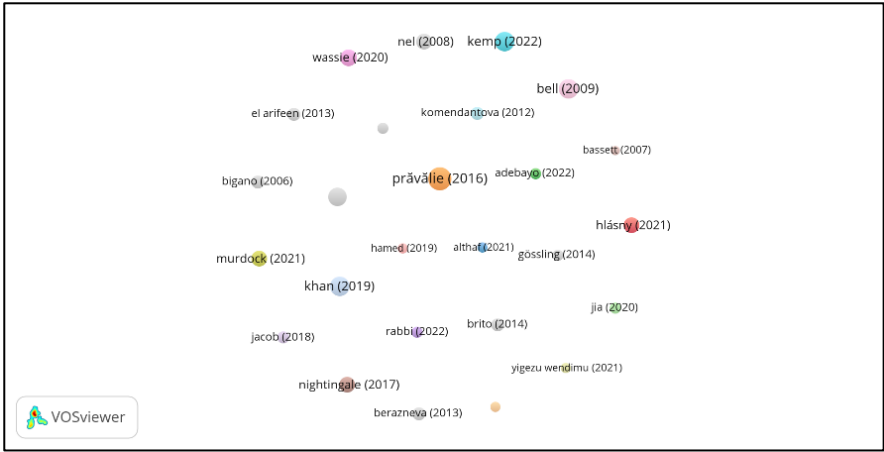
TABLE 1. *Citation, source, minimum documents per source 2*

Source	Citations
Proceedings of the national academy of science of USA	476
Marine policy	423
Global environmental change	341
Geoforum	316
Environmental science and pollution rsearch	304
Climatic change	286
Energy policy	208
Journal of cleaner production	153
Journal of environmental management	109
Environmental science and policy	104
Proceedings of the national academy of science of USA	476

Source: Own work

Figure 4 depicts a citation map of highly cited documents (nodes are publications with ≥ 100 citations). The largest node is Právělie (2016) (orange, centre), indicating it is the most-cited work in our set. Other prominent nodes include Khan (2019) and Hlásny (2021) (blue and red nodes), Murdock (2021) (yellow), Bell (2009) (pink), as well as foundational works like Nel (2008) (green cluster) and Nightingale (2017) (violet node). The coloured clusters hint at thematic groups: for example, the green cluster around Nel (2008) relates to likelihood of political instability due to natural disasters, while the red cluster (including Hlásny (2021), Bell (2009)) pertains to the challenge of managing vital natural resources in the face of increasing pressures, including population growth and, significantly, the exacerbating effects of climate change. The blue cluster around Právělie (2016) focuses on how climate change, particularly through altered temperature and precipitation regimes, is fundamentally reshaping Earth's environments and posing significant challenges for both natural and human systems. In summary, Figure 4 highlights that both recent studies (2020–2022) and established reviews (2006–2009) are highly cited, forming an interconnected intellectual foundation. Identifying these key papers aligns with bibliometric best practices: high-citation nodes often reveal seminal works and emerging research fronts (Donthu et al., 2021).

FIGURE 4. Citation, documents, minimum 100 citations



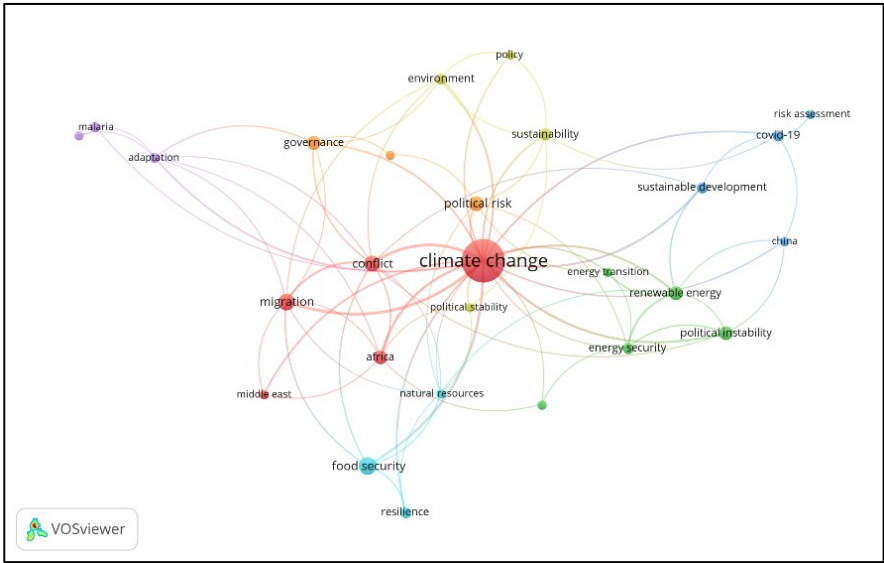
Source: VOSviewer

4.5. TERM AND KEYWORD CO-OCCURRENCE MAPS

Term co-occurrence (Figure 5) was based on abstract text, revealing the main topics (nodes) and their connections. Three coloured clusters emerge. The green cluster (left) centres around “political instability” (large green node) and links to terms like “drought,” “agriculture,” “population,” “food insecurity,” and “Africa.” This cluster reflects a theme of climate impacts on livelihoods and instability, linking population and food-security issues in developing regions. The red cluster (right) centres on “political risk” and closely linked terms such as “policy,” “model,” “analysis,” “government,” and “article.” These nodes suggest a theme focused on risk modeling, policy analysis, and governance. A blue cluster (bottom) includes the term “process” along with “technology,” “opportunity,” “demand,” and “concern.” This may correspond to discussions of adaptation processes, technological innovation, and economic factors. In sum, the term map highlights three thematic pillars: (1) instability and socio-environmental factors (green), (2) risk/policy analysis (red), and (3) processes and technology in adaptation/economy (blue).

“political instability” as hub terms underscores the field’s dual focus on environmental change and governance. Bibliometrically, keyword co-occurrence is interpreted as marking research themes, and our maps clearly delineate the conceptual structure of the literature.

FIGURE 6. Co-occurrence of keywords, based on author words, minimum co-occurrence of 5



Source: VOSviewer

Collectively, these analyses reveal that the climate change–political risk literature is rapidly expanding, highly interdisciplinary, and organized into coherent thematic clusters. The upward publication trend (Fig. 1) and journal outlets (Table 1) show growing attention from both social and environmental sciences. Collaboration is concentrated among core author groups (Fig. 3), while the citation map (Fig. 4) identifies the foundational studies. Finally, term and keyword networks (Figs. 5–6) visualize the domain’s intellectual structure, highlighting major topics such as instability, policy analysis, and energy transition. These patterns – of publication growth, collaboration networks, and thematic clustering – are characteristic of an emerging research field. The bibliometric evidence thus provides a comprehensive picture of how climate–political risk research has developed and where its focal points lie.

5. DISCUSSION AND IMPLICATIONS

The bibliometric analysis was based on the Scopus database, which was chosen for its broad, multidisciplinary journal coverage and high-quality, curated data

The results of this bibliometric study have important implications for researchers, policymakers, and professionals.

For researchers, the cross-disciplinary aspects and fragmentation within bibliographic coupling indicate that more theoretical integration is required. Existing theories will be simplistic (i.e., overly reductionist) towards understanding this nexus at present, tending to illuminate only certain features of the climate-political nexus, while failing to understand the nuanced character of feedback loops and interaction between the multiple dimensions of risk. Future theoretical advancement needs to pursue integrated models that connect to disparate bodies of theory, including environmental science understandings of climate impacts, political science theories of governance, conflict, and policy-making, and economic models of resource scarcity and adaptation costs. Initiatives such as "riscscapes" (Müller-Mahn et al., 2020) can provide a promising basis for such integrative theoretical approaches by focusing on the dynamic interplay among several risks in specific socio-political settings. Finally, there is scope for theories centring on the politics of climate policy dismantling and weakening (Schaub et al., 2024), in terms of political ideologies, organised interests, and populist.

For practitioners in international development, humanitarian aid and risk management, the research findings articulate the urgent requirement for climate change to be mainstreamed as a key consideration in political risk assessments. Traditional political risk analysis typically concentrates on factors such as political stability, governance quality, and geopolitical tensions. However, the growing impact of climate change needs a more complex approach. Health practitioners should incorporate vulnerability assessments related to climate change into their risk assessment frameworks. These assessments should include projections of the potential impacts of climate change, along with associated social and economic stressors. Gaining insights into the pathways of

how climate change creates triggers that reinforce existing fragilities, such as resource scarcity and migration (Abel et al., 2019; Han and Kirabaeva, 2024) is critical for the identification of robust strategies addressing risk mitigation and adaptation. For business and investors, the increased politicization of climate change and ESG-related issues (Harper Ho, 2018) reveals the need to formulate intelligent political risk management strategies that move beyond environmental due diligence towards an assessment of the political feasibility and durability of climate-related policies and investments.

For policymakers, the increasing number of studies highlights the need for climate change to become fully integrated into political risk assessments and policy development processes.

Climate change can no longer be conceptualized as a merely environmental issue - it is a hazard that has the potential to destabilize political systems, to escalate conflict, and to destabilize governance systems (Crendo, 2022; Müller-Mahn et al., 2020). This demands a broader reconfiguration of policy frameworks that need to address the political aspects of climate change more explicitly. The cross-cutting and interconnected nature of the research calls for an integrated policy response that transcends the traditional sectoral silos. Political risks related to climate change require the cooperation of environmental agencies, foreign ministries, defence departments, development agencies, and related institutions. Policymakers should encourage inter-agency cooperation and should create national climate security strategies that incorporate climate adaptation and mitigation with wider security and development objectives.

Politicians in vulnerable areas must now plan ways to build local resilience to the effects of climate change, climate-induced migration, and food and water insecurity to avoid social instability and war. For these efforts, as Abel et al. (2019) suggest, international cooperation is necessary, not only for funding and technical support for climate adaptation, but also for establishing regional mechanisms to manage migration related to climate change (Han and Kirabaeva, 2024). Studies examining political determinants of climate action and inaction reveal the difficulties policymakers face in developing effective climate initiatives (Schaub et al., 2024; Santos et al., 2022). The influence of vested interests

becomes evident, as factors such as ideological division, short-term political strategies, and ambitious actions come into play. Policymakers will have to find ways to overcome these political barriers by building greater public backing for action on climate, by adopting a more inclusive approach to dealing with the multiple stakeholders involved, and by accommodating the interests of those who lose out from climate policies. The notion of collective responsibility for climate action, which has been proposed in discussion and may be supported by certain research (Syropoulos et al., 2025), could be a fruitful target. In addition, the analysis on geoeconomic decoupling (Aiyar et al., 2023) presents effects that have implications for global climate discussions and cooperation. But the real task now is for policymakers to explore how to navigate geopolitical rivalries and move toward effective multilateral action around climate mitigation and adaptation. And that could include forging new paths for international cooperation, creating like-minded coalitions of countries and tackling the root causes of geoeconomic fragmentation.

The tight coupling of policy and governance-related words in the above results emphasizes the importance of containing the political risk of climate change on policy. Policymakers must acknowledge that climate change is not only an environmental problem; it also strongly contributes to political instability and violence (Credendo, 2022; Müller-Mahn et al., 2020). This insight needs to be considered when it comes to developing and implementing climate policies or foreign policy strategies. International collaboration is needed to respond to climate-related security risks like climate-induced migration and resource-induced conflict. But it also suggests the threats implicit in geoeconomic fragmentation (Aiyar et al., 2023), which could prevent useful multilateral co-operation. Policymakers should consider how to tackle these barriers and encourage more international cooperation on climate change prevention and adaptation. At home, policymakers must overcome the politics of climate action, such as ideological polarization and the power of vested interests (Schaub et al., 2024; Santos et al., 2022). Presenting climate action as a collective responsibility and as having long-term benefits could help to forge political consensus at a higher level (Syropoulos et al., 2025)

6. CONCLUSIONS

The results indicate a growing field, particularly since the mid-2010s, influenced by increasing global focus on the relationship between climate stress and political instability. The literature argues compellingly that climate change acts as a threat, causing resource scarcity, destabilizing governance, and increasing the potential for social unrest and violent conflict. Simultaneously, political risk—manifested in weak institutions, conflict-prone areas, or governance gaps—can severely limit climate adaptation and mitigation efforts. This relationship is thus reciprocal, forming a feedback loop that intensifies both environmental and political fragilities.

Environmental stressors are no longer solely humanitarian or ecological concerns; they are now recognized for their capacity to destabilize states, escalate geopolitical competition, and challenge military planning. The findings also illustrate how climate-induced migration occurs through both direct and indirect channels. While extreme weather events cause immediate displacement, slow-onset events like drought and desertification gradually erode livelihoods, leading to rural-urban and, in many contexts, international migration. These movements are mediated by political context: states with weak institutions often cannot support internally displaced persons or manage cross-border mobility. The study supports the view that migration is not merely a crisis to be managed but a possible coping strategy, necessitating inclusive and forward-looking policy frameworks that respect human rights and enable safe, orderly movement.

International institutions like the United Nations and multilateral development banks, alongside regional security alliances, should establish cross-sectoral platforms integrating climate risk into political risk monitoring. National governments must embed climate policies across all relevant departments, including defence, interior, and migration ministries, rather than siloing them within environmental agencies. Additionally, critical infrastructure sectors—from energy and logistics to telecommunications and insurance—must climate-proof operations and coordinate resilience efforts with state actors.

Academics and policymakers must increase research in underrepresented geographies and foster stronger alliances among scientists, practitioners, and policymakers. Tools like integrated risk assessment models, early warning systems, and predictive analytics are technologically viable, but their effectiveness depends on political buy-in and institutional confidence. Similarly, civil society and humanitarian stakeholders need support to lead community-based adaptation and mobility actions, particularly in conflict-sensitive settings.

Ultimately, the convergence of environmental and political risks demands a re-evaluation of traditional policy boundaries. Environmental stability is intrinsically linked to political stability; neither can exist without the other. This dual threat requires systemic governance, forward planning, and a willingness to engage in difficult political discussions about fairness, accountability, and long-term resilience. As climate change accelerates and its overlap with political risk becomes more pronounced, a lack of synchronized responses risks entrenching cycles of crisis. By implementing coordinated, inclusive, and forward-thinking strategies, the identified dangers can be transformed into opportunities for systemic resilience and peace.

7. REFERENCES

- Abdi, A. H., Ali, A. A., & Sugow, M. O. (2023). Exploring the effects of climate change and government stability on internal conflicts: Evidence from selected Sub-Saharan African countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 118468–118482. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30574-w>
- Abel, G. J., Brottrager, M., Cuaresma, J. C., & Muttarak, R. (2019). Climate, conflict and forced migration. *Global environmental change*, 54, 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.12.003>
- Ahmed, F., & Hussainey, K. (2023). A bibliometric analysis of political connections literature. *Review of Accounting and Finance*, 22(2), 206–226. <https://doi.org/10.1108/RAF-11-2022-0306>
- Aiyar, M. S., Chen, M. J., Ebeke, C., Ebeke, M. C. H., Garcia-Saltos, M. R., Gudmundsson, T.,... & Trevino, M. J. P. (2023). *Geo-economic fragmentation and the future of multilateralism*. International Monetary Fund. <https://doi.org/10.5089/9798400229046.006>

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). *bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis*. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
<https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Arnall, A. (2023). Climate change and security research: Conflict, securitisation and human agency. *PLOS Climate*, 2(11), e0000072.
<https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000072>
- Beacham, A., Hafner-Burton, E. M., & Schneider, C. J. (2024). *Climate Change, Political Conflict, and Democratic Resilience*. UC San Diego: University of California Institute on Global Conflict and Cooperation. Working Paper No 11 Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/4wd7x7jv>
- Bell, J. D., Kronen, M., Vunisea, A., Nash, W. J., Keeble, G., Demmke, A., Pontifex, S., & Andréfouët, S. (2009). Planning the use of fish for food security in the Pacific. *Marine Policy*, 33(1), 64–76.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.04.002>
- Betzold, C., & Weiler, F. (2017). Allocation of aid for adaptation to climate change: Do vulnerable countries receive more support? *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 17(1), 17–36.
<https://doi.org/10.1007/s10784-016-9343-8>
- Buhaug, H., Nordkvelle, J., & Aune, T. K. (2014). Climate variability, food production shocks, and violent conflict in Sub-Saharan Africa. *Environmental Research Letters*, 10(12), 125015. 10.1088/1748-9326/10/12/125015
- Chen, M., Yao, T., & Wang, K. (2023). The economic impact of climate change: a bibliometric analysis of research hotspots and trends. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(16), 47935–47955.
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-25721-2>
- Climate Home News. (2025, March 18). “Forgotten” fragile states unite to end climate-finance blind spot. *Climate Home News*.
<https://www.climatechangenews.com/2025/03/18/forgotten-fragile-states-unite-to-end-climate-finance-blind-spot/>
- Coronati, J., & Jallat, F. (2020). *Understanding the importance of political risk today: Insights for thriving in a global, unstable, turbulent landscape*. ESCP Business School. <https://academ.escpeurope.eu/pub/IP2024-30%20Jallat-Coronati.pdf>
- Credendo. (2022, March 24). Climate change increases social-political and geopolitical risks in the medium to long term.
<https://credendo.com/en/knowledge-hub/climate-change-increases-social-political-and-geopolitical-risks-medium-long-term>

- Cullum, R. (2024). Making a World of Climate Insecurity: The Threat Multiplier Frame and the US National Security Community. *Global Studies Quarterly*, 4(4), ksae085. <https://doi.org/10.1093/isagsq/ksae085>
- Detges, A. (2017). Climate and conflict: Reviewing the statistical evidence. *Climate Diplomacy Report*, Berlin, Germany.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). *How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines*. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Du, Q., Zhao, R., Wan, Q., Li, S., Li, H., Wang, D., Ho, C. W., Dai, Z., Chen, Y., & Shan, D. (2024). Protocol for conducting bibliometric analysis in biomedicine and related research using CiteSpace and VOSviewer software. *STAR Protocols*, 5(3), 103269. <https://doi.org/10.1016/j.xpro.2024.103269>
- Fan, J., Liu, G., Xia, Z., & Cai, S. (2022). A bibliometric analysis of climate change risk perception: Hot spots, trends and improvements. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 917469. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.917469>
- Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. (2021, March 18). *Climate change-related disasters a major threat to food security*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/Climate-Change-Related-Disasters-a-Major-Threat-to-Food-Security-FAO/en>
- Fu, H. Z., & Waltman, L. (2022). A large-scale bibliometric analysis of global climate change research between 2001 and 2018. *Climatic Change*, 170(3), 36. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03324-z>
- Ghosh, R. C., & Orchiston, C. (2022). A systematic review of climate migration research: gaps in existing literature. *SN Social Sciences*, 2(5), 47. <https://doi.org/10.1007/s43545-022-00341-8>
- Giovanis, E., & Ozdamar, O. (2025, January 21). *The impact of climate change and resource scarcity on conflict in MENA*. Economic Research Forum. <https://theforum.erf.org.eg/2025/01/20/the-impact-of-climate-change-and-resource-scarcity-on-conflict-in-mena/>
- Goerlandt, F., & Li, J. (2022). Forty years of risk analysis: A scientometric overview. *Risk Analysis*, 42(10), 2253–2274. <https://doi.org/10.1111/risa.13853>
- Han, Y., & Kirabaeva, K. (2024). Climate Change Vulnerabilities and Strategies: The Gambia. *IMF Selected Issues Paper*, 2024(005).
- Harper Ho, V. (2018). Nonfinancial risk disclosure and the costs of private ordering. *American Business Law Journal*, 55(3), 407–474. <https://doi.org/10.1111/ablj.12123>

- Haunschild, R., Bornmann, L., & Marx, W. (2016). Climate Change Research in View of Bibliometrics. *PLOS ONE*, 11(7), e0160393. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160393>
- Hedlund, J. (2023). The politics of climate risk assessment. *npj Climate Action*, 2, 48. <https://doi.org/10.1038/s44168-023-00078-x>
- Henrico, I., & Doboš, M. (2024). Shifting sands: The geopolitical impact of climate change on Africa's resource conflicts. *South African Geographical Journal*, 106(2), 2441116. <https://doi.org/10.1080/03736245.2024.2441116>
- Hlásny, T., König, L., Krokene, P., Lindner, M., Montagné-Huck, C., Müller, J., Qin, H., Raffa, K. F., Reif, A., Routa, J., Schelhaas, M.-J., Schuck, A., Seidl, R., & Stereńczak, K. (2021). Bark beetle outbreaks in Europe: State of knowledge and ways forward for management. *Current Forestry Reports*, 7(2), 138–165. <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00142-x>
- Homer-Dixon, T. F. (1994). Environmental scarcities and violent conflict: Evidence from cases. *International Security*, 19(1), 5–40. <https://doi.org/10.2307/2539147>
- Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC). (2023). *Global Report on Internal Displacement 2023*. Norwegian Refugee Council. <https://www.internal-displacement.org/global-report/grid2023/>
- Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R., & Kushnir, Y. (2015). Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *PNAS*, 112(11), 3241–3246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112>
- Keohane, R. O., & Victor, D. G. (2011). The regime complex for climate change. *Perspectives on Politics*, 9(1), 7–23. <https://doi.org/10.1017/S1537592710004068>
- Khan, S. A. R., Sharif, A., Golpîra, H., & Kumar, A. (2019). A green ideology in Asian emerging economies: From environmental policy and sustainable development. *Sustainable development*, 27(6), 1063–1075. <https://doi.org/10.1002/sd.1958>
- Kobrin, S. J. (1979). Political risk: A review and reconsideration. *Journal of International Business Studies*, 10(1), 67–80. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8490631>
- Lindawati, A. S. L., & Meiryani. (2024). A bibliometric analysis on the research trends of global climate change and future directions. *Cogent Business & Management*, 11(1), Article 2325112. <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2325112>

- Mach, K. J., Kraan, C. M., Adger, W. N., Buhaug, H., Burke, M., Fearon, J. D., Field, C. B., Hendrix, C. S., & Maystadt, J.-F. (2019). Climate as a risk factor for armed conflict. *Nature*, 571(7764), 193–197. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1300-6>
- Marston, A. (2019). *Navigating and adapting to political risk and uncertainty in conservation*. Conservation Measures Partnership. <https://www.conservationstandards.org/wp-content/uploads/2020/10/Navigating-and-Adapting-to-Political-Risk-and-Uncertainty-in-Conservation-CMP-Dec-19-Final-2.pdf>
- Milán-García, J., Caparrós-Martínez, J. L., Rueda-López, N., & de Pablo Valenciano, J. (2021). Climate change-induced migration: a bibliometric review. *Globalization and health*, 17(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s12992-021-00722-3>
- Müller-Mahn, D., Moure, M., & Gebreyes, M. (2020). Climate change, the politics of anticipation and future risks in Africa. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 13(2), 343–362. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsaa013>
- Murdock, B. E., Toghiani, K. E., & Tapia-Ruiz, N. (2021). A perspective on the sustainability of cathode materials used in lithium-ion batteries. *Advanced Energy Materials*, 11(39), 2102028. <https://doi.org/10.1002/aenm.202102028>
- National Intelligence Council. (2021, March). *Global Trends 2040: A More Contested World*. Office of the Director of National Intelligence. https://www.dni.gov/files/ODNI/documents/assessments/GlobalTrends_2040.pdf
- Nightingale, A. J. (2017). Power and politics in climate change adaptation efforts: Struggles over authority and recognition in the context of political instability. *Geoforum*, 84, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.05.011>
- Nobanee, H., Al Hamadi, F. Y., Abdulaziz, F. A., Abukarsh, L. S., Alqahtani, A. F., AlSubaey, S. K., Alqahtani, S. M., & Almansoori, H. A. (2021). A Bibliometric Analysis of Sustainability and Risk Management. *Sustainability*, 13(6), 3277. <https://doi.org/10.3390/sul3063277>
- Oh, C. H., & Oetzel, J. (2011). Multinationals' response to major disasters: how does subsidiary investment vary in response to the type of disaster and the quality of country governance?. *Strategic Management Journal*, 32(6), 658–681. <https://doi.org/10.1002/smj.904>
- Pan, L., Wang, L., & Feng, Q. (2022). A bibliometric analysis of risk management in foreign direct investment: insights and implications. *Sustainability*, 14(12), 7078. <https://doi.org/10.3390/sul4127078>

- Passas, I. (2024). Bibliometric analysis: The main steps. *Encyclopedia*, 4(2), 1014–1025. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065>
- Prăvălie, R. (2016). Drylands extent and environmental issues. A global approach. *Earth-Science Reviews*, 161, 259–278. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.003>
- Santos, F. D., Ferreira, P. L., & Pedersen, J. S. T. (2022). The climate change challenge: A review of the barriers and solutions to deliver a Paris solution. *Climate*, 10(5), 75.. <https://doi.org/10.3390/cli10050075>
- Savelli, A., Schapendonk, F., Dutta Gupta, T., Pacillo, G., & Läderach, P. (2023). Climate change, mobility and violent conflict: a typology of interlinked pathways. *International Development Planning Review*, 45(4), 403–436. <https://doi.org/10.3828/idpr.2023.2>
- Savelli, A., Schapendonk, F., Sarzana, C., Dutta Gupta, T., Caroli, G., Duffy, M., de Brauw, A., Thornton, P., Pacillo, G., & Läderach, P. R. (2022). *The Climate Security-Mobility Nexus: Impact Pathways and Research Priorities*. Position Paper No. 2022/2. CGIAR FOCUS Climate Security. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/117589>
- Schaub, S., Tosun, J., & Jordan, A. J. (2024). Climate Action through Policy Expansion and/or Dismantling: Country-Comparative Insights: An Introduction to the Special Issue. *Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 26(3–4), 215–232. <https://doi.org/10.1080/13876988.2024.2369640>
- Sitati, A., Joe, E., Pentz, B., Grayson, C., Vinh, T. N., & Jones, L. (2021). Climate change adaptation in conflict-affected countries: A systematic assessment of evidence. *Discover Sustainability*, 2, 42. <https://doi.org/10.1007/s43621-021-00052-9>
- Syropoulos, S., Law, K. F., Kraft-Todd, G., Mah, A., Markowitz, E., & Young, L. (2025). Responsibility to future generations: A strategy for combatting climate change across political divides. *British Journal of Social Psychology*, 64(1), e12775. <https://doi.org/10.1111/bjso.12775>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). *Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping*. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vanhala, L., Calliari, E., & Thomas, A. (2023). Understanding the politics and governance of climate change loss and damage. *Global Environmental Politics*, 23(3), 1–11. https://doi.org/10.1162/glep_e_00735
- von Uexkull, N., & Buhaug, H. (2021). Security implications of climate change: A decade of scientific progress. *Journal of Peace Research*, 58(1), 3–17. <https://doi.org/10.1177/0022343320984210>

- Von Uexkull, N., Buhaug, H., Croicu, M., & Fjelde, H. (2016). Civil conflict sensitivity to growing season drought. *PNAS - Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(44), 12419–12424. <https://doi.org/10.1073/pnas.1607542113>
- Wang, Z., Zhao, Y., & Wang, B. (2018). A bibliometric analysis of climate change adaptation based on massive research literature data. *Journal of cleaner production*, 199, 1072-1082. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.183>
- Westphal, A., Kranz, J., Schulze, A., Schulz, H., Becker, P., & Wulff, P. (2025). Climate change education: Bibliometric analysis of the Status-Quo and future research paths. *The Journal of Environmental Education*, 1-20.
- World Health Organization & United Nations Children's Fund (WHO/UNICEF). (2023). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: Special focus on gender*. <https://washdata.org/reports/jmp-2023-wash-households>
- World Meteorological Organization (WMO). (2023, May 22). *Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water-related hazards (1970-2021)*. <https://wmo.int/publication-series/atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-related-hazards-1970-2021>

EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN EL SECTOR ASEGURADOR:
*ANÁLISIS DE SU IMPACTO EN EL RAMO
NO VIDA CON MACHINE LEARNING*

FREDDY OQUENDO

Universidad Complutense de Madrid

MARÍA JESÚS SEGOVIA VARGAS

Universidad Complutense de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la frecuencia y severidad de fenómenos relacionados con el cambio climático, como huracanes, inundaciones, incendios forestales y sequías, plantean profundos retos a las sociedades y economías de todo el mundo. En este contexto, el sector asegurador desempeña un papel fundamental en la gestión y mitigación de las consecuencias financieras de los riesgos climatológicos. Al transferir el riesgo de los particulares y las empresas a las aseguradoras, los seguros no sólo proporcionan una red de seguridad financiera, sino que también promueven estrategias proactivas de reducción de riesgos y adaptación. Además, los modelos actuariales utilizados en los procesos de gestión de riesgos generan información valiosa sobre la dinámica evolutiva de los peligros climáticos, apoyando así la formulación de políticas basadas en pruebas y la toma de decisiones estratégicas entre las partes interesadas de los sectores vulnerables.

Furman et al. (2019) definen el riesgo como la desviación de las condiciones previstas o, más exactamente, la probabilidad de que se produzcan perturbaciones significativas en el funcionamiento normal de una comunidad o sociedad en un plazo específico. Estas perturbaciones son el resultado de la interacción entre fenómenos físicos peligrosos y

condiciones socialmente vulnerables, que provocan graves pérdidas humanas, materiales, económicas o medioambientales. Esta definición pone de relieve la naturaleza multidimensional de las catástrofes y subraya la importancia de comprender la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad para evaluar el riesgo de forma exhaustiva.

De acuerdo con lo anterior, la presente investigación trata de medir el impacto del riesgo de variables climáticas en seguros de no vida, concretamente, el estudio se centra en los seguros de hogar. En línea con lo anterior, se puede mencionar que, entre las diversas amenazas emergentes, los riesgos de sostenibilidad, en particular los relacionados con el cambio climático, han tenido repercusiones cada vez más tangibles en el sector de los seguros. En 2022, las aseguradoras cubrieron aproximadamente el 45% del total mundial de pérdidas económicas debidas a catástrofes naturales, por un importe estimado de 125.000 millones de dólares. En los últimos seis años, las pérdidas económicas por este tipo de sucesos han crecido anualmente entre un 5% y un 7%, impulsadas por la expansión urbana, el desarrollo económico y el crecimiento demográfico en zonas de alto riesgo (Swiss Re, 2023).

En el sector asegurador pueden plasmarse diferentes tipos de riesgos climatológicos. Según el Banco de Inglaterra (2019), el cambio climático puede concretarse en riesgos físicos y riesgos de transición. En cuanto a los riesgos físicos, surgen de la creciente frecuencia y severidad de cambios medioambientales o cambios climáticos. Así, estos eventos mencionados pueden relacionarse con las propiedades, las infraestructuras, los cambios en producción agrícola e, incluso, podrían afectar a la pérdida de vidas. Por lo cual, estos riesgos afectan directamente a las entidades financieras impactando en sus activos y, específicamente, en las aseguradoras provocaría riesgos por el lado de sus pasivos. De este modo, los efectos en el sector asegurador se concretarían en la tarificación o en las reservas debido a variaciones en los perfiles de riesgo de los asegurados y a cambios en la mortalidad que darían lugar a cambios en las tendencias demográficas (IAIS, 2018).

Según Ancos (2015) dentro de la industria aseguradora, todos los segmentos tienen un cierto grado de vulnerabilidad debido a la probabilidad de los cambios climáticos y de los daños medioambientales ya que

estos cubren los daños en la propiedad (infraestructuras, automóviles, embarcaciones marítimas, industria aeronáutica); cosechas y ganado; responsabilidades derivadas de la contaminación; interrupciones en los negocios; disrupciones en la cadena de valor o pérdidas de utilidad de un servicio; daños al equipamiento derivados de temperaturas extremas; pérdidas de datos derivadas de cortes o subidas de tensión y un espectro de consecuencias para la vida y la salud. Sin embargo, también menciona que, de acuerdo con los impactos ambientales, los productos de seguro que más se verán afectados son los seguros de propiedad seguidos de las líneas de seguros agrícolas, de ingeniería, marítimos, de aviación y de transporte.

Por otro lado, los riesgos catalogados como de transición podrían surgir del ajuste de políticas públicas hacia la bioeconomía. Según Mohamadian (2005), la bioeconomía será la futura base para una sociedad sostenible en donde se tome en cuenta la importancia del capital biológico o medioambiental, al contrario de la economía actual que se basa en la competitividad empresarial, afectando a los recursos naturales. Esta transición, requerirá cambios estructurales significativos en la economía lo que provocará una reevaluación de los valores de ciertos activos, un cambio en los precios de bienes primarios y una caída en los ingresos y la solvencia de prestatarios. En una entidad aseguradora, esta transición podría impactar en los riesgos de mercado debido a posibles contracciones de la demanda en sectores específicos o, a su vez, se podrían ver afectados en el cambio de los precios de activos financieros.

Uno de los inconvenientes en el tema de la asegurabilidad en el caso de impactos medioambientales es que, si bien la industria acepta el aseguramiento de un riesgo, éste está determinado por los límites del conocimiento en el momento de su aseguramiento. Este hecho puede dar lugar a que, con posterioridad, ocurra que, bien los parámetros o bien la magnitud del riesgo, sean muy diferentes de los utilizados para el aseguramiento y para el establecimiento de su precio. En consecuencia, es de gran importancia una correcta medición de los riesgos derivados de fenómenos ambientales y su adecuada predicción. En este sentido, se vuelve primordial el estudio tanto de la frecuencia de siniestros

asociados al cambio climático como el coste medio de dichos siniestros para estimar a futuro su impacto en una determinada cartera.

En línea con lo mencionado, la medición de los riesgos financieros asociados a cambios climáticos puede ser compleja debido a que su medición implica evaluar el efecto de múltiples impactos, tanto físicos como de transición, y, en consecuencia, es muy importante su análisis y estudio. Por lo tanto, se requieren nuevas herramientas y enfoques para medir y comprender dichos riesgos. De este modo, el objetivo general de esta investigación consiste en analizar el impacto del riesgo físico en una cartera de seguros de hogar y medir en términos económicos cuanto representa el efecto del cambio climático a futuro, mediante la aplicación de diferentes escenarios. Para lograr este objetivo, se plantea un modelo basado en metodologías de aprendizaje automático para estimar el impacto medio ambiental tanto en términos de frecuencia como de severidad de siniestros y, a partir de esta predicción, medir el impacto en términos monetarios por zona geográfica.

Adicionalmente, se busca implementar diferentes maneras de medición del riesgo ambiental ya que según García (2020) es habitual considerar a las contingencias de sostenibilidad de manera diferente del resto de contingencias. Esto es así ya que se tratan de amenazas sobre las que no existe experiencia previa y cuyos efectos pueden manifestarse en el largo plazo. Su tratamiento debe ser diferente al utilizado habitualmente que se basa en un histórico de impactos y orientado al corto plazo. Así que, aunque se gestionen junto al resto de riesgos se requiere el uso de técnicas específicas, como por ejemplo el análisis de escenarios (junto con stress test) o la inclusión de un enfoque hacia el largo plazo en su gestión.

2. MEDICIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO EN SEGUROS

De acuerdo con el Reglamento delegado (UE) 2021/1256 el riesgo de sostenibilidad se define como: “Todo acontecimiento o estado medioambiental, social o de gobernanza que, de ocurrir, pudiera surtir un efecto material negativo real o posible sobre el valor de la inversión o en el valor del pasivo”.

El efecto de este riesgo ya sea en el pasivo o activo conllevará la aparición de una serie de riesgos conocidos como riesgos físicos y riesgos de transición. Los riesgos de transición se derivan de: cambios regulatorios (límites a las emisiones de carbono); tecnológicos que son necesarios para alcanzar el objetivo de descarbonización fijados en el acuerdo de París; riesgos políticos que se relacionan con la futura normativa que podría imponer nuevos requisitos (como la eficiencia energética o mecanismos de fijación de precios del carbono que aumenten el coste de los combustibles fósiles); el denominado riesgo de sentimiento de mercado que está relacionado con el cambio de los consumidores hacia productos menos perjudiciales para el clima. Y, finalmente, el riesgo de reputación que está relacionado con la dificultad de atraer y retener a los clientes debido a que la reputación se ha visto perjudicada.

Por otro lado, los riesgos físicos son el resultado de impactos físicos o del aumento de la severidad y frecuencia con la que se producen fenómenos climáticos extremos. Para las aseguradoras, además de afectar a sus activos tangibles e inversiones, también afectaría a sus pasivos incrementándolos debido a la mayor siniestralidad registrada. El riesgo físico puede dividirse en dos tipos. En primer lugar, estaría el riesgo físico agudo el cual se deriva de un evento natural, por ejemplo, tormentas, inundaciones, incendios forestales. En segundo lugar, se encontrarían los riesgos físicos crónicos que son los derivados de cambios climáticos a largo plazo, como el incremento de la temperatura, la subida del nivel del mar, la reducción del agua, la pérdida de biodiversidad y los cambios en la productividad de la tierra y el suelo.

Un ejemplo de impacto de estos riesgos se observa en los estudios realizados por el Foro Económico Mundial (por sus siglas en inglés, WEF) en donde se destaca que la mayor parte de los riesgos globales en el 2017, en términos de probabilidad e impacto, se producen por el cambio climático (World Economic Forum, 2017).

2.1 IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN SEGUROS

De acuerdo con el concepto de sostenibilidad asociado a seguros, uno de los factores principales que afectan y afectarán en un futuro a las diferentes carteras de seguros es el efecto del cambio climático por un

aumento de frecuencia y severidad en factores meteorológicos. Los riesgos climáticos son aquellos relacionados con la variabilidad natural del clima que por su carácter severo afectan a los sistemas naturales y humanos ocasionando daños. Los riesgos relacionados con los temporales de viento, las lluvias intensas, el pedrisco, las sequías y las olas de frío y de calor son algunos de los principales riesgos climáticos. Sin embargo, el efecto del cambio climático dependerá mucho de la zona geográfica. Por ejemplo, un informe del Swiss RE Institute (2018) menciona que en Estados Unidos y el Caribe, los huracanes suponen el riesgo climático que mayor nivel de daños ocasiona. A su vez, en Europa son los temporales invernales, las inundaciones, las olas de frío, las sequías y las elevadas temperaturas los que más riesgo suponen. Sin embargo, en Asia, las lluvias monzónicas y las inundaciones a consecuencia de las mismas son los principales factores de riesgo. Finalmente, en Latinoamérica y el Caribe son los huracanes, las inundaciones y los incendios forestales, en Oceanía serían los ciclones, el viento, la lluvia y la marejada ciclónica asociada y, finalmente, en África son los incendios forestales y las tormentas. Según Gil Olcina & Olcina Cantos (1998) la siguiente tabla (Tabla 1) resume los riesgos climáticos y sus eventos meteorológicos asociados.

TABLA 1. *Riesgo climático y meteorológico asociado*

Riesgo Climático	Latitudes medias y altas	Latitudes intertropicales
Precipitaciones intensas	Lluvias intensas Nevadas intensas Tormentas de granizo	Tormentas tropicales Ciclones tropicales Lluvias monzónicas Lluvias torrenciales Tormentas con granizo
Valores térmicos extremos	Olas de frío y calor	Olas de frío y calor
Vientos fuertes	Temporales de viento Tornados Ventiscas (blizzards)	Contaminación atmosférica
Fenómenos climáticos a escala global que conlleven riesgos climáticos a escala regional o local	Fenómeno de El Niño Cambio climático	Fenómeno de El Niño Cambio climático

Fuente: elaboración propia

Es necesario mencionar que no todas las zonas del mundo están sometidas a los mismos riesgos climáticos, y dentro de un mismo país, no toda su extensión sufre los mismos riesgos con la misma intensidad. Según Olcina (2010), los principales riesgos climáticos en España son las inundaciones, las tormentas y los temporales marítimos, que tradicionalmente son los fenómenos climáticos adversos que ocasionan más daños sobre bienes y personas.

En este sentido es importante mencionar la importancia que tiene este segmento del seguro en el mercado español. Según datos de ICEA, a diciembre del 2024, el volumen de primas devengadas brutas en el ramo de no vida alcanzó los 46.35 millones de euros, representando aproximadamente el 62% del total del seguro directo en el negocio asegurador, con un incremento del 7,8% respecto al ejercicio anterior. Dentro del negocio de no vida, el ramo de multirriesgo representa el 22% con un volumen de primas devengadas brutas de 9,98 millones de euros. Por otro lado, el ramo de seguros de hogar alcanzó la suma de 6,01 millones de euros a diciembre del 2024, representando el 60% del total de multirriesgo y el 12,95% del total de mercado de no vida, evidenciándose la importancia de este sector específico en el mercado español (ICEA, 2024).

De la misma manera Hidalgo (2020) menciona que el seguro de multirriesgo en el caso de hogar podría experimentar un incremento en el número de siniestros debido a un aumento de los daños por viento, lluvias, afección de incendios forestales, etc. Los temporales de viento y lluvia pueden ocasionar daños en las viviendas debido a filtraciones de agua, goteras (cuando las lluvias son persistentes), caída de objetos de fachadas que pueden provocar desperfectos, rotura de ventanas, etc.

De hecho, los daños por agua suponen más de un tercio de las reclamaciones a los seguros de hogar en España. Las precipitaciones en forma de nieve pueden ocasionar daños en cubiertas de edificios por el exceso de peso, que termina provocando el colapso de la estructura, y las tormentas eléctricas y la descarga de rayos aumentan la siniestralidad por daños eléctricos en el hogar (tercera causa de siniestro en España).

Estos datos ponen de relieve la importancia de desarrollar modelos que cuantifiquen el efecto de cambio climático en los seguros no vida, de ahí la relevancia del estudio que hemos desarrollado.

3. METODOLOGÍA

3.1 DATOS

Para poder lograr los objetivos planteados, en la presente investigación se utilizaron dos fuentes de bases de datos diferentes:

a) Una cartera de seguros multirriesgo de hogar de una importante entidad del mercado español. Específicamente se estudió la información de pólizas y siniestros que han sido catalogados por la entidad como provocados por efectos climáticos. La información analizada contiene datos que van desde el año 2017 hasta el 31 de diciembre del 2022, con un total de 31.998 observaciones. A continuación (Tabla 2), puede observarse un resumen de la base de datos utilizada.

TABLA 2. *Resumen Cartera de seguros – Siniestros climáticos*

CAUSA	AÑO OCURRENCIA						
		2017	2018	2019	2020	2021	2022
	INUNDACION	8	7	5	4	9	6
	LLUVIA	1.360	2.591	2.271	2.146	2.319	2.124
	NIEVE	20	44	5	6	1.034	4
	PEDRISCO	166	455	269	601	404	185
	VIENTO	3.276	2.324	3.310	3.360	1.809	1.876
	TOTAL	4.830	5.421	5.860	6.117	5.575	4.195

Fuente: elaboración propia

b) Información de las estaciones meteorológicas obtenidas desde AEMET¹⁶. De dicha agencia se obtuvo la información de 290 estaciones meteorológicas, cada una con información desde el año 2017 hasta el 2022 con frecuencia diaria de variables meteorológicas como: precipitación, rachas de viento, temperatura máxima, temperatura mínima, etc.

¹⁶ AEMET: Agencia Estatal de Meteorología de España

3.1.1. Variable Dependiente

La variable dependiente analizada será la de número de siniestros catalogados como “siniestros climatológicos”.

3.1.2. Variables Independientes

Las variables independientes son las variables climáticas que fueron obtenidas de estaciones meteorológicas en España. Para la presente investigación y en base a la frecuencia observada de la cartera analizada, se utilizarán únicamente las variables asociadas a lluvia (precipitación máxima¹⁷) y viento (racha máxima de viento¹⁸) debido a que estas causas en conjunto representan el 89% de siniestros de la entidad. De esta manera la expresión matemática del modelo que se va a estimar quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \text{NumeroSiniestros}_t \\ &= f(\text{Racha Maxima Viento}_t, \text{Precipitación Máxima}_t) + e_t \end{aligned}$$

Ecuación (1)

3.2. TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING Y SUS APLICACIONES

En este epígrafe se describe la metodología y el proceso que se va a implementar para alcanzar los objetivos planteados en apartados anteriores.

3.2.1. Modelos de aprendizaje no supervisado

Partiendo de las bases de datos descritas anteriormente, se pretende aplicar un modelo de aprendizaje no supervisado con el objetivo de crear clústeres o agrupaciones entre un riesgo determinado (cartera de siniestros) con la estación meteorológica más cercana asociada al mismo. Dicho de otra manera, se pretende geolocalizar el siniestro asociado a un evento climático y asignar la información de la estación meteorológica

¹⁷ Precipitación: $mm = \frac{\text{litros}}{m^2}$

¹⁸ Viento: Racha máxima = $\frac{Km}{horas}$

más cercana. Para lograrlo, se implementó el algoritmo de asignación conocido como distancia haversine o la fórmula del semiverseno¹⁹:

$$Hav = \cos(a) \cos(b) + \sin(a)\sin(b)\cos(c)$$

Ecuación (11)

Una vez geolocalizado el riesgo se obtendrá una base de datos general en donde cada siniestro tenga la información de la estación meteorológica más cercana. De este modo, mediante este proceso se asignará el riesgo asociado a una estación determinada a la cartera de seguros analizada. Así, al tener una medida de riesgo por ubicación geográfica se medirá la siniestralidad total la cartera de seguros analizada y se podrán implementar los escenarios de cambio climático ubicados por diferentes zonas geográficas.

3.2.2. Modelos de aprendizaje supervisado

Con el objetivo de poder determinar los diferentes escenarios de cambio climático en base a la estimación de la siniestralidad de una cartera de seguros, se aplicaron diferentes modelos de aprendizaje supervisado. Concretamente, en esta investigación hemos aplicado modelos de regresión no lineal, un árbol de regresión y los algoritmos de random forest y de gradient boosting machine (GBM). La combinación de diferentes métodos nos permite generalizar la utilidad de las variables predictoras individuales de manera más amplia, y posibilitará elegir el modelo óptimo que se adapta a las necesidades del problema.

3.3. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Una vez obtenida una relación entre el número de siniestros y las variables medioambientales aplicaremos diferentes escenarios de proyecciones de cambio climático para ver cuál de estas predicciones se ajusta mejor a los modelos desarrollados.

Para poder realizar las predicciones y la modelización de los escenarios de cambio climático es necesario realizar ciertas hipótesis económicas y sociales sobre cambios físicos que afecten a nuestro entorno. Así el

¹⁹ Los valores de (a,b,c) utilizados en la formula, se refieren a la longitud y latitud de cada siniestro y de la estación meteorológica.

IPCC²⁰ (2014) determina diferentes escenarios denominados RCP²¹. Estos escenarios capturan todas las hipótesis que podrían afectar al cambio climático según diferentes cambios sociales o económicos. Teniendo en cuenta lo expuesto, para las proyecciones que se van a implementar se van a utilizar los siguientes escenarios:

- Escenario central (RCP 4.5): Catalogado como un escenario de impacto medio en donde se prevén cambios en variables meteorológicas debido a que la temperatura incrementa en promedio en 2.6 grados y que las emisiones de carbono incrementan hasta 2040 y luego disminuyen.
- Escenario Estresado (RCP 8.5): Catalogado como un escenario de impacto alto en donde se prevén cambios en variables meteorológicas debido a que la temperatura incrementa en promedio en 4.8 grados y que las emisiones de carbono incrementan hasta el año 2100.

Las proyecciones mencionadas van acorde al pacto de París y los diferentes tratados de sostenibilidad que han venido surgiendo en los últimos años. Además, al ser incluidas en el modelo de predicción, el resultado final será la estimación del número de siniestros de una cartera de seguros estresada mediante estos dos escenarios previstos. Los datos de proyecciones de variables meteorológicas fueron extraídos de AEMET.

De esta manera, $X_t = (Viento_t, Precipitacion_t)$ es el vector de variables meteorológicas observadas en el día t . Por lo que el modelo de predicción se define como:

$$\hat{Y}_t = f_{\theta}(X_t)$$

Ecuación (111)

donde f_{θ} es una función estimada a partir de los datos del periodo 2017–2022 mediante el modelo de mejor ajuste demostrado (regresión

²⁰ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

²¹ RCP: Representative concentration pathway

De este modo, la información se distribuyó en 10 grupos de asignación, que se crearon en función de la proximidad de los siniestros a las estaciones meteorológicas. El siguiente gráfico (Gráfico 1) muestra las provincias donde se encuentra concentrada la mayor siniestralidad y en los Anexos se puede verificar los grupos finales junto a su estación meteorológica.

Con respecto los modelos de aprendizaje automático, los diferentes modelos paramétricos y no paramétricos implementados aplicados tuvieron como objetivo el obtener un alto grado de correlación entre las variables analizadas con la información histórica que descrita en apartados anteriores. Y, como se mencionó en apartados anteriores, para ver el modelo que mejor se adapta a los datos, se ajustaron utilizando los dos escenarios (RCP 4.5 y RCP 8.5) para cada modelo y se comparó el error cuadrático medio (ECM) y el error absoluto medio (EAM) con el objetivo de elegir el menor de estos para obtener el mejor ajuste. Dando como resultado los siguientes resultados (Tabla 3 y Tabla 4):

TABLA 3. *Resultados – Escenario Estresado*

GRUPO DE ASIGNACIÓN	REGRESION NO LINEAL		ARBOL DE REGRESIÓN		RANDOM FOREST		GBM	
	ECM	EAM	ECM	EAM	ECM	EAM	ECM	EAM
BARCELONA	111,95	7,18	95,67	6,54	115,43	6,95	79,94	5,92
BILBAO	94,92	6,76	89,88	6,55	104,80	6,95	72,04	5,77
CORDOBA	667,80	14,64	711,65	14,35	650,89	12,13	558,00	12,02
MADRID	329,58	10,38	10,49	341,40	390,47	11,39	293,60	9,71
PUNTA GALEA	25,16	3,59	21,81	3,23	21,65	3,20	18,44	2,90
SAN SEBASTIAN	47,22	4,99	5,15	53,39	57,06	5,44	39,17	4,45
VALENCIA	582,46	14,00	12,06	553,11	589,86	12,72	495,78	12,77
ZUMARRAGA	265,59	8,79	135,25	139,80	275,74	8,40	222,42	7,65
MALAGA	266,92	8,81	136,53	140,89	277,06	8,42	223,56	7,67
VITORIA	513,17	12,81	374,50	344,02	521,97	11,83	434,18	11,23
LOGROÑO	328,89	9,82	196,42	192,01	338,69	9,27	276,57	8,57

Fuente: elaboración propia

TABLA 4. Resultados – Escenario Central

GRUPO DE ASIGNACIÓN	REGRESIÓN NO LINEAL		ARBOL DE REGRESIÓN		RANDOM FOREST		GBM	
	ECM	EAM	ECM	EAM	ECM	EAM	ECM	EAM
BARCELONA	116,39	7,32	101,83	6,59	106,78	6,75	85,01	6,09
BILBAO	87,41	6,30	83,59	6,00	88,06	6,12	72,04	5,52
CORDOBA	655,33	13,38	648,77	12,33	650,89	12,13	575,99	11,55
MADRID	331,48	10,29	339,30	10,49	360,57	10,88	293,66	9,70
PUNTA GALEA	32,09	4,04	24,99	3,64	31,03	3,80	18,27	2,99
SAN_SEBASTIAN	48,94	5,11	53,38	5,23	58,72	5,54	39,27	4,48
VALENCIA	661,40	15,30	596,93	12,93	639,39	13,86	522,24	13,49
ZUMARRAGA	276,15	8,82	264,11	8,17	276,49	8,44	229,50	7,69
MALAGA	277,54	8,84	265,44	8,19	277,86	8,46	230,68	7,71
VITORIA	536,00	12,81	511,82	11,61	531,67	11,99	449,88	11,34
LOGROÑO	342,59	9,84	327,45	9,05	341,74	9,35	285,85	8,62

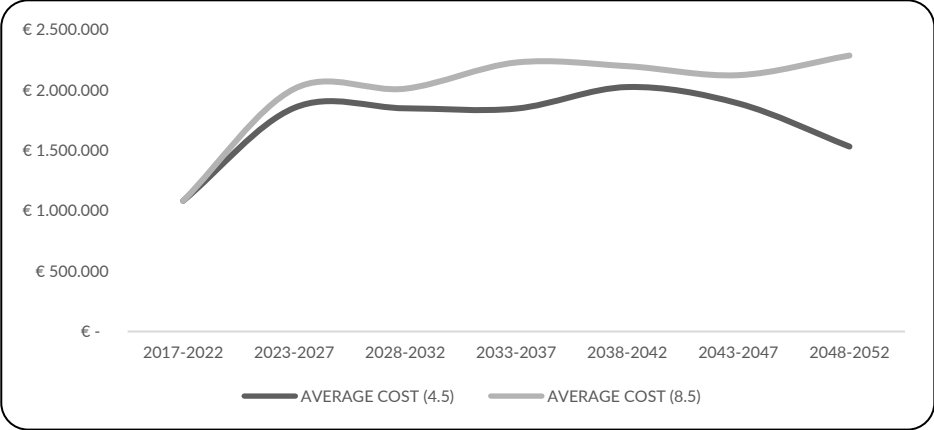
Fuente: elaboración propia

Se puede observar en las tablas anteriores que en los dos casos las predicciones con el menor error absoluto medio se logran con el modelo GBM. Por lo cual, para la aplicación de los escenarios de cambio climático se utilizará este modelo y se entrenará con las proyecciones obtenidas de AEMET.

La proyección de la siniestralidad reflejó un incremento si se presentan los escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5). De tal modo que, en promedio, para el periodo 2023-2052 la siniestralidad anual para el escenario 4.5 sumó un valor de 407 miles de euros y para el escenario 8.5 de 476 miles de euros. Además, los resultados reflejan que en el caso del escenario 4.5 la siniestralidad tendrá un incremento promedio del 58% y en el caso del escenario 8.5 del 72%.

En el Gráfico 2 puede observarse el comportamiento de la cartera para el producto seleccionado en base a los dos escenarios planteados, evidenciando que el cambio climático, específicamente para el caso de un aumento en las precipitaciones debido a los cambios en la temperatura de la tierra conllevarán a que la siniestralidad aumente afectando al negocio directamente.

GRÁFICO 2: *Escenarios cambio climático*



Fuente: elaboración propia

Como punto adicional, de los grupos analizados, los que mayor representación tendrán en cuanto a impacto serán los de Bilbao, San Sebastián y Zumárraga (Tabla 5).

TABLA 5. *Representación Grupos*

GRUPO DE ASIGNACIÓN	SINIESTRALIDAD ESCENARIO CENTRAL	SINIESTRALIDAD ESCENARIO ESTRESADO
GRUPO CORDOBA	5%	8%
GRUPO BILBAO	12%	12%
GRUPO SAN SEBASTIAN	19%	17%
GRUPO PUNTA GALEA	8%	6%
GRUPO VITORIA	4%	6%
GRUPO BARCELONA	10%	11%
GRUPO MADRID	10%	9%
GRUPO ZUMARRAGA	12%	14%
GRUPO LOGRONO	3%	2%
GRUPO MALAGA	10%	9%
GRUPO VALENCIA	6%	5%
TOTAL	100%	100%

Fuente: elaboración propia

5. CONCLUSIONES

El efecto del cambio climático influirá en la frecuencia de los eventos climáticos tales como las precipitaciones, los cambios en la temperatura o en las rachas de viento, lo que a su vez puede conllevar al aumento de la siniestralidad en una cartera de seguros. Por lo tanto, es de vital importancia que el negocio asegurador evalúe de manera sistemática los riesgos asociados al cambio climático ya que podrían afectar tanto a sus pasivos como sus activos. En nuestra investigación se ha demostrado que si todo lo demás permanece constante y únicamente se toma en cuenta el incremento de precipitaciones, la siniestralidad aumentará y la entidad aseguradora deberá pagar más por futuros siniestros asociados al cambio climático.

Las inundaciones por precipitaciones intensas y marejadas ciclónicas asociadas a los huracanes se están intensificando por el aumento de la temperatura, ya que este provoca un aumento de la humedad contenida de la atmósfera, dilata los océanos y acentúa la subida del nivel del mar. Estos factores que influyen en el aumento de daños económicos ocasionados por estos eventos. Esto quiere decir que, para ofrecer una cobertura de los riesgos adecuada, las aseguradoras y reaseguradoras deben establecer primas ajustadas al riesgo o exposición en donde puedan hacer frente a su siniestralidad. Además, deben de establecer límites adecuados a los capitales asegurados y a los territorios de exposición.

Como se ha demostrado en el presente estudio, los riesgos climáticos generan un importante impacto en la sociedad y, por lo tanto, en el sector asegurador, ya que cuando los eventos relacionados con estos riesgos acontecen generan siniestros de elevado impacto económico que, además, van a depender mucho de la zona geográfica en la cual se encuentra expuesto el riesgo.

La proyección de la siniestralidad ha mostrado un gran incremento si se presentan los escenarios de cambio climático utilizados (RCP 4.5 y RCP 8.5). Así, en promedio, para el periodo 2023-2052 la siniestralidad anual para el escenario (4.5) sumará un valor de 407 miles de euros y para el escenario (8.5) de 476 miles de euros. Además, los resultados

reflejan que en el caso del escenario 4.5 la siniestralidad tendrá un incremento promedio del 58% y en el caso del escenario 8.5 del 72%.

6. ANEXOS

GRUPOS DE ASIGNACION PARA MODELOS	
NOMBRE GRUPO	NOMBRE ESTACIÓN METEOROLÓGICA
GRUPO CORDOBA	CORDOBA AEROPUERTO
	DONA MENCIA
	HINOJOSA DEL DUQUE
	VILLANUEVA DE CORDOBA
GRUPO BILBAO	BILBAO AEROPUERTO
	CASTRO URDIALES
	GUENES
GRUPO SAN SEBASTIAN	DONOSTIA/SAN SEBASTIAN, IGUELDO
	SAN SEBASTIAN AEROPUERTO
GRUPO PUNTA GALEA	PUNTA GALEA
	LEKEITIO
	MACHICHACO
GRUPO VITORIA	FORONDA-TXOKIZA
	VITORIA AERÓDROMO
	VITORIA GASTEIZ AEROPUERTO
GRUPO BARCELONA	BARCELONA AEROPUERTO
	BARCELONA, FABRA
	BARCELONA
	ARENYS DE MAR
	MANRESA
	SANTA SUSANNA
	SABADELL AEROPUERTO
GRUPO MADRID	GETAFE
	MADRID AEROPUERTO
	MADRID, CIUDAD UNIVERSITARIA
	MADRID, CUATRO VIENTOS
	MADRID, RETIRO
	COLMENAR VIEJO
	PUERTO ALTO DEL LEON
	ROBLEDO DE CHAVELA
	ARANJUEZ
	TORREJON DE ARDOZ

GRUPO ZUMARRAGA	HONDARRIBIA, MALKARROA
	ZUMAIA
	ELGOIBAR
	ZUMARRAGA
GRUPO LOGROÑO	LOGRONO, AEROPUERTO
	BEORADO
GRUPO ALICANTE/VALENCIA	ALACANT/ALICANTE
	ALICANTE-ELCHE AEROPUERTO
	VALENCIA AEROPUERTO
	OLIVA
	POLINYA DE XÚQUER
	VALENCIA, VIVEROS
GRUPO MALAGA	MALAGA, CENTRO METEOROLOGICO
	Fuengirola
	MALAGA, PUERTO
	MALAGA AEROPUERTO
	TARIFA
	ESTEPONA
	ANTEQUERA
	RONDA
	TORROX

Fuente: elaboración propia

6. REFERENCIAS

- Ancos, H. (2015). *Industria del seguro y desarrollo sostenible*. Fundación MAPFRE.
- Bank of England. (2019). *The 2021 biennial exploratory scenario on the financial risks from climate change*. Prudential Regulation Committee.
- EIOPA. (2021). *Opinion on the supervision of the use of climate change risk scenarios in ORSA*. EIOPA-BoS-21-127.
- Furman, E., Su, J., Chen, Y., Santoshkumar, S. & Zhang, L. (2019). *Modelling, Measuring and Pricing Flood Risk. Survey and Actuarial Perspective*. Schaumburg: Society of Actuaries.
- Garcia, M. (2020). *Reflexiones sobre la gestión de los riesgos ASG en las entidades aseguradoras*. Madrid: Instituto de Actuarios Españoles.
- Gil Olcina, A., & Olcina Cantos, J. (1998). *Diccionario de climatología*. Flash.
- Hidalgo, A. I. (2020). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la actividad*. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- IAIS. (2018). Issues Paper on Climate Change Risks to the Insurance Sector. *The International Association of Insurance Supervisors*.
- ICEA. (2024). *Evolución del Mercado Asegurador*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Mohammadian, M. (2005). *La bioeconomía: un nuevo paradigma socioeconómico para el siglo XXI*. Madrid: Instituto de Ciencias Ambientales. Universidad Complutense de Madrid.
- Munich RE. (2019). Munich RE. Obtenido de Munich RE: <https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/natural-disasters/the-natural-disasters-of-2018-in-figures.html>
- Olcina, J. (2010). *Cambio y riesgos climáticos en España*. Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universidad de Alicante.
- Swiss Re. (2023). *Natural catastrophes and inflation in 2022*. Sigma, 2-5
- World Economic Forum. (2017). *The Global Risks Report 2017*.

A RELATION BETWEEN EXTREME DAILY PRECIPITATION AND EXTREME SHORT TERM PRECIPITATION

YANINA L. ROMERO

1. INTRODUCTION

Rising temperatures are generally expected to be accompanied by increases in rainfall intensities at mid- and high latitudes (Meehl et al, 2005 & 2007). Urban areas are especially vulnerable to increased rainfall intensities, especially during convective summer storms (Smith et al., 2002; Water et al., 2003; Kundzewicz et al., 2007). Regional impacts will differ from average climate predictions, which make regional studies necessary, such as this one for The Netherlands. The goal of this study is to examine the impact of possible climate change on rainfall intensities at a time scale of one hour.

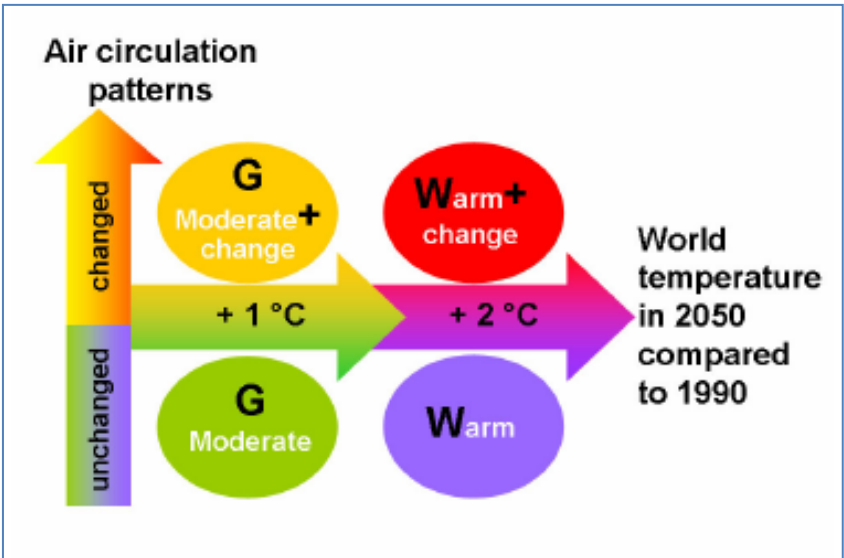
The Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) developed four KNMI'06 climate scenarios that provide information on projected changes in daily precipitation. These scenarios are based on a large number of global and regional climate models. For urban drainage design, daily precipitation is less relevant; critical response times of storm sewerage and surface drains are in the order of minutes to hours (Smith et al., 2002; Ntelekos et al., 2008). Regional climate model output on peak precipitation for shorter time scales is not (yet) reliable enough to allow for a publishable estimate. Therefore, a new method was developed to study the relation between daily and shorter time interval precipitation from historical data. The objective is to use variables available in the KNMI'06 scenarios to obtain conditional relations between daily and shorter interval precipitation. If it can be assumed that these

relations will remain more or less the same in the future, estimates could also be made for short term peak precipitation in the future.

2. OBJECTIVES

The applied methodology involves selection of climate variables that are likely to affect rainfall intensities at the desired short time scales, acquisition and selection of historical data, and the analysis of correlations between variables available in the KNMI'06 scenarios and the ratio of one hour and daily precipitation. The selection of the KNMI'06 scenarios is based on two steering parameters: change in global mean temperature and change in air circulation pattern. This resulted in four scenarios shown in **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** The scenarios span a large part of the uncertainty about our future climate, and they are a translation of larger scale climate change projections to climate change in The Netherlands.

Figure 1 The Four KNMI'06 Climate Scenarios (Royal Netherlands Meteorological Institute, Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands, Scientific Report, WR 2006-01, De Bilt, The Netherlands 2006)



2.1. SELECTION OF CLIMATE VARIABLES

It was first assumed at KNMI in 2007 that extreme hourly rainfall would change in the same way as the extreme daily rainfall. This research aimed at checking this hypothesis and providing a further elaboration of the KNMI'06 scenarios with information about hourly precipitation extremes and quantification thereof. Explanatory climate variables that could be linked to the steering parameters in the KNMI'06 scenarios were selected to this end. These variables were then analyzed with hourly and daily precipitation.

The main variables that, *a priori*, could have an influence on extreme precipitation include:

- wind (speed, direction) or wind at higher altitudes
- air temperature
- humidity
- air pressure
- sea-surface temperature (The Netherlands)

Based on literature study and expert consultation, wind direction and maximum daily air temperature were chosen to be used for further analysis.

Some studies conducted in the Iberian Peninsula and the British Isles have led to the conclusion that a correlation exists between wind or atmospheric circulation and extreme precipitation (Gallego, García, and Vaquero et al., 2005). KNMI concluded that wind direction but not wind velocity was an indicator for precipitation. Wind direction or, better, geostrophic circulation (wind at higher altitudes) could be an explanatory climate variable linked with differences between the KNMI'06 scenarios. The wind direction at higher altitudes determines from where air masses are transported to The Netherlands, for example from over the ocean (generally moist) or over land (in summer often dry and warm). Rain cloud formation is often caused by south-westerly circulation, corresponding to a limited range of G-West values. Under such circulation patterns, warmer air from the Mediterranean region is transferred to The Netherlands after absorbing moisture over the North Sea. At the surface

the wind direction can be different, due to friction. G-west is a measure used at KNMI to quantify geostrophic wind from the westerly direction. G-West is the magnitude of the velocity of the wind coming from the west at 270° . A negative value of -2.6 m/s would correspond to a wind coming from the east at 90° with a speed of 2.6 m/s. G-west is thought to be an important explanatory variable for precipitation. A data series was compiled based on data from the ERA-40 database (Lenderink, van Meijgaard et al., 2008) for The Netherlands and they are available from 1958. G-west is determined six times daily and is derived from surface pressure. For this study, average daily values are used.

Warm weather has been found to be key for short duration, high intensity rainstorms (Doswell et al., 1996; Chang et al., 1998; Smith et al., 2005). Former analysis showed that the annual maxima for 24 hours and 4 hours mostly occurred during the months May-September. KNMI experts also indicated that maximum daily temperature could be an explanatory climate variable that can be linked with differences between the KNMI'06 climate scenarios. Warmer air can contain more moisture which is favorable for precipitation. Maximum daily temperature can be used instead of average daily temperature because it can easily be linked to the KNMI'06 climate scenarios, which provide average daily temperature. Based on observations over the last 30 years, the difference between maximum, minimum, and average daily temperature did not really change. It is assumed that this relation between maximum, minimum, and average temperatures will not change in the future.

2.2. SELECTION AND VALIDATION OF HISTORICAL DATA

KNMI has an automatic and manual rain gauge network to record precipitation. Until the 1970s, mechanical pluviographs were used as automatic rain gauges. Pluviographs have since then been replaced by electronic rain gauges. At the automatic stations, each hour recordings are made, at the manual stations only once per day. The 60-minute precipitation data used in this paper were recorded with automatic rain gauges because the 60-minute precipitation data recorded before 1980 have not yet been digitized. The quality of the 60-minute automatic measurements was checked by comparing their daily sums with 24-hour manual measurements.

At KNMI in The Netherlands, historical precipitation data is available for daily, 1-hour and 10-minute observational time segments. Many years of historical data are available for precipitation amounts on a daily basis. In comparison, fewer years of data are available on an hourly basis. Less than 25 years of data are available for shorter time intervals including 15-minutes or less. Five to ten minute data is the most interesting for urban drainage and urban water management. Urban water managers wish to have information about 10-minute precipitation recordings as the characteristic time of urban runoff processes is of that order of magnitude (Graf et al., 1977; Smith et al., 2002). However, 10-minute recordings are not validated and/or the available number of years is too limited to cover most of the natural variability.

That is why it was decided to use validated 60-minute precipitation data recorded at the station De Bilt in The Netherlands for this research. The station De Bilt was chosen for the long (>50 years) time series available for both daily and hourly precipitation. A minimum of 30 years of data is generally used to describe most of the natural variability, but for extreme values preferably even larger time series are used. In addition, De Bilt is a non-coastal location where there is hardly or no effect of seawater temperatures on extreme precipitation therefore making it easier to link extreme precipitation to air temperature and G-west. It is also recognized that urban areas may exacerbate formation of summer storms (Ntelekos et al., 2008) due to the urban heat island and that this effect is also not reflected in the time series of De Bilt.

3. ANALYSIS

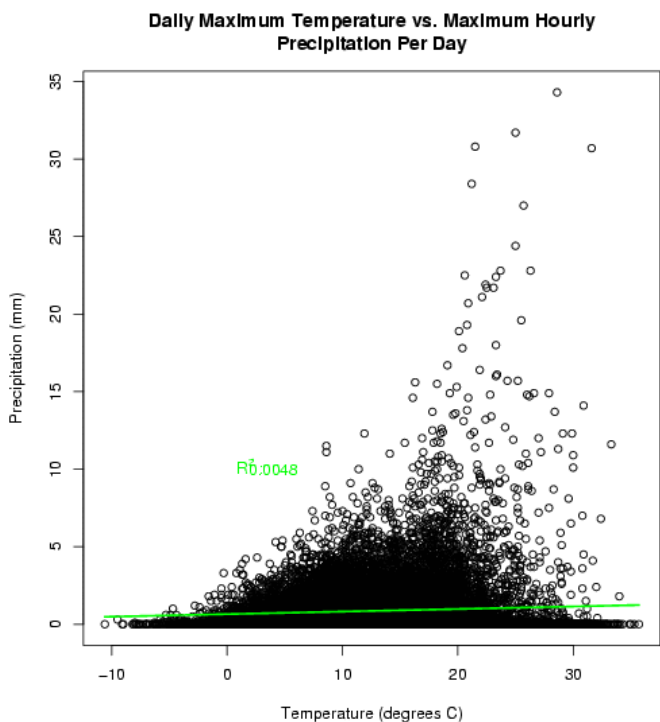
The analysis consists of three parts. First, an exploratory analysis of the correlation between temperatures and precipitation extremes is put forward. Secondly, a similar analysis concerning the correlation between circulation patterns (G-west) and precipitation extremes is given. Finally, the ratio between daily and hourly precipitation as a function of maximum daily temperature and G-west is given, which allows for temporal downscaling on the basis of climate projections.

3.1. TEMPERATURE AND PRECIPITATION EXTREMES

A visual technique was used to obtain a first idea of how maximum daily temperature and G-west correlate with daily precipitation. Scatter plots were

made using other climate variables to obtain a sense of when and under which circumstances extreme precipitation occurs. Raw data hardly show a relation between daily precipitation and maximum daily temperature.

FIGURE 1. Maximum Daily Temperature vs. Maximum Hourly Precipitation per Day for De Bilt 1958-2006. Green line is the linear regression value of 0.0048



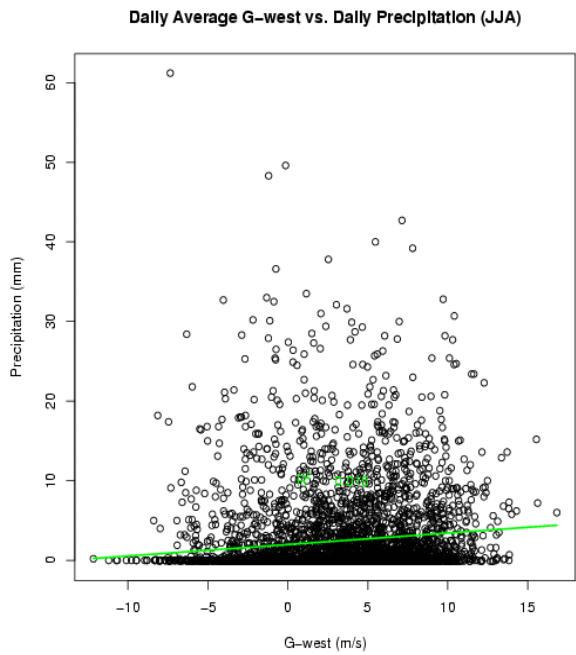
Based on the data series 1958-2006, **FIGURE 1;****Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presents a scatter plot of maximum daily temperature versus maximum hourly precipitation per day. It shows no clear relation between precipitation and temperature. However, the maximum values seem to have some relation with temperature. An interesting point is that extreme hourly precipitation amounts of more than 20 millimeters (shown in **FIGURE 1;****Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) do indeed occur during warmer temperature days of 20° C and above. However, in a plot of the annual maximum precipitation against temperature, there is no clear relation. Annual maxima often occur during the summer

half of the year with relatively high temperature. The main focus of this research is extreme precipitation and therefore these months will be analyzed further.

3.2. CIRCULATION AND PRECIPITATION

The second explanatory variable for climate change in The Netherlands is G-west. As mentioned earlier, G-west is derived from surface pressure. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** shows a scatter plot of G-west and daily precipitation for De Bilt during the summer months of June, July, and August. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** is a plot of G-west and maximum hourly precipitation per day.

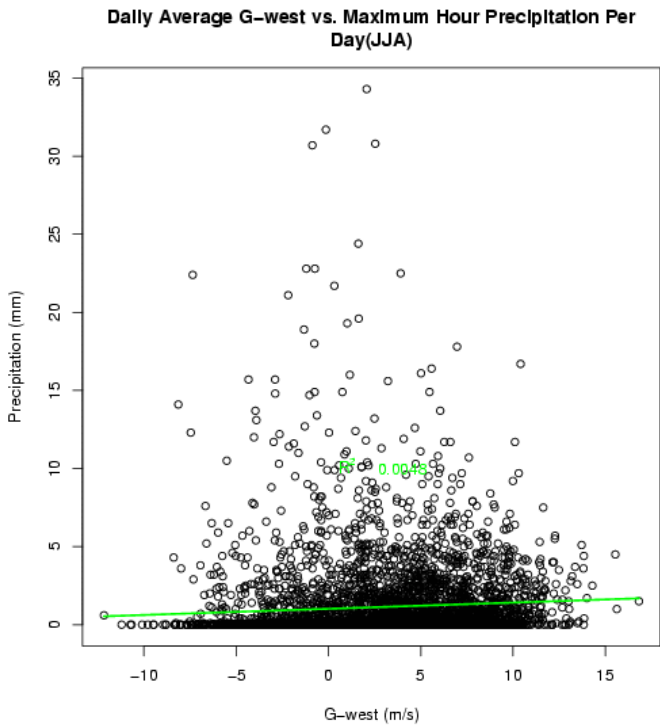
FIGURE 3. Average Daily G-West vs. Daily Precipitation for Summer Months (De Bilt 1958-2006). Green line is the linear regression coefficient $r^2=0.015$



Both **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** and **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** show that extreme daily precipitation and extreme maximum hourly precipitation

per day occurred with a G-west value close to 0 m/s. This suggests that daily maxima and hourly maxima may occur during the same or similar meteorological conditions. Correlation between maximum daily temperature and G-west was not significant (>95% confidence). Therefore, we can assume for the remainder of this analysis that maximum daily temperature and G-west are independent of each other.

FIGURE 4 Average Daily G-west vs. Maximum Hourly Precipitation per Day for Summer Months (De Bilt 1958-2006). Green line is the linear regression with a regression coefficient $r^2=0.0048$



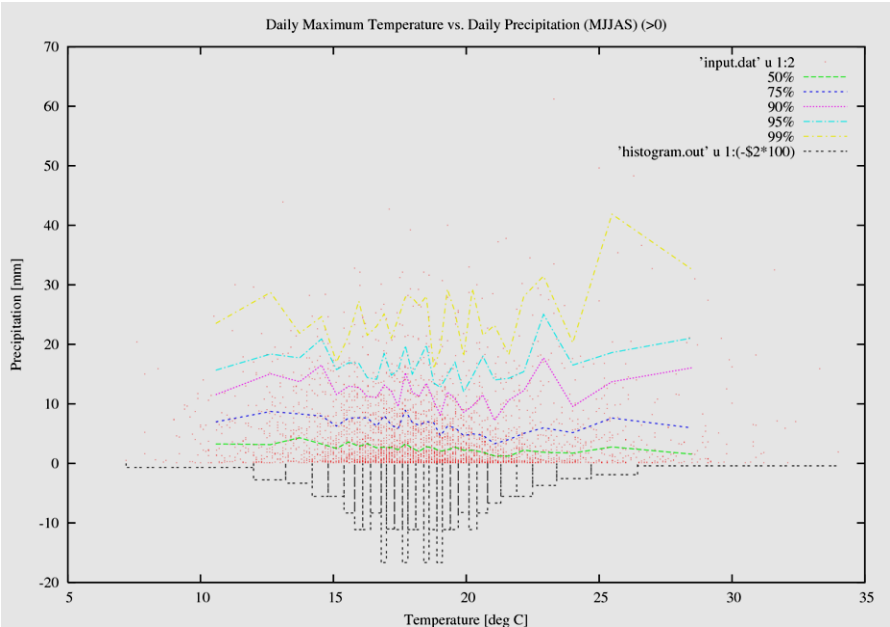
3.3. CORRELATIONS BETWEEN DAILY AND HOURLY PRECIPITATION AND CLIMATE VARIABLES

Since we are interested in extreme hourly rainfall and we only have information about the change of extreme daily rainfall in case of climate change we decided to investigate the ratio between maximum hourly versus daily rainfall in relation to temperature and G-west. We also determined the quantiles. Primarily the upper quantiles: 90%, 95%, and 99% are of interest to us, as these indicate extremes of the recorded daily and hourly precipitation versus maximum daily temperature and versus G-west respectively.

;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** shows a frequency representation (lower part of figure) of two climate parameters: maximum daily temperature and amount of precipitation (only wet days).

The data represent the summer months of May, June, July, August, and September for the years 1958-2006. In the upper half of **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, lines indicate the percentage of data that are below the line (90% quantiles equals 90% below, 10% above). **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** shows maximum daily temperature versus maximum hourly precipitation per day. Both figures allow for a comparison of maximum daily temperature with hourly and daily precipitation.

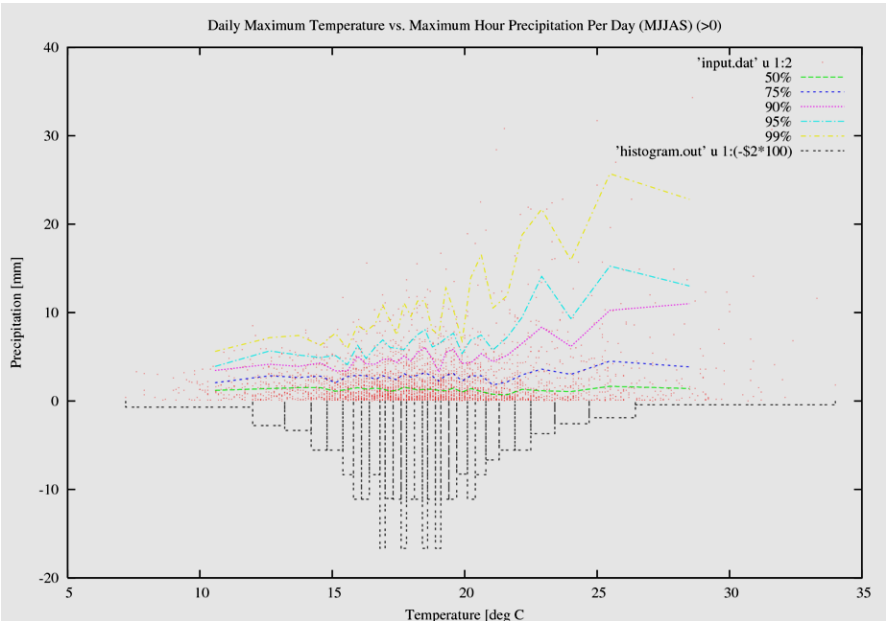
FIGURE 5. *Daily Maximum Temperature vs. Daily Precipitation for Summer Months (May-September)*



Below the horizontal axis, a histogram represents the frequency of the data. For both figures, more hours or days of precipitation occur with a maximum daily temperature value between 15 °C and 20 °C, at higher temperatures maximum hourly precipitation seems to increase with temperature. This is not clearly the case for daily precipitation. This is in line with our expectation that extreme precipitation is generally occurring during warmer days.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. presents a frequency representation of daily G-west and precipitation (only wet days). ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. shows G-west versus maximum hourly precipitation per day. Both plots show that more hours or days of precipitation occur with a G-west value of approximately 5 m/s.

FIGURE 6. Daily Maximum Temperature vs. Maximum Hourly Precipitation per Day for Summer Months (May-September)



In the next step of our analysis, we started comparing points on the percentile lines for daily versus hourly precipitation. So we took the value of e.g. the 95% line of ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. and 6 for the same temperature and determined the ratio of daily versus hourly rainfall. We did this for the whole range of temperatures from 10-29 degrees C. And a similar analysis was made for the G-west.

FIGURE 7. G-west vs. Daily Precipitation for Summer Months (May until and including September)

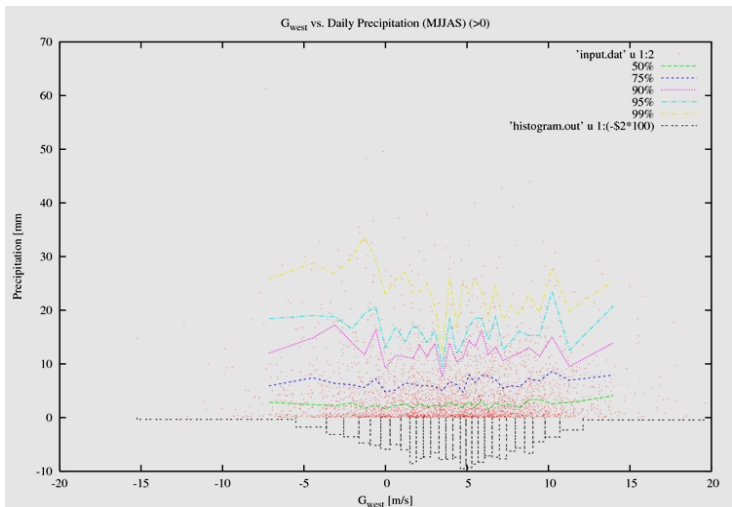
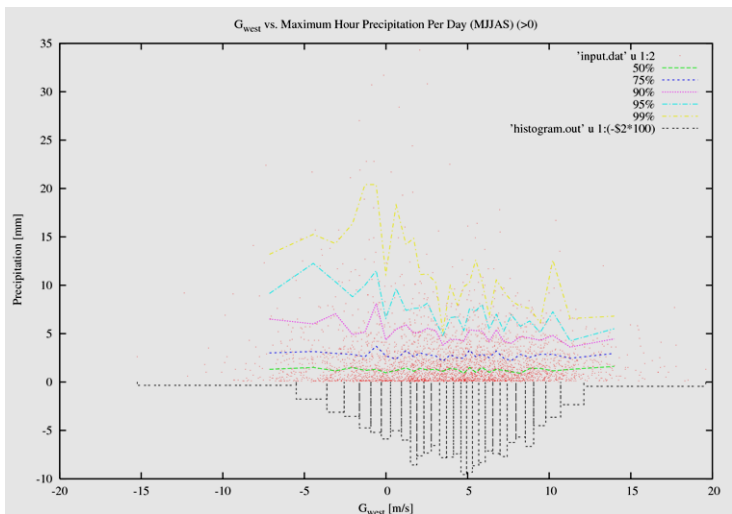


FIGURE 8. G-West vs. Maximum Hourly Precipitation per Day for Summer Months (May until and including September)



¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. is a plot of the relation between daily and maximum hourly precipitation in relation to maximum daily temperature plotted in ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. and ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. The thin-dashed line is the 95% ratio. This was constructed

by dividing the 95% percentile line for daily precipitation (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) by the 95% percentile line for hourly precipitation (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). If we assume a linear relation between these data points, the result is the bold-dashed line which gives the ratio of daily to maximum hourly precipitation versus maximum daily temperature. A change in ratio indicates a different relation with maximum daily temperature and therefore a different relation between daily and hourly precipitation. The linear equation for the bold-dashed line in **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** is,

$$y_{95} = -0.16x_{95} + 5.59$$

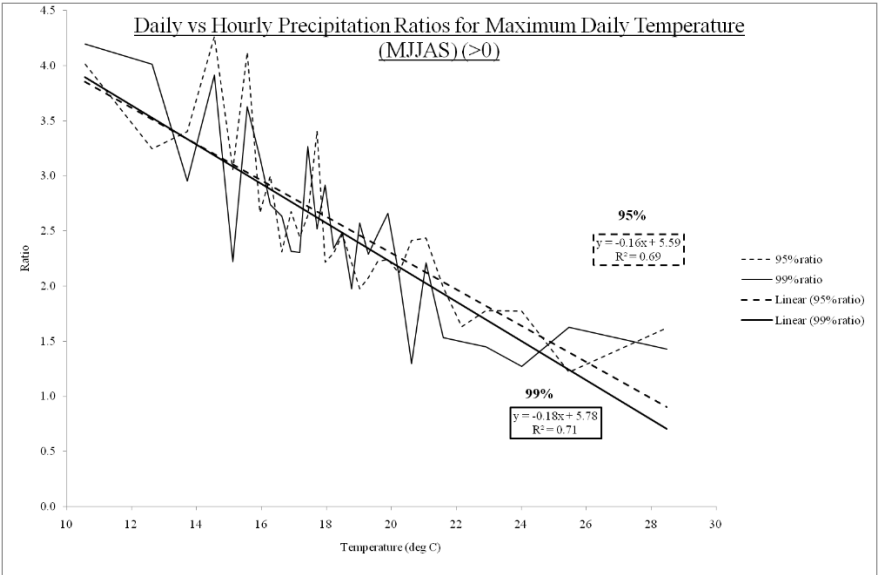
$$x = \text{maximum temperature in } ^\circ\text{C}$$

$$y = \text{ratio of daily to hourly precipitation}$$

A similar calculation was made for the 99% percentile line ratio, which is represented by the solid line. The linear equation for the solid line is,

$$y_{99} = -0.18x_{99} + 5.78$$

FIGURE 9. Daily/maximum hourly precipitation ratios in relation to Maximum Daily Temperature for Summer Months (May-September). The bold-dashed line is the regression value of 0.69. The solid line is the regression value of 0.71



¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. is a similar representation as shown in ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., but now in relation to G-west. The bold-dashed line gives the ratio of daily to hourly precipitation for 95% percentile line versus G-west;

$$y_{95} = 0.09x_{95} + 1.99$$

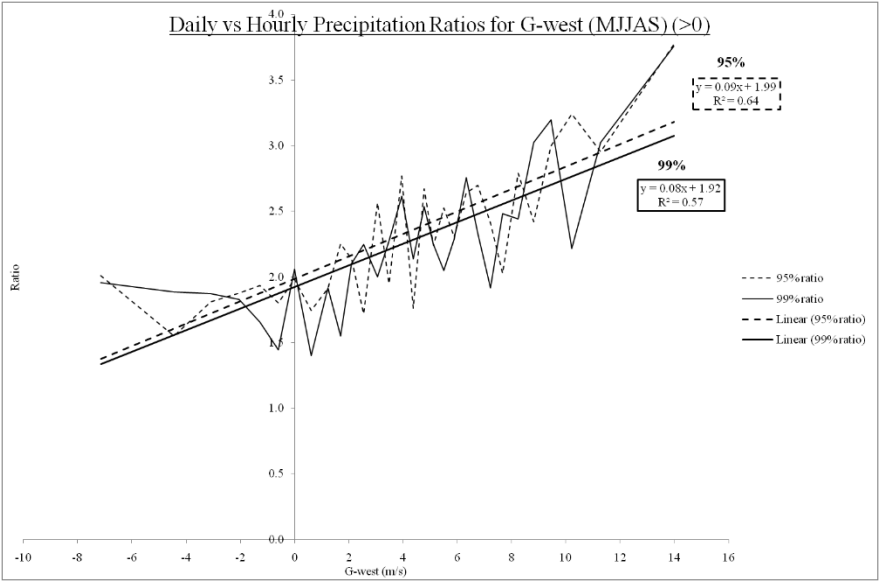
$$x = \text{G-west in m/s}$$

$$y=\text{ratio of daily to hourly precipitation}$$

The same was done for the 99% percentile line ratio (solid line);

$$y_{99} = 0.08x_{99} + 1.92$$

FIGURE 10. Daily/maximum hourly precipitation ratios in relation to G-west for Summer Months (May-September). The bold-dashed line is the regression value of 0.64. The solid line is the regression value of 0.57



¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. and ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. show that the ratios of extreme daily to hourly

precipitation for temperature and G-west are certainly not constant. The higher the temperature the closer this ratio between daily and maximum hourly rainfall approaches the value 1 (which means that all daily rainfall occurs within 1 hour). With strong westerly winds, daily rainfall is much higher than the maximum hourly rainfall.

Now, a relation has been established for extreme daily and hourly precipitation with the explanatory climate variables average daily temperature and G-west. These relations allow us to transform design storms and existing time series of hourly rainfall to new, synthetic series of rainfall under the assumption of a certain climate change scenario. Synthetic series or design storms can now be produced with the aid of the four KNMI'06 climate scenarios using projected daily precipitation, G-West, and maximum daily temperature.

4. CONCLUSION

Based on the KNMI'06 climate scenarios, projections have been made for daily precipitation events for the time horizons 2050 and 2100. The methodology described above enables us to project these daily precipitation events into maximum hourly precipitation events. By examining historical data and analyzing the relationships between precipitation, at both daily and maximum hourly time scales, and explanatory climate variables, it was possible to determine a ratio to apply to daily precipitation projections that result in maximum hourly precipitation projections. Interestingly, although correlations between explanatory variables and precipitation were relatively weak, the correlation between an explanatory variable and the daily/hourly precipitation ratio is strong. This strong correlation is the main finding of this paper

A useful extension of this research would be construction of synthetic maximum hourly precipitation. This extension would allow us to transform design storms and existing time series of hourly rainfall into new synthetic series taking into account climate change scenarios. Eventually, as a second extension, these synthetic data can be used as input for an urban drainage model. With such a drainage model and synthetic data for design storms or design series the effects of climate change on the systems' performance can be assessed and the efficiency of adaptive measures can be investigated.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

This article was originally published in Climatic Change. Additionally, the author would like to acknowledge the contributions from the original co-authors, J. Bessembinder, N.C. van de Giesen, and F.H.M. van de Ven.

6. REFERENCES

- Buishand, A., Holleman, I., Overeem, A. (2008). Rainfall Depth-Duration-Frequency Curves and Their Uncertainties, Elsevier, Journal of Hydrology, 348:124-134
- Chang, C. B. (1998). A case study of excessive rainfall forecasting, Meteorol. Atmos. Phys., 66(3–4), 215–227
- Chow, V.T. (1964). Statistical and probability analysis of hydrological data, sec. 8-I in Handbook of Applied Hydrology, ed. by V.T. Chow, McGraw-Hill, New York, USA
- Doswell, C. A., III, H. E. Brooks, and R. A. Maddox (1996). Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology, Weather Forecasting, 11, 560–581
- Gallego, M.C., García, J.A., and Vaquero (2005). J.M., The NAO signal in daily rainfall series over the Iberian Peninsula. Climate Research, 29:103-109
- Graf, W.L. (1977). Network characteristics in suburbanizing streams, Water Resources Research., 13(2), 459-463
- Heijboer, D., Nellestijn, J. (KNMI) (2002). De Normaalperiode 1971-2000, Klimaatatlas Van Nederland, Elmar B.V., Rijswijk, The Netherlands
- Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A. Shiklomanov (2007). Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210
- Lenderink, G., Meijgaard, E. van (2008). Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes, Nature Geoscience, Volume 1, No 8
- McGregor, G.R., Phillips, I.D. (2001). The relationship between synoptic scale airflow direction and daily rainfall: a methodology applied to Devon and Cornwall, South West England, Theoretical and Applied Climatology, 69, 179-198
- Meehl, G. A., J. M. Arblaster, and C. Tebaldi (2005). Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model

- simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L18719,
doi:10.1029/2005GL023680
- Meehl, G.A., T.F. Stocker and Co-authors (2007). Global climate projections. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 747-846
- Mitchell, R.M., Phillips, I.D. (2006). Warm season extreme precipitation events at Sunderland 1940-2000, *The Royal Meteorological Society, Weather*, Vol. 61, No. 8
- Ntelekos, A. A., J. A. Smith, M. L. Baeck, W. F. Krajewski, A. J. Miller, and R. Goska (2008). Extreme hydrometeorological events and the urban environment: Dissecting the 7 July 2004 thunderstorm over the Baltimore MD Metropolitan Region, *Water Resour. Res.*, 44, W08446, doi:10.1029/2007WR006346
- Royal Netherlands Meteorological Institute (2006). *Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*, Scientific Report, WR 2006-01, De Bilt, The Netherlands
- Smith, J. A., M. L. Baeck, J. E. Morrison, P. Sturdevant-Rees, D. F. Turner-Gillespie, and P. D. Bates (2002). The regional hydrology of extreme floods in an urbanizing drainage, *J. Hydrometeorol.*, 3(3), 267– 282.
- STOWA (2004). *Statistiek van Extreme Neerslag in Nederland*, report nr. 26, Hageman Fulfilment, <https://www.stowa.nl/publicaties/statistiek-van-extreme-neerslag-nederland> ; access 08.01.25
- Waters, D., W.E. Watt, J. Marsalek and B.C. Anderson (2003) Adaptation of a storm drainage system to accommodate increased rainfall resulting from climate change. *J. Environ. Plan. Manage.*, 46, 755-770

DESEMPEÑO AMBIENTAL Y FACTORES MACRO: UN ANÁLISIS BASADO EN CONFIGURACIONES

HELENA DOMÍNGUEZ TORRES
Universidad de Sevilla

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación se ha convertido en una importante preocupación global debido a sus consecuencias de gran alcance tanto para la salud humana como para la sostenibilidad ambiental. De hecho, la contaminación representa una amenaza doble e interconectada: es una de las principales causas de mortalidad prematura y desempeña un papel central en la aceleración del cambio climático, principalmente a través de la emisión de gases de efecto invernadero y otros subproductos dañinos para el medio ambiente provenientes de la actividad industrial, el transporte y el consumo de energía. Por ello, es esencial implementar estrategias eficaces y sistémicas para reducir la contaminación en todos los sectores de la sociedad. En este contexto, es clave investigar y conocer los mecanismos a nivel macro que configuran el rendimiento ambiental —es decir, es vital comprender cómo los países gestionan la contaminación según las diferentes dinámicas e interrelaciones existentes a nivel macro. Conocer estos factores y determinar cómo interactúan para influir en los resultados ambientales es crucial a la hora de diseñar políticas basadas en la evidencia empírica que sirvan para definir estrategias de desarrollo más limpias, saludables y sostenibles.

El presente estudio tiene como objetivo analizar el papel del entorno macro en el rendimiento ambiental de los países. En este estudio, el rendimiento ambiental (o "pollution performance" en inglés) se refiere al nivel de contaminación que resulta de configuraciones específicas de factores macro, determinando así si un país muestra un alto o bajo éxito en el control de la contaminación bajo determinados contextos estructurales

macro. Este trabajo se enfoca, por tanto, en el *landscape level* de la perspectiva multinivel de la teoría de transición de Geels (2011). Este enfoque incluye tres niveles interrelacionados (Morone et al., 2016): (1) el paisaje socio técnico (nivel macro), (2) el régimen socio técnico (nivel meso), y (3) las innovaciones de nicho (nivel micro). El término “paisaje” hace referencia a tendencias de largo plazo y factores macro sociales como la geografía, demografía, economía y cultura política (Hess y Mai, 2014). Los factores que influyen en la contaminación pueden abarcar desde elementos micro y meso hasta factores a nivel macro.

Aunque la literatura ha examinado algunos aspectos macro del rendimiento ambiental (véase Hakimi y Hamdi, 2016; Sweidan y Alwaked, 2016; Dogan y Aslan, 2017; Dong et al. 2018; Cheng et al. 2019; Owusu, 2025; entre otros), varios elementos del mecanismo macro que configura el rendimiento ambiental siguen estando poco explorados aún. En primer lugar, la literatura ha pasado por alto en gran medida los efectos que surgen de las múltiples interacciones entre factores macro. Como resultado, los caminos o *pathways* hacia un alto rendimiento ambiental (es decir, bajos niveles de contaminación) bajo condiciones macro interactivas siguen siendo considerablemente desconocidos. En segundo lugar, aún no se ha explorado con profundidad cómo operan los factores macro en distintos contextos económicos (durante períodos de crisis frente a períodos de crecimiento, así como en distintos tipos de crisis o expansiones).

Dada la relevancia de reducir la contaminación y las lagunas de conocimiento antes mencionadas, este estudio busca identificar los mecanismos sinérgicos y variables en el tiempo mediante los cuales el entorno macro moldea el rendimiento ambiental. Para ello, se adopta un enfoque triple. En primer lugar, este trabajo busca determinar si el entorno macro moldea el rendimiento ambiental a través de un mecanismo de múltiples interacciones, identificando las interdependencias entre las dimensiones macro que impulsan dicho rendimiento. Para ello, se emplea el análisis comparativo cualitativo basado en conjuntos difusos (*fsQCA*, por sus siglas en inglés), junto con el marco PEST (Político, Económico, Social y Tecnológico) desarrollado por Fahey y Narayanan (1986). Este marco sirve como herramienta guía para organizar el conocimiento relevante sobre el entorno macro e incluye las siguientes dimensiones:

- Dimensión política: se relaciona con la estructura del Estado, la gobernanza y el proceso de formulación de políticas. Factores típicos en esta dimensión incluyen la estabilidad política, las políticas ambientales y el marco legislativo.
- Dimensión económica: se refiere a la situación del mercado laboral, el nivel de desarrollo económico y las condiciones financieras.
- Dimensión social: abarca las características sociales del país, como la demografía, la educación y los recursos humanos.
- Dimensión tecnológica: hace referencia a la disponibilidad de innovación y tecnología.

La aplicación conjunta del análisis fsQCA y del marco PEST permite identificar combinaciones de dimensiones macro que conducen a un alto o bajo rendimiento ambiental. Esta primera perspectiva empírica permite, por tanto, analizar la naturaleza sinérgica de los factores macro que configuran el rendimiento ambiental.

2. OBJETIVOS

Mediante la combinación de las metodologías fsQCA y PEST, el estudio investiga los factores impulsores a nivel macro del rendimiento ambiental en diferentes contextos económicos. Además, se realiza un análisis detallado para descubrir la estructura interna de estos mecanismos macro, examinando las complejas interdependencias entre las dimensiones macro y determinando cuándo y cómo ciertas dimensiones desempeñan un papel clave o complementario en la configuración del rendimiento ambiental. Los resultados contribuyen a una comprensión más profunda de las interdependencias a nivel macro y de sus interacciones, lo cual es fundamental para la formulación de políticas efectivas relacionadas con la contaminación.

3. METODOLOGÍA Y DATOS

3.1. DATOS

El análisis empírico se ha llevado a cabo para veinticuatro países de la Unión Europea. Los países de la UE comparten una base común

bastante amplia en materia de política ambiental, pero también exhiben características socioeconómicas diferentes. Esto convierte a este conjunto de países en un caso particularmente interesante para realizar comparaciones entre países. Solo Malta, Chipre y Estonia fueron excluidos del análisis debido a la falta de disponibilidad de datos.

3.2. INDICADORES

3.2.1. Rendimiento ambiental

El CO₂ por unidad de PIB se utiliza como un indicador del rendimiento ambiental. Bajos niveles de CO₂ por unidad de PIB indican un mayor rendimiento ambiental. El CO₂ por unidad de PIB se obtiene de la Base de Datos de Emisiones de la UE para la Investigación Atmosférica Global. La Tabla 1 indica para esta variable su acrónimo, descripción y unidad de medida.

TABLA 1.

Variable	Acrónimo	Descripción	Unidad de medida
Rendimiento ambiental	PP	Emisiones de CO2 por unidad de PIB	TCO2/kUSD PIB

3.2.2. Indicadores de las dimensiones macro

Siguiendo el trabajo de Chen et al. (2021), la dimensión macro política (DP) se representa mediante el número de políticas relacionadas con el clima. Estos autores utilizan esta variable como un indicador indirecto del apoyo público nacional a la acción climática. El apoyo público a la acción climática refleja las dinámicas generales que configuran el entorno macro político e institucional en relación con el rendimiento ambiental. Polzin et al. (2015) también emplean esta variable: en su caso, usan una variable ordinal medida por el número de políticas activas (relacionadas con el sector de energías renovables), bajo el supuesto de que un mayor número de políticas favorece la inversión. Además, los autores indican que este tipo de medida permite realizar comparaciones entre países. Por lo tanto, el número de políticas climáticas parece una

elección adecuada para llevar a cabo nuestro análisis. La variable de políticas climáticas se obtiene de la base de datos de la OCDE. Se calcula como la suma de políticas sectoriales, intersectoriales e internacionales por país y por año.

La dimensión macro económica se analiza desde una perspectiva triple. Primero, siguiendo a Neves y Marques (2022) y García-Velasco y Fuensanta (2025), el PIB per cápita se utiliza como un indicador del ingreso y del desarrollo económico (DE). Segundo, para considerar mejor el contexto económico y en línea con el trabajo de García-Velasco y Fuensanta (2025), también se incorpora al estudio la tasa de desempleo (U). Ambas variables se obtienen de Eurostat. En tercer lugar, se emplea el índice CLIFS (Composite Indicator of Systemic Stress), calculado por el BCE (véase Duprey et al., 2015), como indicador del acceso al capital financiero. El CLIFS mide el estrés financiero, es decir, las disrupciones y turbulencias que ocurren simultáneamente en varios segmentos del mercado financiero. Captura una amplia gama de dinámicas que influyen en el acceso al crédito, incluyendo aumentos en el coste de la intermediación crediticia, interrupciones en la oferta de crédito y tensiones en los mercados de deuda soberana. Un mayor estrés financiero puede llevar a los prestamistas a adoptar una actitud más cautelosa frente a la concesión de crédito a consumidores y empresas involucradas en iniciativas verdes (Hondroyannis et al., 2024). Esto puede traducirse en un aumento de los costes de financiación y/o en criterios de préstamo más estrictos, lo que en última instancia limita la cantidad de capital disponible para dichas iniciativas. En consecuencia, el CLIFS actúa como un indicador integral de las principales dinámicas que afectan al acceso al capital financiero.

Para aproximar la dimensión macro social (DS), el presente estudio utiliza el porcentaje de la población en edad de trabajar con educación terciaria. Esta variable se obtiene de Eurostat y abarca la educación terciaria de ciclo corto, el nivel de licenciatura o equivalente, el nivel de máster o equivalente, y el nivel de doctorado o equivalente.

Por último, la dimensión macro tecnológica (DT) se aproxima mediante el número de solicitudes de patentes, siguiendo los estudios de Erdogan (2021), Wang et al. (2024) y Tinnefeld et al. (2025). Estos autores

recurren a las solicitudes de patentes para reflejar la innovación tecnológica. El uso de este tipo de indicador se justifica en que el número de solicitudes de patentes refleja la intensidad del proceso innovador. Además, indica el esfuerzo en términos de inversión en investigación y desarrollo que están llevando a cabo las empresas (véase European Innovation Council and SMEs Executive Agency, 2023).

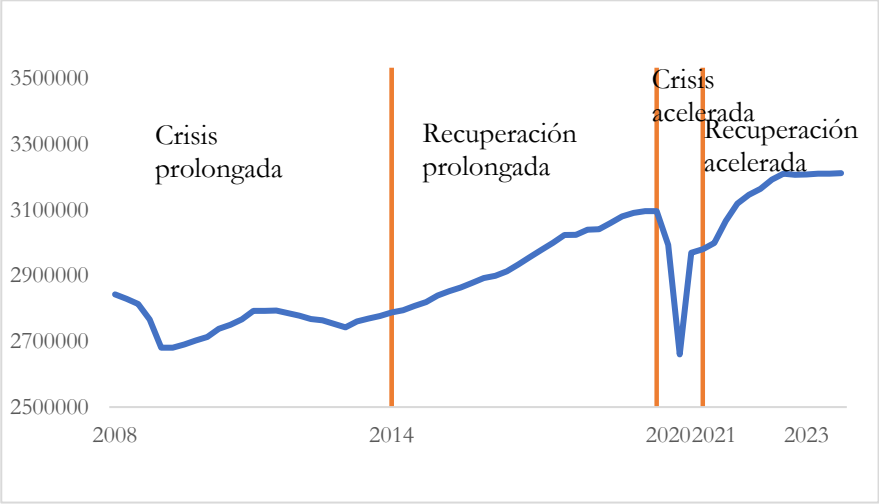
3.3. PERIODOS DE ANÁLISIS

El mecanismo macro que configura el rendimiento ambiental puede mostrar una operatividad variable según los distintos contextos económicos, es decir, en períodos de crisis y recuperación, los cuales pueden constituir verdaderos "puntos de inflexión" (game-changers), según la definición de Loorbach et al. (2016). Además, no todas las crisis ni todos los períodos de recuperación presentan las mismas dinámicas. El Gráfico 1 muestra la evolución del PIB de la UE desde 2008. Según dicho gráfico, durante este período la UE ha atravesado dos crisis y dos períodos de recuperación, aunque de naturaleza distinta. En concreto, cada uno de estos episodios económicos presenta las siguientes características:

- Crisis de 2008-2013: crisis prolongada, de ritmo lento y con forma de W.
- Recuperación de 2014-2019: prolongada y de ritmo lento.
- Crisis del COVID (2020): crisis abrupta y de ritmo acelerado, con forma de V.
- Recuperación de 2021-2023: de ritmo acelerado.

Por tanto, el análisis se realiza por separado para cada uno de estos episodios económicos (el sub período 1 comienza en 2010 debido a la disponibilidad de datos). Siguiendo a Chen et al. (2023), el análisis fsQCA se lleva a cabo tomando el valor promedio de las variables para cada uno de los períodos anteriormente descritos.

GRÁFICO 1. *Evolución del PIB en la UE.*



Fuente: Banco Central Europeo

3.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO COMPARATIVO

El Análisis Cualitativo Comparativo de Conjuntos Difusos (fsQCA) ha sido considerado como el enfoque metodológico más adecuado para este estudio por varias razones.

En primer lugar, el fsQCA es especialmente útil para analizar la complejidad causal entre un conjunto de variables o condiciones. En lugar de aislar el efecto de variables individuales, el fsQCA examina cómo múltiples factores interdependientes interactúan para producir un resultado determinado (Rihoux y Ragin, 2008; Xue et al., 2024). Esto lo convierte en una herramienta particularmente adecuada para analizar los efectos configuracionales de las dimensiones macro Política, Económica, Social y Tecnológica (PEST) en el rendimiento ambiental.

En segundo lugar, el fsQCA permite identificar trayectorias equifinales, lo que significa que puede revelar múltiples combinaciones alternativas de condiciones que conducen al mismo resultado (Fainshmidt et al., 2020). A través de esta perspectiva, el análisis permite identificar diversas configuraciones macro que conducen a altos niveles de rendimiento ambiental.

En tercer lugar, el fsQCA facilita la exploración de la causalidad asimétrica, es decir, la idea de que las condiciones que llevan a la ausencia de un resultado no son necesariamente inversas a aquellas que llevan a su presencia (Fainshmidt et al., 2020). Esto contrasta con los supuestos de los métodos tradicionales, que a menudo presumen una simetría causal. Por ejemplo, investigaciones previas han asumido que si un factor macro contribuye al aumento de la contaminación, su ausencia debería reducirla. Sin embargo, el fsQCA cuestiona esta suposición y permite una comprensión más matizada de cómo distintas configuraciones de factores macro pueden contribuir de manera única tanto a resultados ambientales positivos como negativos.

4. RESULTADOS

4.1. CALIBRACIÓN DE LOS DATOS

La calibración de los datos es el primer paso en la implementación del fsQCA. La calibración se define como el proceso mediante el cual los datos brutos se transforman en puntuaciones de pertenencia a cada conjunto (Ding, 2022). Este estudio emplea el método de calibración directa y especifica tres valores de referencia para las variables: el umbral para la pertenencia total, el punto de cruce, y la no pertenencia total.

Siguiendo a Woodside (2013); Andrews et al. (2016); Pappas y Woodside (2021); Zhao y Fang (2021); Ding (2022); Ma y Liu (2023) y Liao y Wu (2024), entre otros autores, este estudio ha asignado los percentiles 95, 50 y 5 de los datos originales como los umbrales para pertenencia total, punto de cruce y no pertenencia total a los conjuntos, respectivamente.

4.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES NECESARIAS

Después de la calibración de las variables, debe evaluarse si cada una de las variables es necesaria con carácter previo a la identificación de las condiciones suficientes. Una condición se considera necesaria para alcanzar un determinado resultado cuando todos los países que presentan ese resultado poseen dicha condición.

Según la Tabla 2, el valor de consistencia de cada variable individual, a lo largo de los períodos y dimensiones de la contaminación analizados, es inferior al valor crítico de 0.9. Es decir, cada variable puede explicar el resultado del desempeño ambiental hasta cierto punto, pero ninguna de ellas es una condición necesaria para dicho resultado.

Por lo tanto, el desempeño en materia de contaminación no puede ser determinado únicamente por una condición macro específica, sino que se explica por la interacción de múltiples condiciones macro.

TABLA 2.

	2010-2013		2014-2019		2020		2021-2023	
	Cons.	Cov.	Cons.	Cov.	Cons.	Cov.	Cons.	Cov.
DE	0.74	0.74	0.73	0.79	0.73	0.81	0.73	0.79
~DE	0.48	0.51	0.52	0.53	0.57	0.54	0.62	0.56
U	0.61	0.67	0.61	0.71	0.68	0.79	0.68	0.76
~ U	0.65	0.63	0.69	0.64	0.66	0.61	0.68	0.61
CLIFS	0.58	0.69	0.65	0.67	0.58	0.59	0.66	0.69
~ CLIFS	0.68	0.63	0.61	0.65	0.70	0.72	0.63	0.59
DT	0.62	0.80	0.61	0.78	0.63	0.78	0.61	0.74
~ DT	0.63	0.54	0.63	0.55	0.62	0.54	0.65	0.54
DS	0.69	0.70	0.73	0.74	0.75	0.75	0.76	0.77
~ DS	0.53	0.56	0.49	0.53	0.50	0.53	0.57	0.55
DP	0.76	0.75	0.74	0.74	0.77	0.78	0.75	0.71
~DP	0.54	0.58	0.55	0.60	0.54	0.56	0.53	0.55

DE= alto nivel desarrollo económico; ~DE= bajo nivel desarrollo económico; U= desempleo elevado; ~ U=desempleo reducido; CLIFS= alto nivel de riesgo financiero y sistémico; ~ CLIFS= bajo nivel de riesgo financiero y sistémico; DT=alto nivel de desarrollo tecnológico; ~ DT= bajo nivel de desarrollo tecnológico; DS= entorno social favorable; ~ DS=entorno social desfavorable; PD=entorno político favorable; ~PD= entorno político desfavorable; Cons.=consistencia; Cov.=cobertura.

4.3. ANÁLISIS DE CONFIGURACIONES

El tercer paso en el procedimiento de fsQCA consiste en realizar un análisis de la tabla de verdad para identificar combinaciones de condiciones que sean suficientes para generar los resultados de interés. Dado que el análisis incluye 24 países, se establece un umbral de frecuencia de 1 con el fin de conservar la mayor cantidad posible de casos reales, en línea con investigaciones previas (Dumbrell et al., 2021; Ding, 2022; Feng et al., 2024; Liao y Wu, 2024).

Además, siguiendo a Dumbrell et al. (2021) y Gkillas et al. (2022), se aplica un umbral de consistencia de 0,8 para garantizar una mayor solidez analítica.

El análisis de la tabla de verdad genera tres tipos de soluciones: la compleja, la intermedia y la parsimoniosa (simple), cada una obtenida a través de procedimientos estandarizados. Las medidas interpretativas utilizadas en el análisis de suficiencia son la consistencia de la solución y la cobertura de la solución. La consistencia refleja el grado en que el resultado se asocia sistemáticamente con las configuraciones identificadas, mientras que la cobertura indica la proporción de casos que presentan el resultado y que están explicados por dichas configuraciones.

Según Ragin (2009) y Woodside y Zhang (2013), los umbrales aceptables son una consistencia mínima de 0.75 y una cobertura entre 0.25 y 0.90, lo que garantiza la existencia de relaciones significativas desde la lógica de conjuntos. Los análisis de suficiencia presentados a continuación cumplen con estos criterios en todos los períodos económicos considerados.

Las soluciones se representan utilizando notaciones convencionales: ● indica la presencia de una condición núcleo, es decir, una condición determinante o esencial para una configuración; ⊗ indica la ausencia de una condición núcleo; ● indica la presencia de una condición periférica, es decir, una condición de apoyo o complementaria de las condiciones núcleo; ⊗ indica la ausencia de una condición periférica; un espacio en blanco indica que la presencia o ausencia de la condición es irrelevante para alcanzar el resultado.

Las Tablas 3 a 6 presentan tanto las configuraciones de primer orden como las de segundo orden. Las configuraciones de segundo orden son aquellas que comparten las mismas condiciones núcleo pero difieren en las condiciones periféricas (Fiss, 2011; Liu et al., 2024).

4.3.1. Configuraciones expansión económica

TABLA 3.

Alto rendimiento ambiental Expansión económica													
	Prolongada							Acelerada					
	S1		S2			S3		F1	F2		F3		
	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S3a	S3b		F2a	F2b	F3a	F3b	F3c
DE	●	●	●	●	⊗	●	●	●	●	⊗	⊗		●
U	⊗		⊗	●	●	●	⊗			●		⊗	●
CLIFS		●	●	⊗	●		●		⊗	⊗	●	●	●
DT	●	●	●	●	⊗	●	⊗	●	●	⊗	⊗	⊗	●
DS	●	●		⊗	⊗	●	●	●		⊗	●	●	●
DP	●	●	●	●	●	⊗	⊗	●	●	●	⊗	⊗	
C.b.	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3
C.u.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
C.	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9
C.s.	0.7							0.7					
Cn.s.	0.8							0.8					

DE= desarrollo económico; U= desempleo; CLIFS= nivel de estrés financiero y sistémico; TD=desarrollo tecnológico; SD= entorno social; PD= entorno político.
C.b.=Cobertura bruta; C.u.=cobertura única; C.=consistencia; C.s.=cobertura de la solución; C.n.s.=consistencia de la solución.

Se han identificado tres configuraciones de segundo orden que conducen a un alto desempeño ambiental (es decir, un bajo nivel de contaminación por unidad de PIB) en el período 2014-2019:

- S1: Macro entorno impulsado por el apoyo público y la educación. Las condiciones periféricas de desarrollo económico y tecnológico están presentes en ambas configuraciones. Las otras dos sub dimensiones económicas no necesitan ser

favorables. Las coberturas brutas son, respectivamente, 0.39 y 0.38. Los países que exhiben esta configuración son Dinamarca, Austria, Suecia, Francia, Irlanda y España.

- S2: Macro entorno impulsado por el apoyo público. Coberturas brutas de 0.33, 0.20 y 0.20, respectivamente. Mientras que en S2a y S2b el desarrollo económico y tecnológico aparecen como condiciones periféricas y se requiere un bajo nivel de desempleo o de riesgo financiero, en el caso de S2c todas las sub dimensiones macro, excepto el entorno político, resultan desfavorables. Sin embargo, solo Portugal encaja en esta trayectoria específica y su desempeño ambiental es casi intermedio. Por lo tanto, el papel de esta última configuración en la explicación de un alto desempeño ambiental es bastante insignificante. Los países que exhiben las configuraciones S2a y S2b son Dinamarca, Austria e Italia.
- S3: Macro entorno impulsado por la educación. Coberturas brutas de 0.27 y 0.20, respectivamente. Los países que presentan esta configuración son Lituania, Letonia y Luxemburgo.

La cobertura general de la solución es de 0.713. Es decir, estas configuraciones en conjunto explican casi el 71% de la pertenencia al alto desempeño ambiental.

En el caso de expansiones aceleradas, también se han identificado tres configuraciones de segundo orden:

- F1: Macro entorno impulsado por el apoyo público y la educación. Cobertura bruta de 0.51. Suecia, Dinamarca, Francia, Irlanda y España presentan esta trayectoria.
- F2: Macro entorno impulsado por el apoyo público. Coberturas brutas de 0.46 y 0.26, respectivamente. Las condiciones periféricas difieren: mientras que en F2a el desarrollo económico y tecnológico aparece como condición periférica, en F2b ninguna otra dimensión macro es favorable. Los países que encajan en F2a son principalmente Italia, España, Austria y Dinamarca. Portugal es el único país que encaja en F2b.

- F3: Macro entorno impulsado por la educación. Coberturas brutas de 0.272, 0.297 y 0.339. Las condiciones periféricas también difieren: mientras que en F3a y F3b ninguna otra dimensión macro es favorable (solo en F2b existe un bajo nivel de desempleo), en F3c sí están presentes desarrollo económico y tecnológico. Lituania, Letonia y Luxemburgo exhiben las trayectorias F3a y F3b, mientras que Suecia y Francia corresponden a la trayectoria F3c.

La cobertura general de la solución es de 0.782. Es decir, estas configuraciones en conjunto explican casi el 79% de la pertenencia al alto desempeño ambiental.

4.3.2. Crisis económicas

TABLA 4.

Alto rendimiento ambiental										
Crisis										
	Prolongada				Acelerada					
	S1	S2		S3	F1	F2			F3	
		S2a	S2b			F2a	F2b	F2c	F3a	F3b
DE	●	●	⊗	⊗	●	●	●	⊗	⊗	●
U	⊗		●	●		⊗	●	●		●
CLIFS		●	●	⊗		●	⊗	⊗	●	⊗
DT	●	●	⊗	⊗	●	●	●	⊗	⊗	⊗
DS	●		⊗	●	●			⊗	●	●
DP		●	●	⊗	●	●	●	●	⊗	⊗
C.b.	0.41	0.36	0.22	0.23	0.50	0.33	0.33	0.20	0.28	0.23
C.u.	0.20	0.13	0.08	0.09	0.07	0.02	0.02	0.03	0.08	0.03
C.	0.82	0.91	0.89	0.85	0.94	0.87	1	0.98	0.85	1
C.s.	0.77				0.75					
C.n.s.	0.84				0.84					

DE= desarrollo económico; U= desempleo; CLIFS= nivel de estrés financiero y sistémico; TD=desarrollo tecnológico; SD= entorno social; PD= entorno político.

C.b.=Cobertura bruta; C.u.=cobertura única; C.=consistencia; C.s.=cobertura de la solución; C.n.s.=consistencia de la solución.

Se han identificado tres configuraciones de segundo orden que conducen a un alto desempeño ambiental en el período 2010-2013:

- S1: Macro entorno impulsado por una alta educación. Cobertura bruta de 0.416.
- S2: Macro entorno impulsado por el apoyo público. S2a y S2b presentan coberturas brutas de 0.364 y 0.227, respectivamente.
- S3: presenta únicamente una cobertura bruta de 0.232; por lo tanto, el papel de esta configuración en la explicación de un alto desempeño ambiental es más bien insignificante.

En consecuencia, las trayectorias principales que explican un alto desempeño ambiental son aquellas en las que el desarrollo económico y tecnológico aparece como condición periférica. Suecia, Dinamarca y Francia presentan la trayectoria S1, mientras que Lituania y Letonia encajan en la trayectoria S2a.

En el caso de crisis aceleradas, se mantiene el mismo patrón para las tres configuraciones de segundo orden identificadas.

ANÁLISIS DE ASIMETRÍA

TABLA 5.

Bajo rendimiento ambiental Expansión económica								
	Prolongada			Acelerada				
	S1			F1	F2	F3	F4	F5
	S1a	S1b	S2c					
DE	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	●	●
U		●	●			●	⊗	⊗
CLIFS			●		●	⊗	●	●
DT	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	●	⊗
DS	⊗		⊗	⊗		⊗	●	●
DP	⊗	⊗		⊗	⊗		⊗	●
C.b.	0.54	0.46	0.36	0.57	0.50	0.32	0.24	0.21
C.u.	0.13	0.04	0.01	0.07	0.02	0.01	0.04	0.04

C.	0.84	0.85	0.89	0.88	0.92	0.90	0.97	0.8
C.s.	0.65			0.80				
C.n.s.	0.77			0.79				

DE= desarrollo económico; U= desempleo; CLIFS= nivel de estrés financiero y sistémico; TD=desarrollo tecnológico; SD= entorno social; PD= entorno político.

C.b.=Cobertura bruta; C.u.=cobertura única; C.=consistencia; C.s.=cobertura de la solución; C.n.s.=consistencia de la solución.

La principal razón que explica el bajo desempeño ambiental durante el período 2014-2019 es la ausencia o el bajo nivel de desarrollo tecnológico. Asimismo, un bajo nivel de desarrollo económico constituye una condición periférica común a las tres configuraciones. Los países que exhiben esta configuración son Croacia, Bulgaria, Grecia, República Checa, Eslovenia, Hungría, Letonia, Eslovaquia y Lituania. La cobertura general de la solución es de 0.65. Es decir, estas configuraciones en conjunto explican el 65% de la pertenencia al bajo desempeño ambiental.

En el caso de expansiones aceleradas, los bajos niveles de desarrollo económico, combinados con un escaso apoyo público y/o un bajo nivel educativo, representan las principales razones que explican el bajo desempeño ambiental.

TABLA 6.

Bajo rendimiento ambiental Crisis									
	Prolongada					Acelerada			
	S1			S2	S3	F1			F2
	S1a	S1b	S1c			F1a	F1b	F1c	
DE	⊗	⊗	⊗	●	●	⊗	⊗	●	●
U	●			⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
CLIFS		⊗	●		●	⊗	●	●	●
DT	⊗	⊗	⊗	●	●	⊗	⊗	●	●
DS	⊗	⊗	⊗	●	●			●	⊗
DP		●	⊗	⊗		⊗	⊗	⊗	●
C.b.	0.484	0.291	0.351	0.276	0.267	0.428	0.502	0.247	0.225
C.u.	0.119	0.038	0.050	0.0379	0.031	0.125	0.148	0.048	0.045

C.	0.854	0.946	0.929	0.938	0.890	0.874	0.924	0.973	0.804
C.s.	0.779					0.799			
C.n.s.	0.865					0.828			

DE= desarrollo económico; U= desempleo; CLIFS= nivel de estrés financiero y sistémico; TD=desarrollo tecnológico; SD= entorno social; PD= entorno político.
C.b.=Cobertura bruta; C.u.=cobertura única; C.=consistencia; C.s.=cobertura de la solución; C.n.s.=consistencia de la solución.

Dados los valores de cobertura bruta y cobertura única, las principales razones que explican el bajo desempeño ambiental en las crisis de ritmo lento son los bajos niveles de desarrollo económico y tecnológico, combinados con bajos niveles de educación superior. Los países que presentan estas trayectorias macro son Croacia, Eslovaquia, Portugal, Bulgaria, Hungría, Grecia, Polonia, República Checa, Rumanía y Eslovenia.

En el caso de las crisis aceleradas, los bajos niveles de desarrollo económico y tecnológico vuelven a ser los principales factores que explican el bajo desempeño ambiental, junto con bajos niveles de apoyo público. Los países que exhiben estas configuraciones son Bulgaria, Grecia, Croacia, República Checa, Eslovaquia, Eslovenia y Hungría.

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. IMPLICACIONES TEÓRICAS

Este estudio aplica las metodologías fsQCA y PESTEL de forma conjunta con el fin de contribuir a mejorar la comprensión de los mecanismos macro que configuran el desempeño ambiental. De esta manera, la aplicación del Análisis Cualitativo Comparativo de conjuntos difusos (fsQCA) dentro del marco PESTEL complementa los enfoques económicos tradicionales al revelar las dinámicas internas y las interrelaciones entre condiciones macro, así como al determinar cómo estos factores interactúan para configurar el desempeño ambiental en diferentes contextos económicos. De la implementación de este enfoque se han obtenido diversas implicaciones y aportaciones que enriquecen nuestra comprensión de los determinantes macro del desempeño ambiental.

En primer lugar, el desempeño ambiental no está determinado por una sola dimensión macro, sino por la interacción de múltiples dimensiones. Mientras que la literatura previa ha enfatizado los efectos aislados de variables individuales, este estudio obtiene que el desempeño ambiental se explica mejor a través de interacciones sinérgicas entre factores macro. En otras palabras, el entorno macro que influye en los resultados ambientales opera mediante causalidad conjuntural, lo cual requiere una perspectiva de múltiples interacciones. Los hallazgos destacan varias características clave de este mecanismo sinérgico:

- Las condiciones macro pueden desempeñar un papel núcleo o periférico. Las condiciones núcleo actúan como pilares fundamentales de una configuración, mientras que las periféricas cumplen una función de apoyo.
- La interacción entre condiciones núcleo y periféricas es esencial para alcanzar un alto desempeño ambiental. Las condiciones periféricas favorables refuerzan la eficacia de las condiciones núcleo.
- La interacción entre condiciones núcleo fortalece la capacidad de impulso de una configuración determinada. Cuantos más pilares núcleo incorpora una configuración determinada, mayor es su efecto sobre el desempeño ambiental.

Una implicación directa de esta estructura sinérgica es que el análisis de factores macro de manera aislada puede conducir a resultados engañosos o poco concluyentes. Por ejemplo, aunque este estudio identifica el desarrollo económico como un factor clave, su impacto positivo depende de la presencia de condiciones políticas, sociales y tecnológicas complementarias. Este resultado ayuda a explicar la ambigüedad persistente en la literatura respecto al papel del desarrollo económico y de otros factores macro, subrayando que el desempeño ambiental es inherentemente multidimensional y sensible al contexto.

En segundo lugar, el estudio identifica equifinalidad de primer y segundo orden en los mecanismos macro que configuran el desempeño ambiental. Es decir, diferentes configuraciones —ya sea basadas en condiciones núcleo distintas o en elementos núcleo comunes junto con

características periféricas diferentes— pueden conducir a niveles igualmente altos (o bajos) de desempeño ambiental. Esto confirma la existencia de equifinalidad macro, según la cual múltiples configuraciones distintas pueden generar resultados ambientales similares.

En tercer lugar, el enfoque basado en configuraciones revela un patrón de simetría en los mecanismos que influyen en el desempeño ambiental. En particular, las bajas emisiones per cápita tienden a surgir en entornos macro favorables, lo que refuerza la importancia de la alineación sistémica entre dimensiones macro para lograr progreso ambiental.

En cuarto lugar, la composición de las configuraciones macro que conducen a un alto desempeño ambiental varía según los distintos contextos económicos. Esto resalta la dependencia del contexto y la importancia de diseñar políticas adaptadas a las especificidades de los ciclos económicos, incluyendo períodos de crisis y recuperación.

En quinto lugar, dentro de la dimensión económica, el desarrollo económico emerge de manera consistente como el sub factor más influyente, mientras que el desempleo y el riesgo financiero juegan un papel más limitado en los resultados ambientales.

En cuanto a resultados específicos, el estudio resalta el papel crítico de los altos niveles de educación y del apoyo público para alcanzar bajas emisiones per cápita. Estos factores sociales y políticos resultan particularmente influyentes tanto en períodos de crisis como en tiempos de expansión económica, lo que sugiere que la inversión en capital humano y en una gobernanza inclusiva es esencial para un progreso ambiental sostenido.

5.3. LECCIONES DE POLÍTICA ECONÓMICA

Siguiendo a Liu et al. (2024), se ha utilizado el enfoque del ciclo de políticas (Lasswell, 1956) para contextualizar las implicaciones de política económica derivadas de los resultados de este estudio. Esta metodología permite alinear cada implicación con etapas específicas del ciclo: definición de la agenda, formulación, implementación y evaluación. De este modo, las lecciones de política aquí expuestas no solo se fundamentan en la investigación, sino que se presentan como una hoja

de ruta funcional para los responsables de políticas, ofreciendo una comprensión más clara de las particularidades del mecanismo macro que impulsa el desempeño ambiental.

En la etapa de definición de la agenda, resulta crucial destacar la necesidad de considerar el papel significativo tanto del macro entorno como de las interdependencias entre dimensiones macro en la configuración del desempeño ambiental. Los responsables de políticas deben reconocer además que la efectividad de este mecanismo varía según los contextos económicos.

En la etapa de formulación de políticas, los responsables deben diseñar estrategias que reflejen la naturaleza sinérgica y dependiente del contexto del mecanismo macro. Deben evitarse políticas que se basen exclusivamente en el crecimiento económico (o en cualquier otra dimensión aislada), ya que estas pueden generar efectos lineales y limitados. En cambio, la mejora simultánea de múltiples condiciones macro constituye un enfoque más eficaz, pues tales condiciones en conjunto pueden fomentar dinámicas que impulsen un alto desempeño ambiental. Es esencial centrarse en crear sinergias entre factores como la educación, el apoyo público ambiental, la innovación tecnológica y el desarrollo económico. Las estrategias deben priorizar aquellas condiciones que, dependiendo del contexto económico, juegan un papel núcleo en el impulso de un alto desempeño ambiental.

Debido a la equifinalidad demostrada en los resultados, los responsables de políticas disponen de cierta flexibilidad para elegir la estrategia macro que mejor se ajuste a las características, recursos y condiciones de su país. En otras palabras, existen trayectorias alternativas para alcanzar un alto desempeño ambiental, lo que permite adoptar enfoques diferenciados según cada contexto nacional. No obstante, las estrategias que fomentan la causalidad núcleo (aquellas que incorporan el mayor número posible de condiciones núcleo identificadas para un contexto dado) resultan más eficaces. Las condiciones núcleo no son meras sustitutas entre sí, sino que se refuerzan mutuamente; por ello, cuántos más pilares macro incorpore una estrategia, más potente será para alcanzar un alto desempeño ambiental.

En las etapas de implementación y evaluación, es esencial que el marco de políticas se mantenga adaptable y receptivo a los cambios en los contextos económicos y a los desafíos ambientales emergentes. La política debe ser sensible al contexto y lo suficientemente flexible como para ajustarse a posibles choques macro que puedan debilitar el desempeño ambiental.

6. CONCLUSIONES

La aplicación conjunta de fsQCA y el análisis PEST permite identificar las trayectorias macro que conducen tanto a un alto como a un bajo desempeño ambiental. Además, el análisis abarca cuatro contextos económicos distintos, con el fin de determinar si las diferentes condiciones económicas actúan como factores decisivos en la configuración macro del desempeño ambiental. Este doble enfoque empírico posibilita un examen más profundo de la naturaleza sinérgica y dinámica del mecanismo macro que configura el desempeño ambiental, aspectos que, hasta donde alcanza nuestro conocimiento, no han sido explorados de manera exhaustiva en estudios previos sobre los impulsores de la contaminación.

Los resultados confirman el papel crítico del macro entorno en la configuración del desempeño ambiental. Un alto desempeño se vincula con contextos macro favorables, mientras que un bajo desempeño parece estar asociado a entornos macro menos favorables. En este sentido, el entorno macro tiene el potencial de generar una transición verde a dos velocidades, ampliando la brecha entre los resultados ambientales de los países en función de sus respectivos desempeños a nivel macro.

Asimismo, los resultados revelan varias características clave del mecanismo macro que configura el desempeño ambiental:

Operatividad sinérgica: el mecanismo depende de la interacción de múltiples dimensiones macro para impulsar la reducción de la contaminación. Dado que la literatura existente se ha centrado principalmente en los efectos aislados de factores individuales, este resultado ayuda a explicar la controversia persistente en torno al papel del desarrollo económico y otras dimensiones macro en la configuración del desempeño ambiental.

Equifinalidad: el mecanismo exhibe una naturaleza equifinal, lo que significa que múltiples configuraciones macro pueden conducir al mismo resultado. Esto sugiere que distintos impulsores macro pueden desembocar en niveles de desempeño ambiental similares.

Dependencia del contexto: el mecanismo también depende del contexto, variando según las condiciones económicas. En particular, el apoyo público y la educación emergen como dimensiones clave que influyen en el desempeño ambiental.

Esta investigación contribuye a la literatura creciente sobre los factores macro determinantes de la contaminación, al profundizar en la comprensión del mecanismo macro que configura el desempeño ambiental. Complementa así estudios existentes al subrayar la naturaleza sinérgica y dependiente del contexto de los factores macro. Los conocimientos obtenidos pueden ayudar a los responsables de políticas a tomar decisiones informadas que refuercen la resiliencia y la eficacia del desempeño ambiental.

Si bien el presente estudio se centra en países de la Unión Europea, sus resultados presentan una amplia aplicabilidad global. Investigaciones futuras podrían explorar impulsores macro adicionales dentro del marco PEST, como es la estructura productiva, la rigurosidad de las políticas ambientales o el liderazgo político. Dada la naturaleza compleja del desempeño ambiental, futuros estudios también podrían incorporar otras sub dimensiones ambientales en el análisis. Finalmente, aunque este estudio es uno de los primeros en examinar el mecanismo macro de desempeño ambiental en distintos contextos económicos, sería conveniente que investigaciones posteriores exploren sub períodos económicos más específicos para afinar la comprensión de estas dinámicas.

7. REFERENCIAS

- Andrews, R., Beynon, M.J. & McDermott, A.M. (2016). Organizational Capability in the Public Sector: A Configurational Approach. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 26 (2), 239–258, <https://doi.org/10.1093/jopart/muv005>
- Chen, X., Fu, Q. & Chang, C.P.(2021). What are the shocks of climate change on clean energy investment: A diversified exploration. *Energy Economics*, 95, 105136, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105136>

- Chen, Y., Hong, J., Tang, M., Zheng, Y. & Ni, D. (2023). Causal complexity of environmental pollution in China: a province-level fuzzy-set qualitative comparative analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 15599–15615. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22948-3>
- Cheng C, Ren X, Wang Z, Yan C. (2019). Heterogeneous impacts of renewable energy and environmental patents on CO₂ emission-evidence from the BRIICS. *Science of the Total Environment*, 668, 1328–1338
- Ding, H. (2022). What kinds of countries have better innovation performance?—A country-level fsQCA and NCA study. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(4), 100215. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100215>
- Dogan E, Aslan A. (2017). Exploring the relationship among CO₂ emissions, real GDP, energy consumption and tourism in the EU and candidate countries: evidence from panel models robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 77, 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.111>
- Dong K, Hochman G, Zhang Y, Sun R, Li H, Liao H. (2018). CO₂ emissions, economic and population growth, and renewable energy: empirical evidence across regions. *Energy Economics*, 75, 180–192
- Dumbrell, N.P., Adamson, D., Zuo, A. & Wheeler, S. A. (2021). How do natural resource dependent firms gain and lose a social licence? *Global Environmental Change*, 70, 102355. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102355>
- Duprey, T., Klaus, B. & Peltonen, T. (2015). Dating systemic financial stress episodes in the EU countries. ECB Working Paper 1873.
- Erdogan, S. (2021). Dynamic Nexus between Technological Innovation and Building Sector Carbon Emissions in the BRICS Countries. *Journal of Environmental Management*, 293, 112780. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112780>
- European Innovation Council and SMEs Executive Agency., (2023). EPO Patent Index 2022: The Number of European Patent Applications Continues to Increase. News article. Retrieved from https://intellectual-property-helpdesk.ec.europa.eu/news-events/news/epo-patent-index-2022-number-european-patent-applications-continues-increase-2023-03-30_en.
- Fainshmidt, S., Witt, M.A., Aguilera, R.V. & Verbeke, A., 2020. The contributions of qualitative comparative analysis (QCA) to international business research. *Journal of International Business Studies*, 51, 455–466. <https://doi.org/10.1057/s41267-020-00313-1>
- Fahey, L. & Narayanan, V.K. (1986). Macroenvironmental Analysis for Strategic Management. West Publishing, Minnesota.

- Feng, Y., Gao, Y., Xia, X., Shi, K., Zhang, C., Yang, L., Yang, L. & Cifuentes-Faura, J. (2024). Identifying the path choice of digital economy to crack the “resource curse” in China from the perspective of configuration. *Resources Policy*, 91, 104912. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104912>
- Fiss, Peer C. (2011). Building better causal theories: a fuzzy set approach to typologies in organization research. *Academy of Management Journal*, 54 (2), 393–420. <https://doi.org/10.5465/amj.2011.60263120>
- García-Velasco Garzás, M. & Ruiz-Fuensanta, M.J. (2025). Analysing the expansion of the circular economy in the European Union: How important is the regional context? *Ecological Economics*, 231, 108560. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2025.108560>.
- Geels, F.W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1 (1), 24–40, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>.
- Gkillas, K., Manickavasagam, J. & Visalakshmi, S. (2022). Effects of fundamentals, geopolitical risk and expectations factors on crude oil prices. *Resources Policy*, 78, 102887. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102887>
- Hakimi A, Hamdi H. (2016). Trade liberalization, FDI inflows, environmental quality and economic growth: a comparative analysis between Tunisia and Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 58, 1445–1456. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.280>
- Hess, D.J. & Mai, Q.D. (2014). Renewable electricity policy in Asia: A qualitative comparative analysis of factors affecting sustainability transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 12, 31–46. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.04.001>
- Hondroyannis, G., Sardanou, E., Nikou, V., Evangelinos, K. & Nikolaou, I. (2024). Circular economy and macroeconomic performance: Evidence across 28 European countries. *Ecological Economics*, 215, 108002, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108002>.
- Lasswell, H.D. (1956). The Decision Process: Seven Categories of Functional Analysis, the Decision Process: Seven Categories of Functional Analysis.
- Lehmann, C., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T. & Damásio, B. (2022). Leveraging the circular economy: Investment and innovation as drivers. *Journal of Cleaner Production*, 360, 132146, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132146>.
- Liao, Z., & Wu, Y. (2024). Formal institutions, informal institutions, and firms' environmental innovation: An application of the fuzzy set qualitative comparative analysis method. *Sustainable Development*, 1–13. <https://doi.org/10.1002/sd.3151>

- Liu, Y., Zhang, Y., Zhao, X., Farnoosh, A. & Ma, R. (2024). Synergistic effect of environmental governance instruments embedded in social contexts: A case study of China. *Ecological Economics*, 220, 108153. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108153>.
- Loorbach D., Avelino F., Haxeltine A., Wittmayer J. M., O’Riordan T., Weaver P. & Kemp, R. (2016). The economic crisis as a game changer? Exploring the role of social construction in sustainability transitions. *Ecology and Society*, 21(4), 15. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08761-210415>
- Ma, Y. & Liu, C. (2023). Configuration analysis of influencing factors of energy-saving behaviors: From the perspective of consumers’ pro-environmental characteristics and environmentally friendly social atmosphere. *Energy*, 278, Part A, 127906, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127906>
- Morone, P., Lopolito, A., Anguilano, D., Sica, E. & Tartiu, V.E. (2016). Unpacking landscape pressures on socio-technical regimes: Insights on the urban waste management system. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 20, 62-74. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.10.005>
- Neves, S.A. and Marques, A.C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130865, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130865>.
- Owusu, S. (2025). Macroeconomic drivers of CO2 emissions: a panel estimation for African countries. *Empirica*, 52, 613–650 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10663-025-09644-4>
- Pappas, I. O. & Woodside, A. G. (2021). Fuzzy-set qualitative comparative analysis (fsQCA): Guidelines for research practice in Information Systems and marketing. *International Journal of Information Management*, 58, 102310. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2021.102310
- Polzin, F., Migendt, M., Täube, F.A. & Flotow, P. (2015). Public policy influence on renewable energy investments—a panel data study across OECD countries. *Energy Policy*, 80, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.01.026>
- Ragin, C.C. (2009). *Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and beyond*. Chicago: University of Chicago Press
- Rihoux, B., & Ragin, C.C. (2008). *Configurational Comparative methods: Qualitative comparative Analysis (QCA) and Related Techniques*. Sage Publications. <https://doi.org/10.4135/9781452226569>.
- Sweidan OD, Alwaked AA. (2016). Economic development and the energy intensity of human well-being: evidence from the GCC countries. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 55, 1363–1369. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.001>

- Tinnefeld, F., Swart, J. & Fumagalli, E. (2025). The green knowledge space: Climate change mitigation technologies in developing countries. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 55, 100944, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2024.100944>.
- Wang, i., Cheng, X., Pata, U.K., Li, R. & Kartal, M. T. (2024). Intermediating effect of mineral resources on renewable energy amidst globalization, financial development, and technological progress: Evidence from globe based on income-groups. *Resources Policy*, 90, 104798. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104798>
- Woodside, A. G. (2013). Moving beyond multiple regression analysis to algorithms: Calling for adoption of a paradigm shift from symmetric to asymmetric thinking in data analysis and crafting theory. *Journal of Business Research*, 66(4), 463–472. doi:10.1016/j.jbusres.2012.12.021
- Woodside, A.G. & Zhang, M. (2013). Cultural diversity and marketing transactions: are market integration, large community size, and world religions necessary for fairness in ephemeral exchanges? *Psychology and Marketing*, 30(3), 263–276. <https://doi.org/10.1002/mar.20603>
- Xue, B., Lin, Y., Ren, F. & Li, R. (2024). Business environment ecosystem and manufacturing upgrading: A configurational approach. *Economic Analysis and Policy*, 82, 1225-1237. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2024.05.011>.

SECCIÓN II.

TURISMO, TERRITORIO
Y SOSTENIBILIDAD LOCAL

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ZONAS TURÍSTICAS: EL CASO DEL SUR DE GRAN CANARIA

FEDERICA ZANE

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

1. INTRODUCCIÓN

En la zona sur de la isla de Gran Canaria, Islas Canarias (España), el turismo es el sector económico principal, caracterizado por un turismo masivo en un ambiente geográficamente complejo, lleno de valores patrimoniales culturales y naturales.

La zona sur de Gran Canaria es un lugar muy diversificado desde el punto de vista de la biodiversidad. Se ubica en la región de la Macaronesia, y se caracteriza por un ambiente paisajísticamente complejo, por ejemplo conservando el último sistema dunar todavía vivo de la isla de Gran Canaria (IGN²²). La economía de este lugar se basa prevalentemente en el turismo, desde los años 60 del siglo XX, y no tiene intención de parar. Reporta el Observatorio Turístico de Canarias (2023) que el modelo turístico canario está fuertemente basado en los recursos y no se apoya suficientemente en trabajo cualificado e inteligencia turística. Sin embargo, la isla no está de los riesgos del cambio climático. Algunos de estos riesgos a los que se enfrenta Gran Canaria son el crecimiento del nivel del mar, a estar rodeada de agua, la erosión costera, por el agua y el viento, y la subida de las temperaturas, tanto marinas como terrestres.

²² Instituto Geográfico Nacional.

2. OBJETIVOS

El área de estudio abarca los municipios de Mogán, San Bartolomé de Tirajana y Santa Lucía de Tirajana, y considera factores de riesgos cuales el aumento del nivel del mar, la erosión costera y la subida de las temperaturas.

Para el estudio, los objetivos son cuatro, y vierten principalmente alrededor de dos ejes:

- Evaluar los enfoques teóricos:
 - Estudiar las fluctuaciones económicas y presencia y presión turística en la zona de estudio,
 - Analizar y representar cartográficamente los efectos del cambio climático actuales y para la mitad del siglo 21.
- Relacionar los dos aspectos anteriores:
 - Determinar las estrategias para gestionar riesgos climáticos y turismo,
 - Sugerir mejoras basadas en los datos previos.

3. METODOLOGÍA

Para lograr lo objetivos propuestos, se usarán varias herramientas digitales y bases de datos que aportarán la información necesaria para el análisis y la representación de los inputs y los resultados.

Para el primer objetivo, se usará la base de datos del ISTAC, Instituto Canario de Estadística promovido por el Gobierno de Canarias²³, y de PROMOTUR (2025) que disponen de datos sobre los flujos turísticos y su repartición en el territorio. También se aprovechará un breve análisis bibliográfico y estadístico para entender las casuísticas del fenómeno turístico en Gran Canaria, y que ayudará a definir el área de estudio de manera crítica.

²³ El ISTAC - Gobierno de Canarias

Pasando al segundo objetivo, se usará la aplicación QGIS para representar cartográficamente el área de estudio así como los riesgos climáticos. Esto es posible con las capas, o bases de datos, que se pueden descargar y usar en la aplicación del sistema de información geográfica. Representando visualmente estos detalles se expresará de manera objetiva la razón por elegir la zona y los resultados serán respaldados gráficamente. Adicionalmente, se incorporarán gráficamente los números sobre la subida del nivel del mar.

Los objetivos tres y cuatro se alcanzarán gracias al análisis previo de los objetivos uno y dos, y cuyos resultados servirán para delinear la estrategia de impulso y mejora. Esta estrategia pretende basarse en una gestión ecoturística del destino, para preservar el patrimonio, gestionar el flujo de turistas y proporcionar ayuda para que el medioambiente y la infraestructura sean resilientes antes los desafíos del cambio climático.

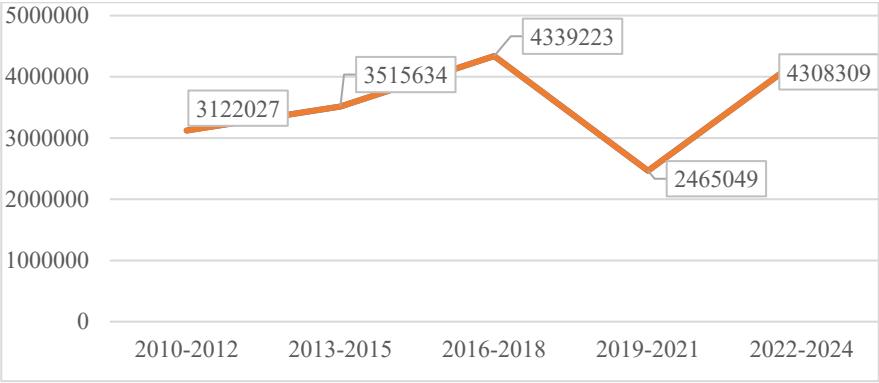
4. ANTECEDENTES

El turismo de sol y playa es un fenómeno muy conocido, cuya definición se ha institucionalizado hace más de 20 años. García Sánchez y Albuquerque García, en 2003, lo describen como una actividad anclada a las zonas costeras o de litoral y que se caracteriza por condiciones de relieve y climáticas favorables.

Desde la transición de una economía basada en el sector primario a una economía de servicios (Santana Santana y Pérez-Chacón Espino, 1988), Canarias ha seguido un modelo de turismo de masas apoyado por turoperadores internacionales, y este modelo sigue teniendo en las islas una relevancia que en otros destinos europeos continentales de sol y playa se ha ido perdiendo, con el fin de ser sustituidos por modelos más sostenibles y cercanos a las exigencias locales (Domínguez Mujica, 2008).

En la Comunidad Autónoma de Canarias, en específico, se desvela que los datos alcanzan los 16.211.000 turistas en 2024, un crecimiento de más del 7% con respecto a los datos del 2019, cuando llegaron unos 15.115.000 turistas (EXCELCAN, 2024). En la Tabla 1 se puede ver el incremento del número de turistas en los últimos catorce años, representados por trienios.

TABLA 1: incremento del número de turistas en la isla de Gran Canaria, 2010-2024



Nota: ISTAC, 2025

En la Tabla 1 se aprecia como, a parte el período 2019-2021 que fue el tiempo de la pandemia de Covid-19, en los últimos catorce años las llegadas han crecido alrededor del 30%, con un millón de turistas más en 2022-2024 con respecto a los años 2010-2012. Después de la pandemia de Covid-19, aunque se haya vuelto a replantearse el urbanismo de los varios municipios de Gran Canaria y de la zona sur de la isla, y la capacidad de carga de los espacios, no se ha procedido a realizar acciones concretas, y todavía falta mucho para evolucionar en tema de gestión del espacio y ordenación del territorio.

Los recursos naturales de sol a lo largo de todo el año y de las playas que delimitan el perímetro entero de la isla hacen de tal manera que los turistas lleguen sin necesidad de ofertarles ningún paquete turístico adicional, ni de delinear en aquel entonces (años 1960 – 1990) un modelo de negocio más complejo u organizado (Santana Santana y Pérez-Chacón Espino, 1988). La Organización Mundial del Turismo, en 2011, reconoce que:

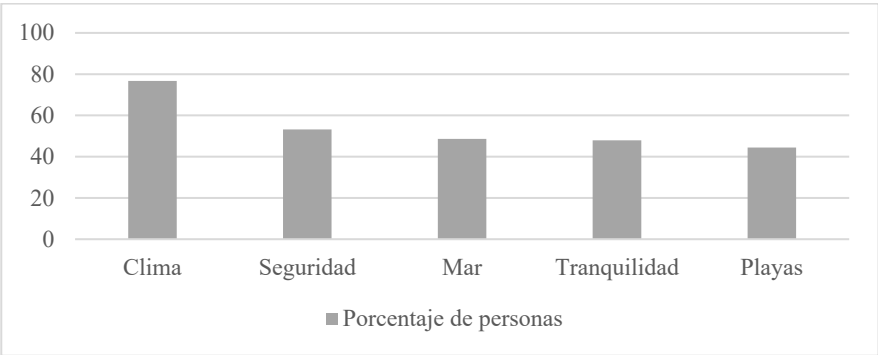
“los impactos de un crecimiento turístico desordenado son notables sobre los recursos naturales y el medio ambiente, amenazando la sostenibilidad tanto ambiental como social y económica de dichas actividades” (ONU Turismo, 2011).

Esto tiene repercusiones que se observan en las construcciones residenciales cerca de la zona costera, en la pesca y acuicultura, en la

navegación, en el turismo, en el uso del suelo y en el cambio climático (Sierra Márquez et al, 2021).

Este tipo de secuelas depende de las actividades y las preferencias de los turistas. Las principales actividades que realizan los turistas en Gran Canaria y las razones por que la eligen son las representadas en la Tabla 2.

TABLA 2: Principales razones por las que se elige Gan Canaria como destino para las vacaciones, 2024



Nota: Turismos de Islas Canarias, PROMOTUR, 2025. Elaboración propia

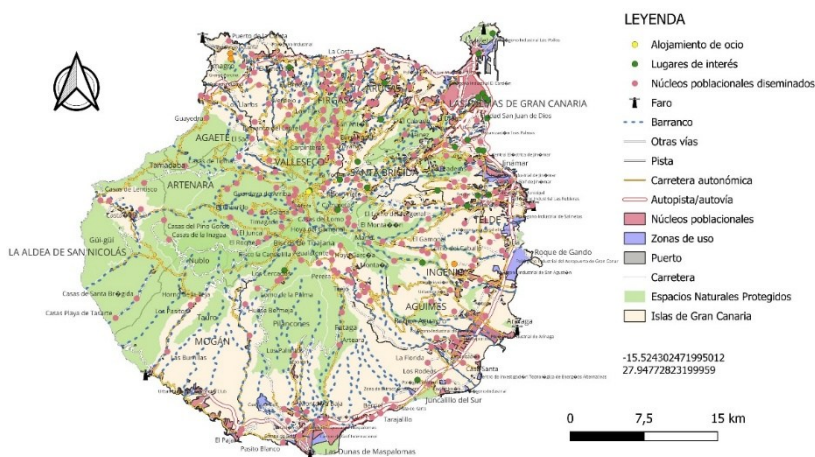
Se puede ver que la categoría “mar” es la tercera razón por la que los turistas eligen la isla para sus vacaciones. En general, esto suele ser por la oferta alojativa, que está ubicada en gran medida en la línea de costa, ofrece muchos paquetes de ofertas de “todo incluido” y también se debe a la alta concentración de actividades que se ofrecen cercanas a los alojamientos. El mismo informe además proporciona datos incluyendo los municipios de San Bartolomé de Tirajana y Mogán como los dos de Gran Canaria que acogen de media más de 500.000 pernoctaciones cada uno en el año 2022 (Observatorio Turístico de Canarias, 2023).

Este gran número de presencias turísticas junto con la alta concentración en un área muy pequeña hace que incremente la vulnerabilidad de la zona, y a su vez se amplifiquen los efectos negativos del cambio climático que afecta la costa sur de Gran Canaria.

4.1. ZONA DE ESTUDIO

Vistos los supuestos anteriores, y gracias a las estadísticas relacionadas, a continuación se presenta una figura de la isla de Gran Canaria, que justifica la elección de la zona de estudio.

FIGURA 1. Mapa de la isla de Gran Canaria, incluyendo topónimos, espacios naturales protegidos y cartografía básica de zonas urbanas



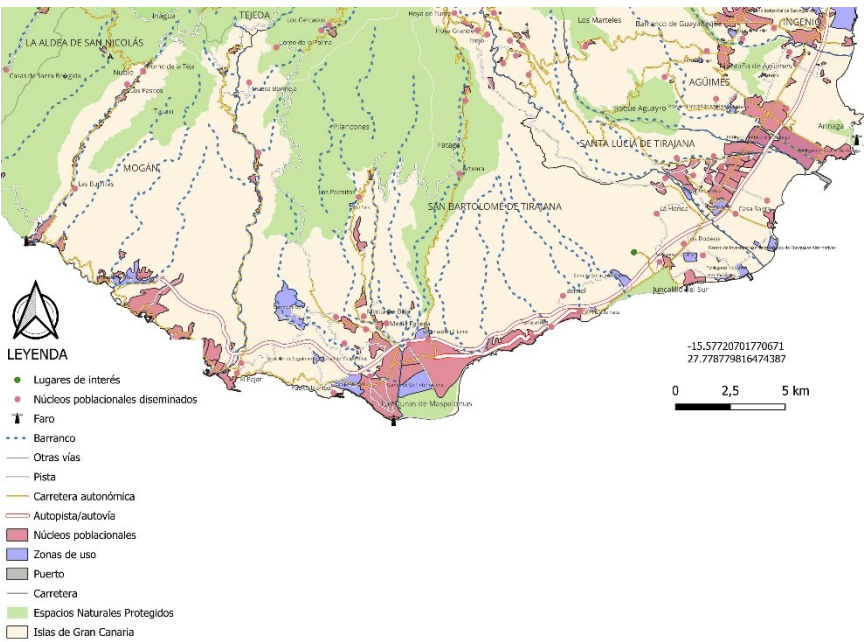
Fuente: IDECanarias, elaboración propia

Destacables en la Figura 1 son sobre todo las zonas rojizas, que representan asentamientos humanos, y las zonas verdes, que son los espacios naturales protegidos. Además, en azul aparecen los barrancos.

En la Figura 2, con una ampliación en la zona sur de la isla, se aprecia un enfoque más cercano a la zona sur de la isla, que incluye los municipios de Mogán, San Bartolomé de Tirajana y Santa Lucía de Tirajana, desde la izquierda hacia la derecha. El extremo sur representa la reserva natural especial de las Dunas de Maspalomas, espacio protegido de la Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos (Gobierno de Canarias), y se pueden destacar dos cosas: la primera, los asentamientos, que son sobre todo hoteles y servicios para el turismo, llegan hasta el espacio protegido; la segunda, justo en el borde del espacio protegido está el barranco de

Fataga, que termina en la famosa charca de Maspalomas, y que tiene unos valores naturales muy altos (Pérez-Chacón Espino et al, 2007).

FIGURA 2: Ampliación del mapa en la zona sur de la isla de Gran Canaria



Fuente: IDECanarias, elaboración propia

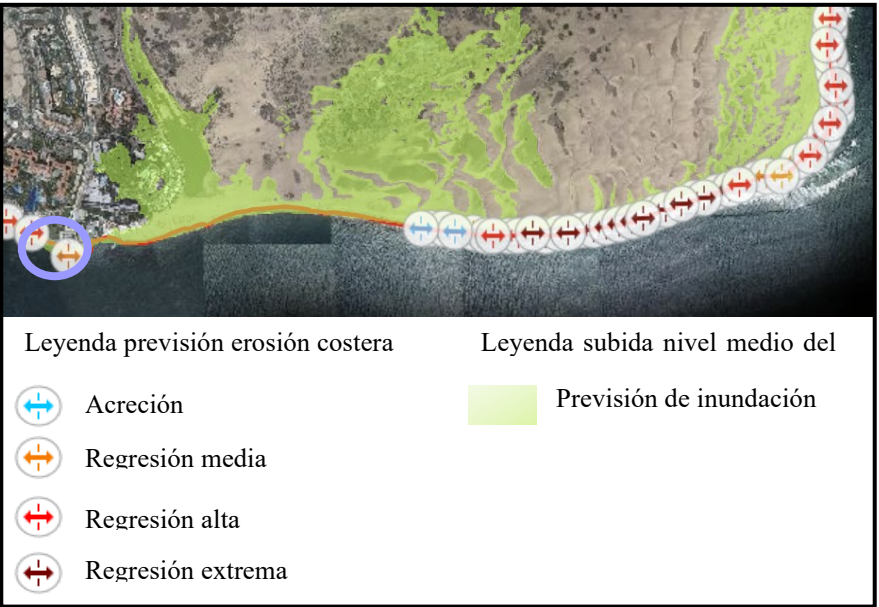
Juntando todos estos elementos, se denota como el cambio climático puede afectar la zona desde varias perspectivas, con un alcance negativo tanto en la flora y fauna de un espacio tan especial como deteriorar la infraestructura turística y residencial.

Los riesgos que afectan a este área tan vulnerable se han estudiado a lo largo de los últimos años, y gracias al Gobierno de Canarias se ha estudiado en el proyecto PIMA Adaptacostas las probabilidades futuras de impactos ambientales en el archipiélago canario entero.

Se ha usado el proyecto del visor PIMA en este estudio para evaluar los riesgos que impresionan a la zona sur de Gran Canaria y la probabilidad de afección al año 2050. En la Figura 3, dos fenómenos climáticos se representan. En verde, la inundación del suelo por la subida del nivel

del mar. Marcados con las flechas, de la manera recogida en la leyenda explicada a continuación, la erosión costera.

FIGURA 3. Representación de la probabilidad de fenómenos del cambio climático al año 2050, en zona turística con una Reserva Natural Especial y un yacimiento arqueológico



Fuente: PIMA Adaptacostas y Gobierno de Canarias.

En la parte izquierda de la Figura 3, la zona turística con hoteles, restaurantes, una amplia zona comercial y un yacimiento arqueológico protegido llamado Punta Mujeres (delimitado con un círculo lila en la Figura 3; FEDAC) se verían afectadas por la erosión de la costa, cuyo resultado será la pérdida de patrimonio cultural, de biodiversidad, y de ingresos turísticos por decrecimiento del suelo disponible. La zona con la representación de arena es el sistema dunar de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas, espacio natural protegido y último sistema dunar de Gran Canaria (Pérez-Chacón Espino et al, 2007).

5. ÁREAS DE ENFOQUE

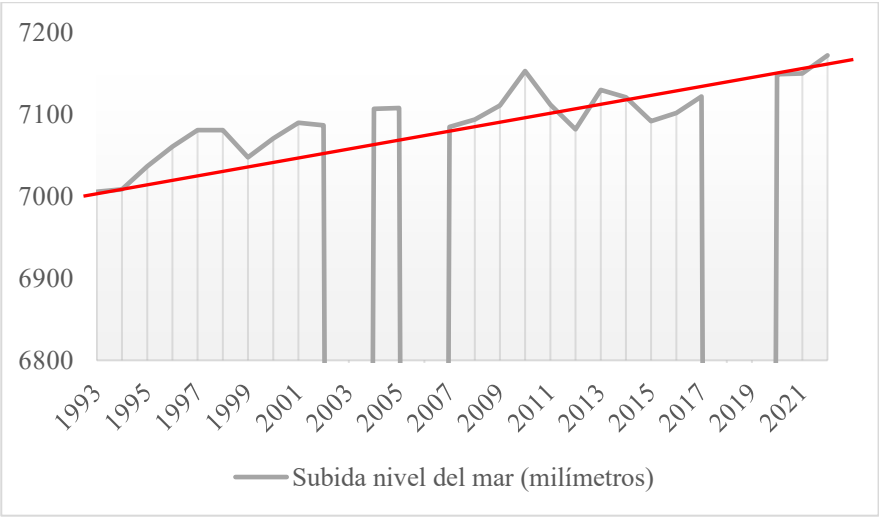
Las áreas de enfoques se pueden resumir así: por un lado, los valores sujetos a los cambios del clima, como el nivel del mar, la erosión y las

temperaturas, siguen creciendo a un ritmo que, si se analiza como un caso aislado y sin contexto externo o factores determinantes de la economía y la sociedad, no despiertan temores próximos o escenarios de catástrofe. Por otro lado, esto hay que sumarlo a varios hechos, como que la zona de estudio tiene una extensión de solo 441 km cuadrados, y alberga en el año 2024 más de 3 millones de turistas, la mayoría situados en la zona costera (ISTAC). Estos efectos del cambio climático suponen una pérdida de patrimonio natural y cultural, valor fundamental en el territorio como atracción para el turismo, como el caso del área protegida de las dunas de Maspalomas, o el yacimiento arqueológico de Punta Mujeres. El territorio se hace más vulnerable, los efectos del cambio climático se endurecen, y las llegadas turísticas se hacen insostenibles.

5.1. VALORES CLIMÁTICOS

Después de varios años de recogida de datos sobre la subida dl nivel del mar, en el Gráfico 1 se puede ver un resumen de dicha subida desde el año 1993 hasta el año 2022.

GRÁFICO 1: Subida del nivel del mar desde el año 1993 hasta el año 2022, en milímetros



Nota: Adaptado de PIMA Adaptacostas

Aunque los números parecen pequeños, marcando con la línea roja una subida en 40 años de un milímetro y medio, eso hace que la preocupación se ponga en los eventos futuros y en la consideración de que el nivel de la subida se intensifica a medida que pasa el tiempo y no se realizan cambios medioambientales.

Los estudios de los fenómenos pasados ayudan a comprender los valores climáticos y hacer pronósticos mas detallados para el futuro. Otro ejemplo es el Atlas Climático de Canarias, de Luque et al (2024). La peculiaridad de este Atlas es que, en lugar de usar una resolución entre 200 y 300 metros, este usa una resolución a 100 metros. En territorios con islas tan pequeñas y a la vez geográficamente peculiares como las que componen el archipiélago canario, ha sido fundamental cambiar las mediciones para adaptarlas al entorno (Luque et al, 2024).

Gracias a este Atlas y al proyecto PIMA Adaptacostas, se pueden rescatar datos de los últimos 50 años para ver los cambios más recientes (Luque et al, 2024), y a la vez usar le visor para poder hacer las estimaciones de los cambios futuros (PIMA Adaptacostas).

Los fenómenos que afectan a la costa y su crecimiento se resumen a continuación (PIMA Adaptacostas²⁴):

- Aumento nivel del mar: ± 3 mm/año
- Erosión costera: 6,17 toneladas por hectáreas por año (t.ha.año)²⁵
- Temperaturas: $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$

A largo plazo, las zonas costeras donde hay actividades turísticas y áreas residenciales directamente a contacto con el mar necesitarán de un modelo de gestión que recalcule las probabilidades de pérdida de suelo y que garantice una alternativa para la seguridad de las personas.

²⁴ Informe del proyecto PIMA Adaptacostas, leído y analizado para este estudio en 2025.

²⁵ Subdirección General de Política Forestal y Lucha contra la Desertificación del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (2008).

5.2. HERRAMIENTAS DE PLANEAMIENTO Y MEDICIÓN

Contrastar esos valores y preservar el territorio y su biodiversidad se hacen clave en un área cuyos ecosistemas y sistema económico se ven afectados por los cambios climáticos. En este escenario, es necesario perpetuar acciones con enfoques variados y con objetivos estratégicos. A continuación, los cinco ejes que representan una muestra de esas direcciones.

5.2.1. Herramientas digitales

El uso de tecnologías como la realidad virtual, la inteligencia artificial y el internet de las cosas son el nuevo avance para mejorar la experiencia del turista. Esto serviría, por ejemplo, para la reserva de alojamientos o la planificación de itinerarios, así como para la activa preservación del Patrimonio, y para que el turista pueda conocer el lugar gracias a las herramientas tecnológicas (Chávez, J., n.d.²⁶). Tampoco hay que olvidar que este tipo de herramientas son una gran ayuda en casos de discapacidad física y sensorial, que permitiría una mayor inclusión.

Sin embargo, hay otras herramientas digitales, como las usadas en este estudio, que hay que considerar. Una aplicación de inteligencia artificial para diseñar escenarios a largo plazo basados en datos actuales, y que pueda ayudar a integrarse en los sistemas de información geográfica, podría abrir puertas a mayores desarrollos y la consiguiente implementación de estrategias más específicas para la mitigación de los efectos e impactos negativos. Usar una herramienta como la *Geospatial Artificial Intelligence* de ESRI²⁷ beneficiaría a los técnicos y científicos en sus análisis.

5.2.2. Patrimonio

El ordenamiento territorial, o planificación de una región o zona terrestre, se relaciona con la adopción de decisiones sobre los destinos del suelo en aras de la consecución de un equilibrio territorial, así como de la coordinación y racionalización de actividades (Ruocco, 2018). La

²⁶ ¿Qué es la innovación turística? Una visión general

²⁷ Inteligencia artificial en la tecnología SIG | IA geoespacial

inclusión del Patrimonio en la gestión de un destino, y en enlace entre los varios tipos de bienes y, en general, patrimonios, ayuda a que el área sujeta a estos cambios pueda desarrollar una oferta más completa, incluyendo más stakeholders, residentes e instituciones. En se hecho necesaria la inclusión de las comunidades locales, para que el turismo sea bien recibido y para que no se cree descontento (Marrero Rodríguez, 2006). También es útil que la misma población conozca el patrimonio de su localidad, dado que de esta manera se podrá difundir su importancia y a la vez se consigue que la educación social crezca.

5.2.3. Infraestructura

La adopción de prácticas sostenibles en la industria turística, como el uso de energías renovables, la gestión responsable de los recursos naturales y la promoción de actividades de bajo impacto ambiental, se refleja en la infraestructura de un destino turístico.

Esta infraestructura se refiere por una parte a los equipamientos, entendidos como el conjunto de servicios, dotaciones, infraestructuras, instalaciones y medios —humanos y materiales— de distinta índole según su funcionalidad —de recepción y acogida de los usuarios, de divulgación, de recorrido, uso, conocimiento y disfrute, así como de interpretación y educación ambiental—, y por otra, a la oferta ampliamente diversificada de actividades, que conforman los programas de acogida de los usuarios (Leno Cerro, 1993).

En cualquier instrumento de ordenamiento territorial debe tenerse en cuenta que las áreas de amenaza alta deben favorecer acciones de prevención y control urbanístico (Ruocco, 2018).

5.2.4. Evaluación de riesgos

Herramientas como el visor PIMA Adaptacostas o su propia base de datos que recoge las mediciones hechas en el pasado ayudan en las tareas más teóricas para demostrar el crecimiento de los valores relacionados con los fenómenos climáticos.

Es preciso implementar el uso de este tipo de herramientas y los análisis con tecnologías de información geográficas para hacer escenarios de predicción más realísticos y poder establecer estrategias eficientes.

5.2.5. Estrategia

Hoy en día, hay muchos consejos y grupos de trabajo que se dedican a la comprensión y análisis de las casuísticas que afectan a los territorios, su población, y el crecimiento sostenible de los mismos. Una de las bases de estas estrategias es la Carta Europea del Turismo Sostenible (CETS), datada 1995, que analiza con criterios objetivos a los destinos que apuntan a ser sostenibles (EUROPARC España). Los cinco principios en los que se apoya esta Carta, y que permiten la evaluación de los destinos para su inclusión en la Carta misma, son los siguientes:

- Dar prioridad a la protección
- Contribuir al desarrollo sostenible
- Involucrar a todas las partes interesadas
- Planificar el turismo sostenible de un modo efectivo
- Perseguir la mejora continua.
- Mas recientemente, otro informe destacable es Plan España Puede, financiado a través del instrumento Next Generation UE. En su Componente 14, y como reportado en el Informe SEGITTUR de 2021²⁸, se promocionan cuatro ejes que respaldan esta necesidad de encontrar una estrategia adecuada y que se encuentra en línea con las áreas de este estudio:
- Transformar el modelo turístico hacia la sostenibilidad.
- Fomentar la digitalización e inteligencia de destinos y del sector.
- Desarrollar estrategias de resiliencia para territorios extrape-ninsulares, como es Canarias en este caso

²⁸ Informe SEGITTUR

- Generar actuaciones especiales en el ámbito de la competitividad (SEGITTUR, 2021).

Una posible estrategia de gestión puede derivarse del ecoturismo. Sharpley (2006) identifica tres grandes bloques referenciales para definir el ecoturismo:

- Medioambiente: el ecoturismo tiene que ser de muy bajo impacto para que pueda seguir con su función de conservación de la flora, la fauna y el medio.
- Desarrollo: el ecoturismo tiene que involucrar a la población local, contando con su participación y control, para que haya unos beneficios socioeconómicos.
- Experiencia: el ecoturismo tiene que dar oportunidades de aprendizaje, con el fin de tener un encuentro significativo entre las comunidades locales y el medioambiente, y los turistas.

El ordenamiento territorial se relaciona con la adopción de decisiones sobre los destinos del suelo en aras de la consecución de un equilibrio territorial, así como de la coordinación y racionalización de actividades (Ruocco, 2018). Por lo tanto, la capacidad de un destino de ser competitivo respetando unos estándares de calidad y sostenibilidad a la vez que ofrece actividades a los turistas que respeten la cultura local y la promociones, ayuda con la estrategia para que considere no solo los beneficios económicos, sino también los sociales y medioambientales, no menos importantes (SEGITTUR, 2021).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sumando todos los valores del cambio climático, y considerando que la zona sur de Gran Canaria tiene una extensión aproximada de 441 km² y hospeda una media de 3,3 millones de turistas en el año 2024, se puede llegar a la conclusión que los efectos de propiciar este crecimiento sean devastadores para el ambiente y las personas que viven ahí (ca. 152.362 en 2024, ISTAC). Además, el territorio se ve expropiado

de sus bienes patrimoniales culturales y naturales, como el caso de las Dunas de Maspalomas o el área arqueológica de Punta Mujeres.

Aplicando la estrategia ecoturística de Sharpley (2006) a la zona sur de Gran Canaria, será posible delinear un modelo eficaz para la zona sur de Gran Canaria, que incluya las tres categorías y que a su vez enfoque las acciones teniendo en cuenta los riesgos del cambio climático que afectan al territorio.

6.1. PATRIMONIO

Cambio del modelo actual a pequeña y larga escala, para incluir herramientas de gestión basadas en modelos ecoturísticos. De esta manera se reduce la vulnerabilidad del territorio y se preservan los valores naturales y culturales.

Para que el patrimonio se pueda incluir en la gestión del turismo, hay que contar con expertos que sepan analizar la sostenibilidad ambiental, diseñando un plan de actuación eficiente, para cuidarlo y difundirlo adecuadamente. Proteger y promocionar el patrimonio natural y cultural ya se considera una necesidad estratégica desde la CETS (1995). Por otro lado, se necesitan instituciones que respeten y promuevan los varios bienes patrimoniales de un entorno con medidas de marketing concretas, como las que sugiere la ONU Turismo (2019).

6.2. CAMBIO CLIMÁTICO

Se ha podido ver con el Atlas Climático de Canarias y con los resultados del proyecto PIMA Adaptacostas como el archipiélago canario, en general, y la zona sur de la isla de Gran Canaria, en específico, han sido lugar de fenómenos climáticos anteriores y como lo serán en el futuro. Se propicia la realización de estudios más actualizados sobre los efectos a 50 y 100 años del cambio climático en la zona de estudio, con actualizaciones más cercanas en el tiempo y con una mayor variedad de escenarios.

En base a esto, la dinámica gubernamental y administrativa podrá, considerando la palabra de los expertos en el campo, proponer mejoras a nivel geográfico y estructural. La ordenación territorial deberá tener en cuenta los escenarios futuro para establecer unas modificaciones que

puedan cumplir en caso de necesidad (Ruocco, 2018). El turismo, por otro lado, tendrá que adaptarse y concienciarse sobre los efectos del cambio climático. Como reporta la ONU Turismo (2002²⁹), la actividad ecoturística mejora la protección de las áreas protegidas, generando recursos económicos y creando concienciación. Un viaje más consciente, a nivel personal y ambiental, ecoturístico y sostenible, es una solución para que los turistas disfruten con respeto el territorio canario y a la vez se pueda actuar para mitigar los efectos en la costa del cambio y los fenómenos climáticos.

6.3. ÁREAS DE MITIGACIÓN

El paradigma del desarrollo sostenible implica un cambio en las prioridades y enfoques de la gestión turística, tanto en el sector público como privado (del Valle Tuero, 2023). Aplicar medidas de mitigación en las áreas de mayor impacto para reducir los inconvenientes e incrementar la preservación del entorno y de los valores naturales y culturales.

Refundar la nueva normalidad en principios sostenibles: cambios estructurales y el rol de la tecnología y la digitalización, o la necesidad de adaptación a los procesos globales y a la crisis climática, como bien analiza y difunde el Informe SEGUTTUR de 2021 (del Valle Tuero, 2023).

La ONU Turismo define el turismo sostenible como “el turismo que tiene plenamente en cuenta las repercusiones actuales y futuras, económicas, sociales y medioambientales para satisfacer las necesidades de los visitantes, de la industria, del entorno y de las comunidades anfitrionas” (ONU Turismo, 2021³⁰).

Es clave tener una gobernanza colaborativa y eficiente, un liderazgo estratégico y una ejecución eficaz, desde la formulación y la aplicación de la política turística del destino, la información sobre los mercados, el desarrollo de productos y negocios, la digitalización y la innovación, la supervisión y a la gestión de crisis (ONU Turismo, 2019). La estrategia respetará estas condiciones e incluirá en sus apartados todos los

²⁹ International Year of Ecotourism (2002) | ONU Turismo

³⁰ Desarrollo Sostenible del Turismo | ONU Turismo

detalles para poder actuar de manera más eficiente en la gestión del destino, implementando cambios estructurales a la infraestructura costera que se encuentra en zona donde ha incrementado el peligro relacionado con las amenazas del cambio climático que se han visto anteriormente. También el control de los flujos turísticos tendrá que adaptarse a la nueva funcionalidad de los espacios, así como a las líneas guía de conservación y preservación del medioambiente y del área costera protegida o que sea enclave patrimonial.

7. CONCLUSIONES

Se ha podido demostrar que la subida del nivel del mar y la erosión costera a corto y medio plazo implicarán una pérdida significativa del patrimonio natural y cultural de la zona de estudio que, además de su importancia por la geodiversidad y biodiversidad, se considera un recurso turístico esencial.

Esta relación se ha convertido en un punto central en el estudio: si se pierde patrimonio también se pierde biodiversidad, cultura, que son elementos sustantivos en la industria turística de la que vive la zona sur de Gran Canaria y la isla entera. Es finalmente fundamental preservar el equilibrio entre las comunidades locales, los turistas, la infraestructura, y las pautas que en los próximos años se seguirán y desarrollarán desde el ámbito institucional para combatir y mitigar los efectos del cambio climático en la costa.

8. REFERENCIAS

- Carta Etnográfica de la Fundación para la Etnografía y el Desarrollo de la Artesanía Canaria (FEDAC).
- Del Valle Tuero, E. A. (2023). Desafíos y estrategias para el turismo en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible. *Revista de Estudios Turísticos*, 225, 9–21. <https://doi.org/10.61520/et.2252023.3>
- Domínguez Mujica, J. (2008). El modelo turístico de Canarias. *Études Caribéennes*. <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.1082>
- EUROPARC. (1995). Carta Europea del Turismo Sostenible (CETS). España. Carta Europea Turismo Sostenible - EUROPARC

- EXCELCAN. (2024). Informe de coyuntura turística de canarias y perspectivas. Cámara Gran Canaria.
- García Sánchez, a. Y Alburquerque García, f. J. (2003). El turismo cultural y el de sol y playa ¿sustitutivos o complementarios?. Cuadernos de turismo,11: 97-105.
- Gobierno de Canarias. (2017). Plan de Impulso del Medio Ambiente (PIMA). Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial. PIMA Adapta Costas Canarias - Conjunto de datos - SITCAN Open Data
- Hernández Martín, R.; León González, C.; et al. (2022). Observatorio turístico de Canarias. Sostenibilidad del turismo en canarias. Informe 2022. <https://doi.org/10.25145/r.tour.canarias.2022.06>
- INE (2023). Cuenta satélite del turismo de España. INEbase / servicios /hostelería y turismo /cuenta satélite del turismo de España / últimos datos.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). Información de datos geográficos - instituto geográfico nacional.
- ISTAC (2024). Estadística de movimiento turísticos en fronteras. Estadística de movimientos turísticos en fronteras (Frontur) (datastur.es).
- Leno Cerro, F. (1993). Técnicas de evaluación del potencial turístico. Secretaría General de Turismo, Dirección General de Política Turística, Madrid.
- Luque et al (2024): The digital climate atlas of the Canary Islands: A tool to improve knowledge of climate and temperature and precipitation trends in the Atlantic islands. Climate Services, 34, Elsevier.
- Marrero Rodríguez, j. R. (2006). El discurso de rechazo al turismo en canarias: una aproximación cualitativa. PASOS revista de turismo y patrimonio cultural, vol. 4 Nº 3, págs. 327-341.
- Organización Mundial del Turismo (ONU Turismo). (2019). Directrices de la OMT para el fortalecimiento de las organizaciones de gestión de destinos (OGD) – Preparando las OGD de cara a nuevos retos, OMT, Madrid, DOI: <https://doi.org/10.18111/9789284420933>.
- Pérez-Chacón Espino, E.; Hernández Calvento, L.; Mayer Suárez, P. L.; et al. (2007). Maspalomas: claves científicas para el análisis de su problemática ambiental. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- PROMOTUR. (2025). Perfil del turista. Canarias e islas. 2024.
- Ruocco, G. (2018). Patrimonio Natural y Desarrollo Sostenible en Uruguay. In Revista Aragonesa de Administración Pública. XVII, Zaragoza.

- Santana Santana, A.; Pérez-Chacón Espino, E. (1988). Sociedad y Medio: aproximación a las formas históricas de uso del territorio en Gran Canaria. Cabildo de Gran Canaria.
- SEGITTUR (2021). Competitividad, sostenibilidad, digitalización y resiliencia turística en España. Informe 2021. Secretaría de estado de turismo y SEGITTUR.
- Sharpley, R. (2006). Ecotourism: a consumption perspective. *Journal of Ecotourism*.
- Sierra Márquez, A. K.; Ramos Pérez, L. E.; Zubiría Lara, M. F. (2021). Impacto Socioeconómico y Cultural del Turismo de Sol y Playa en el Golfo de Morrosquillo 2016-2020. *Tendencias, Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Universidad de Nariño*. Vol. XXII N°2, 239-236. <https://doi.org/10.22267/rtend.212202.175>

TURISMO, POLÍTICAS PÚBLICAS Y LITORAL CARIBEÑO COSTARRICENSE: HACIA UNA GESTIÓN COSTERA INTEGRADA Y RESILIENTE

CASTRO SANDÍ CLAUDIA

Universidad de Cádiz, Universidad de Costa Rica

PEDRO ARENAS GRANADOS

Universidad de Cádiz

1. INTRODUCCIÓN

Costa Rica es un país con un reconocido liderazgo en sostenibilidad y conservación, se caracteriza por una extensa normativa ambiental y la suscripción de numerosos convenios internacionales. La creciente demanda turística que acompañó este reconocimiento impulsó un notable aumento en la oferta de la planta turística en el país.

Estas presiones se hicieron más evidentes a partir de la década de 1970 y generaron una preocupación por la degradación ambiental, lo que llevó al Estado a establecer regulaciones para la Zona Marítimo Terrestre (ZMT) y sus ecosistemas. Para el año de 1985 ya estaban creados aproximadamente el 70% de los espacios protegidos del país, con la intención de resguardar su rico patrimonio natural, cuencas hidrográficas y zonas de recarga acuífera (Vargas, 2014; Samper et al., 2020).

Este contexto impulsa a Costa Rica, a adoptar un discurso de sostenibilidad en el turismo e incluso, en 1984, el país rediseña sus campañas de turismo internacional, adoptando el eslogan “*Costa Rica: It’s only natural*” y dejando atrás el enfoque tradicional centrado en sol y playa, para enfatizar la naturaleza como atractivo principal (ICT, 2017). Desde entonces, las áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) se consolidaron como destinos turísticos clave (Vargas, 2014).

El turismo se ha convertido en la actividad más importante del país, generando más ingresos que las exportaciones de productos tradicionales

como el banano, la piña y el café (Benavides, 2020). Según el Instituto Costarricense de Turismo, en 2023 se registraron 2.751.134 llegadas internacionales, que produjeron ingresos por divisas de 4.754 millones de dólares, con una estancia promedio de 12,9 noches (ICT, 2024).

Costa Rica ha fomentado una distribución amplia de la oferta turística a lo largo del territorio nacional, esto ha evitado las concentraciones geográficas, y favorece que diversas zonas del territorio se encuentren en las unidades de planeamiento turístico. Al respecto, según datos del ICT (2023) el Caribe, alberga en sus costas dos de los diez parques nacionales más visitados, el Parque Nacional Tortuguero y el Parque Nacional Cahuita.

La creciente afluencia de visitantes a estos espacios genera presiones adicionales en infraestructura y servicios públicos, particularmente en las zonas costeras aledañas, donde los vacíos de planificación han derivado en la degradación de ecosistemas litorales estratégicos como playas, manglares, pastos marinos y arrecifes de coral. Estos ecosistemas no solo son altamente productivos, sino que además funcionan como barreras de protección costera.

A estas presiones locales se suma un contexto regional marcado por el cambio climático. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2025) advierte que el número de fenómenos meteorológicos extremos en América Latina y el Caribe se ha más que duplicado en las últimas décadas, pasando de un promedio anual de 14,5 eventos entre 1963 y 1999 a 41,9 en el periodo 2000-2023.

En el Caribe, la tendencia es igualmente alarmante: el promedio anual se elevó de 5,2 a 10,7 eventos en esos mismos periodos. Aunque la región en su conjunto es considerada menos vulnerable que otras partes del mundo, América Central y el Caribe presentan niveles significativamente más altos de exposición y vulnerabilidad. Esto significa que los territorios costeros de países como Costa Rica se encuentran entre los principales puntos críticos, particularmente en relación con sequías, olas de calor e inundaciones.

En este marco, las costas caribeñas costarricenses enfrentan un doble desafío: responder a las presiones generadas por los modelos de

explotación productiva, entre ellos el turístico y, al mismo tiempo, fortalecer su resiliencia frente a los efectos del cambio climático.

Asimismo, múltiples denuncias, investigaciones científicas e informes nacionales revelan un panorama de contrastes. El Caribe no solo evidencia degradación en los ecosistemas, sino que, además, exhibe índices de desarrollo social por debajo del promedio nacional, además de una historia arraigada de exclusión, segregación racial y violencia estructural, lo que invita a cuestionar si los modelos productivos del Caribe benefician de manera justa y “sostenible” la población que habita, vive y depende de los ecosistemas litorales o si más bien profundiza las condiciones de desigualdad ante las presiones del cambio global.

En este contexto, resulta pertinente preguntarse si la gestión turística en el Caribe costarricense se alinea con los principios de sostenibilidad ambiental, sociocultural y económica proclamados en los marcos normativos nacionales e internacionales. El presente capítulo aporta un análisis crítico desde el enfoque de la Gestión Integrada de Áreas Litorales (GIAL), que concibe estas áreas como un socioecosistema complejo, donde convergen dinámicas ecológicas, socioculturales, económicas y político-administrativas (Barragán, 2014).

2. OBJETIVOS

Para orientar el análisis se han formulado un objetivo general y tres objetivos específicos.

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Contribuir a un diagnóstico integrado del litoral Caribe, con énfasis en el sector turismo, desde el enfoque de la GIAL de cara a los retos del cambio global

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar de forma sintética e integrada los principales elementos del entorno físico-natural y la realidad socioeconómica, cultural y político-administrativa del litoral Caribe de Costa Rica’

- Examinar los desafíos del turismo en el área de interés, en relación con los patrones históricos y socioculturales del territorio y los retos del cambio global.
- Analizar los asuntos de política pública relacionados con el sector turístico y la gestión integrada del litoral en el Caribe costarricense durante el periodo 2010-2023.

3. METODOLOGÍA

La investigación parte de una metodología descriptiva con enfoque cualitativo. La recolección de datos combinó revisión documental (2010-2023), análisis cartográfico, observación directa, entrevistas semiestructuradas con expertos, diálogos con actores clave y registro fotográfico. El análisis se realizó mediante triangulación entre fuentes documentales y testimoniales, empleando categorías derivadas de los objetivos de la investigación.

El marco metodológico se fundamenta en el enfoque de Gestión Integrada de Áreas Litorales (GIAL), que concibe la costa como un socioecosistema complejo, donde convergen dinámicas ecológicas, sociales, culturales, económicas y político-administrativas (Barragán, 2004; 2014). Este enfoque busca superar la fragmentación sectorial y orientar soluciones integradas y participativas en forma de política pública.

En el Caribe costarricense, se aplica para comprender cómo las actividades turísticas, el marco institucional y las dinámicas sociohistóricas comunitarias interactúan en un contexto de fragilidad ecológica, vulnerabilidad social, presiones económicas y cambio climático. El esquema de análisis considera tres dimensiones principales:

- Físico-natural, relativa al funcionamiento de los ecosistemas y servicios litorales.
- Socio-cultural y económica, vinculada a características poblacionales, históricas y productivas.
- Político-administrativa, evaluada mediante el Decálogo de la GIAL, que integra aspectos de política, normativa,

institucionalidad, instrumentos estratégicos, educación, recursos e investigación.

En conjunto, estas dimensiones ofrecen un marco conceptual para analizar de forma integrada los retos de las áreas litorales, con especial atención al turismo como actividad central que intensifica las presiones en un escenario de cambio global.

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

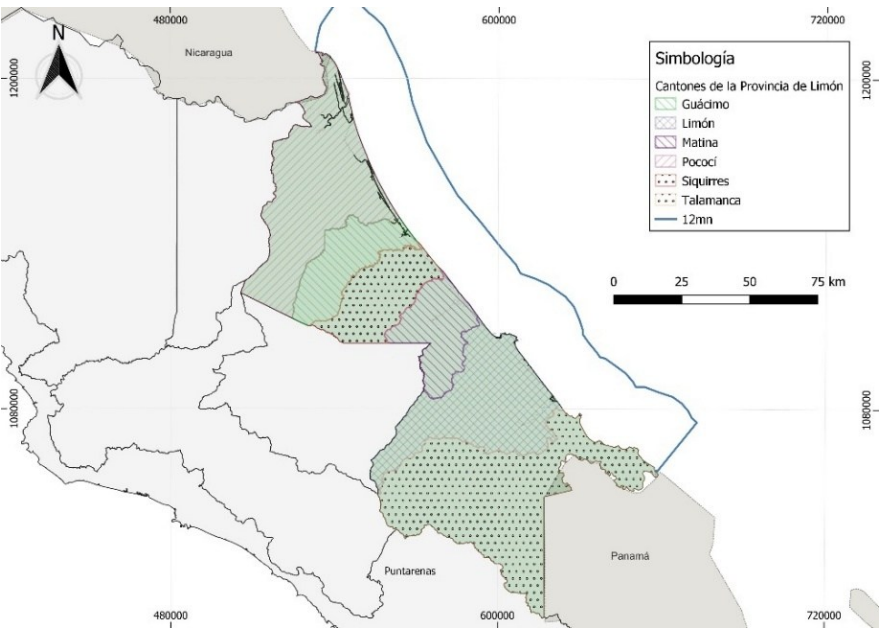
El área de estudio corresponde al litoral³¹ Caribe de Costa Rica, que abarca seis cantones con franja costera en su jurisdicción: Pococí, Guácimo, Siquirres, Matina, Limón y Talamanca (véase figura 1). En esta investigación se entiende como litoral el espacio comprendido entre la cota de los 200 msnm tierra adentro y el límite externo del Mar Territorial.

Costa Rica posee la mayor extensión marítima de Centroamérica: su superficie oceánica es casi once veces mayor que la terrestre (51.179,92 km²), con una línea costera de 1.016 km en el Pacífico y 220 km en el Caribe (IGN, 2021; Samper et al., 2020). Territorialmente, el Caribe pertenece en su totalidad a la provincia de Limón, también denominada región Huétar Atlántica³² o Caribe, cuya gestión local recae en los gobiernos municipales de cada cantón.

³¹ Este documento no diferencia los términos Litoral, Costa, Área Costera y Zona Costera. Esto a pesar de la distinción existente, dado que litoral es el ámbito geográfico y el área o zona costera se define por límites espaciales de procesos de planificación y criterios jurídico-administrativos. (Barragán, 2004)

³² Algunos datos nacionales siguen la delimitación regional del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). Dado que la provincia de Limón corresponde casi en su totalidad a la región Huétar Atlántica, en este documento ambos términos se utilizan indistintamente

FIGURA 1: Cantones de la provincia de Limón



Fuente: Modificado a partir de datos proporcionados por el SNIT, IGN, 2023

4. RESULTADOS

4.1. DIAGNÓSTICO INTEGRADO LITORAL CARIBE DE COSTA RICA

4.1.1. Ecosistemas estratégicos vulnerables

Costa Rica forma parte de la Gran Cuenca del Caribe (Samper et al., 2020), con una vertiente que abarca unos 220 km de costa caracterizada por una gran diversidad morfológica y ecológica. Su régimen climático, típico de la franja tropical, se distingue por una alta precipitación anual (3300 mm) sin estación seca, temperaturas promedio de 27 °C y humedad relativa del 92% (Manso et al., 2005; IMN, 2008, 2023). Septiembre suele registrar los valores más altos, sin superar los 32 °C, mientras que la insolación promedio anual es de 4,85 horas diarias, con picos en marzo, abril, septiembre y octubre (Vargas, 2014).

La variabilidad climática, modulada por El Niño y La Niña, se combina con impactos antropogénicos y del cambio climático, generando

sequías e inundaciones que afectan tanto a la sociedad como a los ecosistemas (IMN, 2023).

El Caribe costarricense alberga 12 de las 34 cuencas hidrográficas del país, muchas de ellas con riesgo medio de inundación por su topografía (Román & Morales, 2018). Asimismo, el 38% del territorio continental de Limón se encuentra bajo protección dentro del Área de Conservación Tortuguero (ACTo) y La Amistad Caribe (ACLAC), que resguardan ecosistemas estratégicos como manglares, arrecifes, playas y pastos marinos (SINAC, citado en Amador et al., 2011).

Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan presiones derivadas de monocultivos, deforestación, turismo creciente, infraestructura y cambio climático. Entre las amenazas destacan la erosión en playas utilizadas por turistas y tortugas marinas, el blanqueamiento de corales en Cahuita y Puerto Viejo, la sedimentación asociada a la deforestación y la contaminación agrícola (Amador et al., 2011; Quesada & Molina, 2016; Cortés et al., 2009).

TABLA 1. *Ecosistemas estratégicos del litoral Caribe funciones y amenazas*

<i>Ecosistema</i>	<i>Importancia</i>	<i>Amenazas principales</i>
<i>Manglares</i>	Barrera natural contra tormentas, hábitat de especies, captura de carbono.	Contaminación, sedimentación, expansión turística.
<i>Pastos marinos</i>	Reproducción de peces, almacenamiento de carbono, protección costera.	Aumento de temperatura, contaminación, sedimentación, turismo náutico, escaso conocimiento sobre su importancia
<i>Arrecifes de coral</i>	Biodiversidad marina, atractivo turístico, protección frente a erosión.	Blanqueamiento, sobrepesca, sedimentación, turismo, mala planificación costera.
<i>Playas</i>	Reproducción de tortugas marinas, espacios de esparcimiento y paisaje, atractivo turístico.	Erosión, construcción, contaminación, turismo masivo.

Fuente: elaboración propia con base en análisis documental

La presión turística es especialmente evidente en manglares, humedales y arrecifes, impactados por infraestructura, navegación, recreación y aguas residuales. Casos recientes son la denuncia presentada en 2025 ante la Convención Ramsar por la desprotección del humedal de Gandoca-Manzanillo, vinculada a proyectos inmobiliarios y turísticos (Muñoz, 2025), y

la oposición comunitaria a propuestas de embarcaderos en Puerto Viejo sin los estudios técnicos correspondientes (Martínez, 2025).

En síntesis, los ecosistemas del Caribe costarricense constituyen la base de sustento del turismo litoral y del bienestar comunitario. Sin embargo, la ausencia de planificación y de una gestión integrada los expone a presiones acumulativas que comprometen su sostenibilidad, la resiliencia frente al cambio climático y la viabilidad del propio sector turístico.

4.1.2. Realidad sociohistórica y cultural del territorio costero caribeño

El Caribe costarricense presenta una composición demográfica diversa, producto de procesos históricos de colonización, migración y modelos productivos de enclave. Desde el período colonial, las poblaciones indígenas sufrieron desplazamientos forzados (Ruiz, 1991, citado en Solórzano, 2012), mientras que el cultivo de cacao con mano de obra indígena y esclava marcó las primeras dinámicas de explotación agrícola y mestizaje (Leal, 2011)

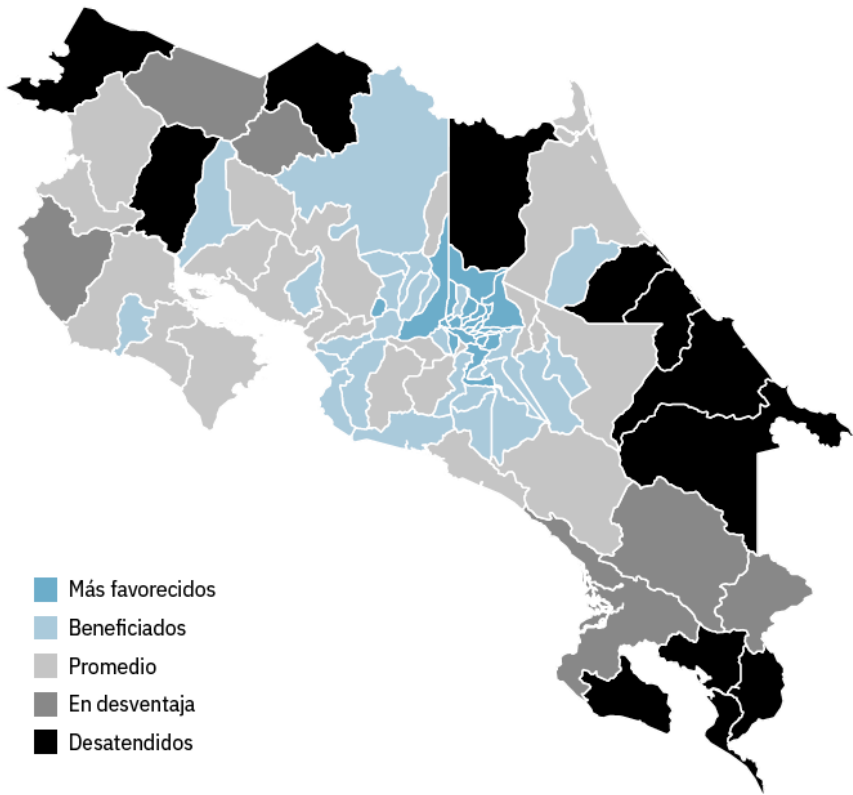
Posteriormente con la llegada de la compañía estadounidense United Fruit Company (UFCO), junto al desarrollo de puertos comerciales y el ferrocarril al Atlántico en 1871 marcan una dinámica de migraciones principalmente de afroantillanos de Jamaica, así como de chinos e italianos (Calderón et al., 2019). Estos procesos no solo moldearon la organización territorial y la conformación de asentamientos costeros vinculados a la pesca, la caza de tortugas y la actividad portuaria (Piedrahita, 1997), sino que también configuraron una composición pluricultural en el territorio, que constituye hasta hoy uno de los rasgos identitarios más significativos de la provincia.

Asimismo, este modelo económico de enclaves y ciclos, dirigido por compañías extranjeras, ha propiciado no solo el deterioro de los ecosistemas, sino también un aislamiento provincial y una notoria disminución de la influencia gubernamental (Soto, 2013). Estas dinámicas históricas tienen efectos que se perciben hasta la actualidad, reflejados en indicadores sociales y económicos que evidencian un rezago persistente en la provincia.

De acuerdo con lo anterior, cuatro de los seis cantones de Limón se encuentran entre los diez más desatendidos del país en términos de

educación, salud, seguridad, y acceso a servicios públicos (véase figura 2), evidenciando un desequilibrio en las políticas de desarrollo que afecta a las regiones periféricas, incluidas las fronterizas, costeras y rurales (Programa Estado de la Nación [PEN], 2023).

FIGURA 2. *Desigualdad Multidimensional por cantón*



Fuente: Estado de la Nación (2023)

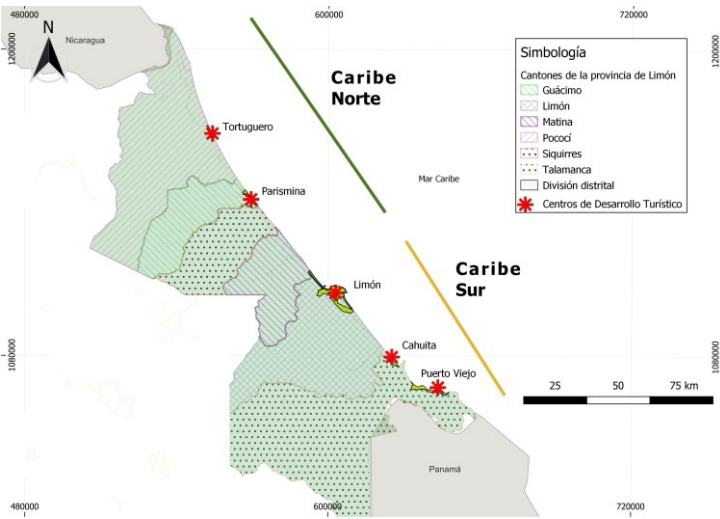
En términos generales, la provincia evidencia una condición de vulnerabilidad y rezago en los indicadores de desarrollo humano. Esta situación resulta contradictoria si se considera que Limón alberga el principal puerto marítimo de Costa Rica, responsable de movilizar cerca del 80% de la carga del país (Román & Morales, 2018), además de desempeñar un papel estratégico en la producción agropecuaria y en la actividad turística, ambas de gran relevancia para la economía nacional.

4.1.3. El turismo en el Litoral: Características y contradicciones

El Caribe costarricense ocupa un lugar singular en la geografía turística nacional. Aunque no constituye la unidad de planificación con mayor demanda, recibe un 21,7% de las llegadas aéreas internacionales (ICT, 2023), y se ha posicionado como una de las rutas nacionales más relevantes para el turismo de naturaleza y cultural.

El Instituto Costarricense de Turismo (ICT) promueve como principales Centros de Desarrollo Turístico (CDT) las zonas de Tortuguero, Parísimina, Limón, Cahuita y Puerto Viejo (véase figura 3), todas ubicadas en la costa. Aunque se reconoce que otros territorios como Guácimo y Matina están comenzando a ofrecer servicios turísticos.

FIGURA 3. Centros de Desarrollo Turístico de Limón



Fuente: Modificado con base en datos recuperados del SNIT (2023)

Toda la costa Caribe de Costa Rica posee atractivos estrechamente vinculados con sus ecosistemas, lo que la posiciona como un destino orientado principalmente al turismo de naturaleza y al ecoturismo. No obstante, las particularidades del territorio generan modalidades diferenciadas de turismo, siendo el tipo de playa —en el Caribe Norte y en el Caribe Sur— el principal factor que marca esta distinción (véase figura 4)

FIGURA 4. Características de las playas de Caribe Norte y Sur



Fuente: Elaboración propia

En consideración de lo anterior, el modelo turístico litoral se caracteriza de la siguiente manera (véase tabla 2):

TABLA 2: Caracterización del Turismo Litoral del Caribe

Característica	Caribe Norte (Pococí, Guácimo, Siquirres, Matina)	Ciudad de Limón (Caribe Centro)	Caribe Sur (Sur de Limón y Talamanca)
Tipo de Turismo Principal	Ecoturismo, turismo de naturaleza, investigación, voluntariado y pesca deportiva.	Turismo de cruceros y turismo cultural.	Sol y playa, naturaleza, bienestar, aventura y cultural (afrocaribeño e indígena).
Atractivos Destacados	- Red de canales, ríos y lagunas para la observación de flora y fauna. - Parque Nacional Tortuguero y Refugio de Vida Silvestre Barra del Colorado. - Playas de anidación de tortugas marinas (principal atractivo).	- Patrimonio histórico-arquitectónico y cultural de la ciudad. - Isla Quiribrí (Uvita) con arrecifes coralinos saludables. - Gastronomía local y eventos como los carnavales.	- Playas de arena clara y aguas turquesas. - Parque Nacional Cahuita y el Refugio de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo - Arrecifes de coral. - Cultura afrocaribeña e indígena.
Perfil del Turista (Demanda)	Turistas interesados en naturaleza, ecoturismo, pesca y voluntariado. Mayoritariamente extranjeros, con estancias de 2.5 a 3 noches.	Principalmente cruceristas extranjeros (mayores de 56 años, de Norteamérica y Europa) con estancias muy cortas (menos de 12 horas). También turismo local de fin de semana.	Población joven (26-35 años), tanto nacionales como extranjeros (Europa y Norteamérica). Buscan vacaciones, sol, playa y cultura. Estancia promedio de 5 n.

Planta Turística	Limitada y dispersa. Predominan ecolodges, cabinas, estaciones de investigación y campamentos de pesca que ofrecen paquetes completos.	Oferta hotelera concentrada en la ciudad, incluyen piscinas y restaurantes. Se considera insuficiente y de baja calidad para la demanda de cruceros.	Más desarrollada y en crecimiento, con más de 250 alojamientos. Predominan pequeñas y medianas empresas. Amplia oferta gastronómica.
Infraestructura y Servicios	Deficiente y precaria. El acceso es sobre todo fluvial o por carreteras de lastre. Limitaciones severas de agua potable, electricidad e internet; lugares dependen de pozos y plantas eléctricas.	La mejor conectada de la provincia por la Ruta 32 y el aeropuerto. La infraestructura urbana está deteriorada y abandonada, con problemas de saneamiento y salubridad.	El acceso terrestre es bueno pero vulnerable a inundaciones y deslizamientos. Los servicios básicos como agua potable, electricidad e internet son inestables y no cubren toda la demanda.

Fuente: Elaboración propia con base en análisis documental.

La estrecha vinculación entre turismo y ecosistemas demanda una gestión rigurosa que minimice los impactos derivados de su uso turístico y evite procesos de sobreexplotación (Quesada, 2017). Si bien la concentración de visitantes en los Parques Nacionales puede considerarse una fortaleza al tratarse de Áreas Silvestres Protegidas (ASP), la masificación y el control insuficiente de la visitación amenazan con superar su capacidad de carga. Ello no solo altera el equilibrio de los ecosistemas, sino que también provoca una sobrecarga en la infraestructura de los parques y en la planta turística local.

La ciudad de Limón constituye un ejemplo ilustrativo de cómo la masificación turística, en ausencia de planificación y regulación adecuadas, puede intensificar problemáticas locales y comprometer la sostenibilidad a largo plazo. Aunque en los años 80 fue un destino turístico de referencia y punto de arribo de cruceros, en la actualidad enfrenta una fase de declive, caracterizada por el deterioro ambiental, social y económico, con índices de desarrollo bajos, infraestructura en abandono y proyectos fallidos o inconclusos (Cañada et al., 2011).

4.2. DESAFÍOS DEL TURISMO LITORAL EN EL CARIBE COSTARRICENSE

Se destacan tres de los principales desafíos que se desprenden de este proceso de investigación:

4.2.1. Conflictos socioambientales

La expansión turística en el Caribe ha generado una profunda reestructuración de las relaciones sociales, culturales, económicas y ambientales (Cañada, 2011). Desde los años 70, la apertura de vías y la llegada del turismo transformaron actividades tradicionales, por ejemplo, en Cahuita la apertura de vías de acceso y del turismo provocaron que algunos pobladores cambiaran sus actividades tradicionales por emprendimientos turísticos, en muchos casos vendiendo sus tierras a precios bajos frente a nuevos residentes e inversionistas (Carballo, 2013; Piedrahita, 1997).

Este proceso ha favorecido la gentrificación, el aumento del costo de vida y la presión sobre actividades tradicionales como la pesca y la agricultura (Cañada & Gascon, 2016). Además, los planes reguladores recientes como el de Talamanca, priorizan densidades hoteleras que excluyen a pequeños emprendimientos locales, los cuales en ocasiones no cuentan con los recursos y condiciones necesarias para cumplir con las nuevas regulaciones, lo que se agrava sino se acompaña de un proceso de apoyo a la competitividad de estas empresas.

Con la expansión hacia nuevas áreas periféricas para proyectos turísticos que se enmascaran bajo una imagen de sostenibilidad y superación de la pobreza (Cañada, 2010), se corre el riesgo de crear "burbujas turísticas" en entornos ya desiguales y ecológicamente vulnerables generalmente cercanos a parques naturales y costas. La marca país de Costa Rica refuerza esta imagen, con slogans como "el país más feliz del mundo", "sin ingredientes artificiales" y "esencial Costa Rica". A ello se suma la mercantilización de la cultura afrocaribeña e indígena, que corre el riesgo de perder autenticidad bajo la lógica de un turismo masivo.

4.2.2. Seguridad y Crimen organizado: Amenazas crecientes

La desigualdad territorial, aunado a la cercanía con puertos y fronteras, favorece el incremento de dinámicas violentas en la provincia, vinculadas al narcotráfico y al crimen organizado. Entre 2010 y 2023, el 21 % de los homicidios del país se registraron en Limón; en 2023, los cantones de Limón y Matina sumaron 141 homicidios, el 15,6 % del total nacional (Observatorio de la Violencia, 2023). En 2024, Limón mantuvo la tasa más alta del país (OIJ, 2024).

La violencia afecta las dinámicas de todo el territorio, pero además incide directamente en el turismo al disminuir la percepción de seguridad ICT (2023). Al respecto, mientras se reporta un aumento en delitos menores como hurtos y tacha de vehículos en distritos turísticos como Cahuita y Colorado, las mujeres enfrentan riesgos diferenciados, pues se han registrado aumentos en denuncias de delitos sexuales contra turistas, incluidos casos letales en Tortuguero y Talamanca (Muñoz, 2020).

El crimen organizado también presiona el ordenamiento territorial ante grupos que disputan el control de los territorios costeros, al respecto, Municipios han tenido que intervenir y demoler construcciones ilegales como casas, complejos y muelles en la Zona Marítimo Terrestre (ZMT) utilizadas para actividades ilícitas y construidas sin permisos en terrenos estatales (Solano, 2023). Estas dinámicas complejizan la gobernanza local y debilitan la confianza en la institucionalidad.

4.2.3. Gestión territorial e infraestructura

La expansión turística en el Caribe se desarrolla en un contexto de vacíos regulatorios y conflictos de tenencia de tierras, La mayoría de los municipios carece de planes reguladores costeros, lo que ha provocado irregularidades, como la construcción de infraestructura turística en los 50 metros de dominio público de la ZMT (véase figura 5) (SNIT, 2023). Actualmente solo existen planes en Tortuguero, Río La Estrella y Playa Cocles (reemplazado por el nuevo y conflictivo plan de Talamanca).

La falta de seguridad jurídica en la tenencia de tierras dificulta el acceso a programas sociales y certificaciones turísticas para que los pequeños emprendimientos locales puedan competir con grandes inversores y mejorar sus condiciones de vida

En este apartado se presenta una tabla de síntesis que organiza las principales problemáticas identificadas en el litoral Caribe costarricense en relación con el turismo. Su propósito es visibilizar cómo estas tensiones se entrelazan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), abarcando dimensiones socioeconómicas, culturales, ambientales, de infraestructura y de gobernanza. La sistematización evidencia que, más allá del potencial turístico de la región, persisten retos estructurales que

comprometen la sostenibilidad, la equidad social y la resiliencia de los ecosistemas y comunidades locales frente al cambio global.

FIGURA 5. Hotel localizado en los 50 metros de dominio público establecidos por la Ley de ZMT.



Fuente: SNIT, 2023

TABLA 3. *Tabla Resumen de las Principales Problemáticas del Turismo en el Litoral Caribe*

Categoría	Problemática	Descripción de la Problemática en el Litoral Caribe	ODS
Socioeconómicas y Culturales	Pobreza, desigualdad y exclusión social	Pese al turismo Limón mantiene los índices más bajos de desarrollo humano y social del país; los beneficios se concentran y la población local es desplazada.	1, 8, 10, 11
	Presión inmobiliaria y gentrificación	El auge turístico eleva el costo de vida, tierra y vivienda, desplazando a la población local, tanto ciudadanos como comerciantes. Los municipios favorecen la inversión extranjera, elitizando el espacio.	1, 10, 11
	Empleo precario y falta de oportunidades locales	El turismo genera empleo precario y estacional, con baja remuneración, mientras las pymes locales enfrentan desventajas frente a grandes empresas, lo que limita su crecimiento y encadenamientos productivos.	1, 8, 10
	Inseguridad, narcotráfico y crimen organizado	La inseguridad ligada al narcotráfico y crimen organizado genera altos índices de violencia, afectando la seguridad ciudadana, la percepción de los turistas y favoreciendo usos ilícitos en la ZMT.	11, 16

	Mercantilización y pérdida de identidad cultural	La diversidad cultural afrocaribeña e indígena constituye un atractivo clave, pero la saturación turística favorece su mercantilización, pérdida de autenticidad y desplazamiento de prácticas tradicionales, amenazando el patrimonio local.	11
Ecológicas, ambientales y de Infraestructura	Degradación de ecosistemas marino-costeros	Arrecifes de coral, manglares, pastos marinos y playas sufren deterioro por la contaminación (agroquímicos, aguas residuales), la sedimentación (monocultivos y deforestación) y la presión del desarrollo costero no regulado. El calentamiento del océano causa blanqueamiento masivo de corales.	13, 14, 15
	Infraestructura y servicios básicos deficientes	Falta generalizada de infraestructura, acceso a agua potable, interrupciones eléctricas, conectividad a internet inestable y sistemas deficientes de tratamiento de aguas residuales y gestión de residuos sólidos afectan tanto a residentes como a turistas.	3, 6, 9, 11
	Erosión costera y vulnerabilidad climática	La erosión costera reduce playas y sitios de anidación, El deterioro de los ecosistemas que actúan como barreras naturales incrementa la vulnerabilidad y riesgo.	13, 14
	Presión sobre Áreas Silvestres Protegidas (ASP)	La visitación masiva en parques nacionales supera su capacidad de carga y presiona ecosistemas, infraestructura y servicios turísticos locales.	12, 14, 15
Gobernanza y Gestión	Gestión fragmentada y falta de coordinación	Gestión del litoral y turismo fragmentada y descoordinada entre instituciones; políticas sin planes de acción concretos limitan su implementación.	16, 17
	Conflictos por tenencia de tierra y planificación	Persistentes conflictos históricos por la tenencia de la tierra en la ZMT y terrenos de JAPDEVA ³³ , INDER ³⁴ y SINAC, limitan mejorar PYMES y regularizar pobladores. Planes reguladores costeros carece de participación ciudadana efectiva, generando conflictos con las comunidades.	10, 11, 16
	Políticas públicas ineficaces y abandono estatal	Histórico de proyectos de desarrollo fallidos y percepción de abandono estatal, que generan desconfianza y dificultan una gestión integral por falta de voluntad política	16, 17

Fuente: Elaboración propia con base en análisis documental

³³ Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica de Costa Rica, una institución estatal costarricense responsable de la administración de los puertos en la costa atlántica y de impulsar el desarrollo económico de la región de Limón.

³⁴ Instituto de Desarrollo Rural (INDER): Institución autónoma que lidera la aplicación de políticas de desarrollo rural en Costa Rica

4.2.4. Cambio climático y retos de adaptación

El litoral Caribe de Costa Rica constituye uno de los territorios más expuestos a los impactos del cambio climático, tanto por sus condiciones físico-naturales como por la vulnerabilidad socioeconómica de las comunidades que lo habitan. De acuerdo con la Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2018-2030, el país registró pérdidas económicas superiores a US\$ 2.210 millones entre 2005 y 2017 debido a eventos hidrometeorológicos extremos, cifra que incluye los daños ocasionados por la tormenta Nate en 2017, cuyo impacto se valoró en US\$ 577 millones, equivalente al 1% del PIB nacional (MIDEPLAN, 2018).

En el caso del Caribe, los escenarios de cambio climático proyectan un incremento en la precipitación de hasta un 50% hacia 2080, lo que aumentará la recurrencia y severidad de inundaciones en la región, particularmente en cuencas como la del río Sixaola y en zonas bajas del litoral. Asimismo, se estima que el nivel del mar podría elevarse entre 0,17 y 0,82 metros hacia finales del siglo XXI, lo que amenaza directamente asentamientos humanos, infraestructura costera, manglares, arrecifes coralinos y playas turísticas (MINAE et al., 2018).

4.3. ANÁLISIS DE LA GIAL EN EL CARIBE DE COSTA RICA

El análisis realizado, usando la metodología del Decálogo, revela una serie de hallazgos y desafíos para responder a un turismo en clave de sostenibilidad. A continuación, se sintetizan los elementos más importantes identificados durante el estudio:

4.3.1. Política Pública

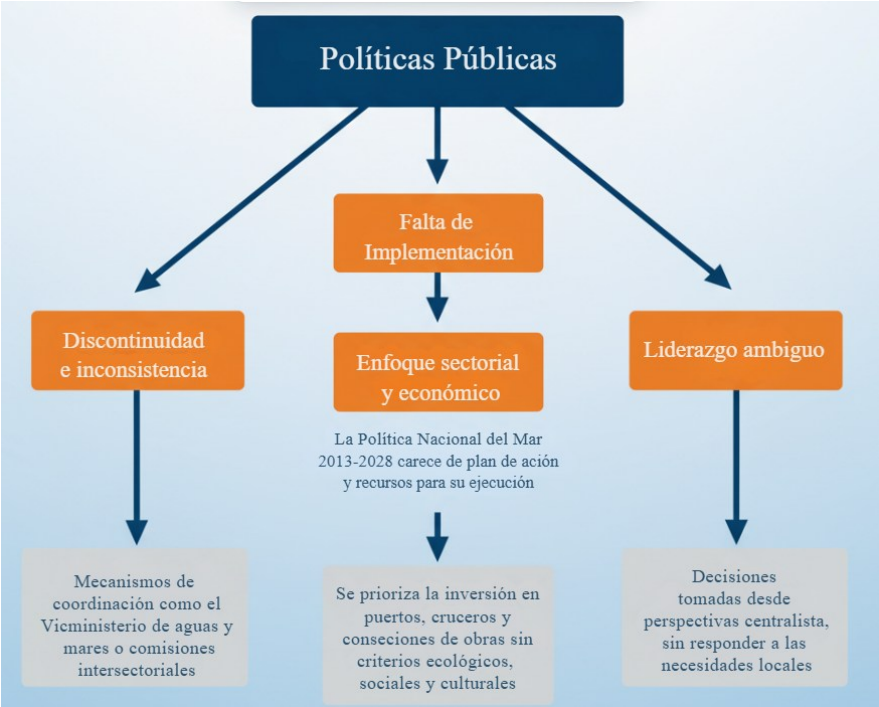
Las políticas públicas de gestión costera en Costa Rica presentan una marcada discontinuidad e inconsistencias desde 2010, evidenciadas en la creación y posterior abandono del Viceministerio de los Mares y en la escasa implementación de la Política Nacional del Mar (2013-2028). La ausencia de liderazgo definido y de responsabilidades claras ha fragmentado la gestión costera y acentuado conflictos y vulnerabilidades en el litoral.

El énfasis gubernamental ha privilegiado la atracción de inversión extranjera, con iniciativas como el impulso a los puertos de cruceros y la

flexibilización de planes reguladores costeros orientados a concesiones turísticas. Este enfoque sectorial y económico omite, en gran medida, dimensiones ecológicas, sociales y culturales, favoreciendo procesos de desplazamiento de poblaciones locales y conflictos territoriales. La situación demanda una revisión profunda de las políticas públicas, de modo que integren las particularidades ecosistémicas y socioculturales del Caribe y contribuyan a una gestión más equitativa y sostenible.

La Figura 6 sintetiza los principales problemas de la política pública en la región que en conjunto limitan la efectividad de los marcos normativos y obstaculizan una gobernanza costera adaptada a las realidades locales.

FIGURA 6: *Desafíos de Políticas Públicas desde la GIAL*



Fuente: Elaboración propia con base en análisis documental

En este contexto, la Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2018-2030 se constituye en el principal marco de referencia para atender los impactos climáticos en el litoral. El documento

establece acciones clave en la protección de ecosistemas, la gestión del recurso hídrico, la infraestructura costera resiliente y el fortalecimiento de capacidades locales (MINAE, 2018). Para el Caribe, enfatiza la atención a la erosión costera, la degradación de manglares y arrecifes, así como la necesidad de sistemas de alerta temprana en comunidades expuestas a eventos extremos.

Desde la perspectiva de la GIAL, la PNACC representa una oportunidad para articular la coordinación interinstitucional y multisectorial. Sin embargo, su efectividad depende de una implementación descentralizada y sensible a las condiciones socioeconómicas de las comunidades costeras. Integrar este marco en la planificación turística litoral podría no solo reducir riesgos, sino también favorecer un turismo resiliente al clima, alineado con la Agenda 2030 y los compromisos internacionales del país.

4.3.2. Normativa

El país cuenta con un marco legal amplio y robusto para la gestión costera, la conservación y el turismo, en gran parte derivado de convenios internacionales. Sin embargo, algunos aspectos que se pueden destacar son los siguientes.

- Ley de Zona Marítimo Terrestre (ZMT) como Eje Central: La Ley N° 6043 de ZMT (1977) es la principal regulación para la gestión costera. Sin embargo, dada su antigüedad, es importante una actualización. Su implementación genera frecuentes conflictos por las ocupaciones irregulares y el énfasis que se le otorga al turismo en estos espacios.
- Conflictos y Riesgos de Desregulación: Existen tensiones entre los sectores que buscan un mayor desarrollo turístico y la necesidad de conservar la ZMT. Esto ha llevado a la promulgación de leyes que han sido declaradas inconstitucionales por contravenir principios ambientales. Se percibe un riesgo de que futuras actualizaciones normativas sean más permisivas debido a intereses económicos.

- Rol del Instituto Costarricense de Turismo (ICT) en la Planificación Costera: La Ley de ZMT otorga al Instituto Costarricense de Turismo (ICT) la competencia para definir la aptitud turística del litoral, lo que orienta la planificación posterior, aunque su rol en la ejecución de los planes reguladores es limitado este accionar define el ordenamiento generalmente sin consideración de otros usos y actividades que se desarrollan en estos territorios costeros. La implementación la asumen los municipios, con esa coordinación intersectorial.

4.3.3. Instituciones y Competencias

A manera de síntesis cuatro aspectos deben destacarse sobre estos dos elementos claves siguiendo la metodología del *Decálogo*:

- El Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) destaca como un pilar en la gestión de la sostenibilidad, promoviendo la conservación y el turismo en áreas protegidas con un enfoque participativo y con enfoque de servicios ecosistémicos.
- Ausencia de una entidad coordinadora de carácter nacional para los asuntos marinos y costeros: No existe una institución que regule de manera activa y efectiva todo lo relacionado con estos espacios provocando así vacíos de gestión y acción fragmentada.
- Conflictos de competencia: Se identifican traslapes de funciones y vacíos institucionales que dificultan la gestión integrada, especialmente en la ZMT, donde confluyen las competencias de diversas instituciones.
- Descoordinación: La falta de coordinación interinstitucional e intersectorial es un desafío recurrente, debilitando la implementación de políticas y generando acciones contradictorias entre diferentes administraciones públicas.

4.3.4. Instrumentos Estratégicos

Los instrumentos estratégicos constituyen las herramientas que operacionalizan la política pública en el territorio y, por tanto, resultan

fundamentales para la gestión costera. En el caso del litoral Caribe costarricense, estos instrumentos son los que permiten traducir los lineamientos normativos en acciones concretas de ordenamiento, conservación, turismo y cambio climático.

Sin embargo, su alcance e impacto se ven limitados por vacíos de articulación, lentitud en los procesos y la escasa integración de dimensiones socioambientales y culturales. A continuación, se presentan los principales instrumentos identificados y sus características más relevantes, destacando tanto sus potencialidades como las limitaciones que enfrentan para avanzar hacia un modelo de Gestión Integrada de Áreas Litorales (GIAL).

- Planes Reguladores Costeros (PRC): Son la principal herramienta de planificación para la ZMT fuera de áreas protegidas. Sin embargo, su elaboración es lenta, a menudo responde a intereses privados, carece de participación ciudadana efectiva y no integra adecuadamente las variables ambientales y socioculturales.
- Fragmentación de Instrumentos: Existen múltiples instrumentos de planificación sectoriales (turismo, conservación, desarrollo cantonal) que no están armonizados, lo que resulta en una gestión territorial fragmentada. La mayoría de estos instrumentos omiten el territorio marino.
- Instrumentos del SINAC: Los planes de manejo de las Áreas Silvestres Protegidas son los únicos que integran Elementos Focales de Manejo (EFM) y servicios ecosistémicos.
- Instrumentos del Instituto Costarricense de Turismo: Los Planes de Gestión Integral de Destinos (PGID) son destacables por su metodología participativa, procuran un trabajo con las comunidades en el desarrollo turístico de sus territorios. Depende de la gestión del municipio y el enfoque participativo que se le otorgue, su incidencia podría ser positiva.

4.3.5. Participación Ciudadana

La participación pública es fundamental en la GIAL. Busca fortalecer la implicación de la ciudadanía en la toma de decisiones, es un

elemento clave en la búsqueda de un modelo de gestión más equilibrado y sostenible. Según Barragán (2014), la participación de todas las partes interesadas (incluyendo la sociedad civil, comunidades locales, organizaciones empresariales y ONG) es fundamental para alcanzar acuerdos y aplicar el principio de corresponsabilidad en la gestión del litoral. Para ello, es necesario espacios de encuentro que permitan una implicación real y efectiva. Algunos de ellos hallazgos en este aspecto para este caso corresponden a los siguientes:

- Mecanismos formales limitados: Los espacios formales de participación en la planificación costera, como las audiencias públicas para los Planes Reguladores Costeros, son a menudo insuficientes e instrumentalizados y no garantizan una inclusión real y plural de las comunidades. Un territorio pluricultural, donde habita población indígena y afrodescendiente requiere prestar especial atención a los mecanismos para integrar a la población en la toma de decisiones.
- Conflictividad social: La escasa participación ciudadana ha generado conflictos significativos, como las protestas contra el plan regulador de Talamanca, que culminaron con un fallo de la Sala Constitucional a favor de las comunidades indígenas.
- Iniciativas comunitarias y de ONG: El movimiento ecologista, las organizaciones comunitarias y las iniciativas de ciencia ciudadana juegan un papel importante en la vigilancia ambiental, la denuncia de irregularidades y la promoción de la sostenibilidad.

5. DISCUSIÓN

En síntesis, los resultados de la investigación hasta aquí presentados evidencian una profunda contradicción entre el discurso de sostenibilidad imperante en Costa Rica y las prácticas de gestión en su litoral Caribe. El modelo turístico, lejos de ser un motor de desarrollo equitativo, parece perpetuar un ciclo de explotación que agrava la vulnerabilidad socio ecológica de la región frente al cambio global. La degradación de los ecosistemas estratégicos no solo reduce la resiliencia costera ante el

cambio climático (erosión, blanqueamiento de corales), sino que también socava la base misma del atractivo turístico de la región.

El logro de la deseada gobernanza del Caribe costarricense es aún una meta lejana. La gestión fragmentada, la discontinuidad de las políticas y la debilidad de los instrumentos de planificación territorial impiden abordar de manera efectiva los complejos desafíos de la región.

A pesar de la existencia de políticas y marcos estratégicos que incorporen enfoques de sostenibilidad y adaptación al cambio climático, en la práctica son los Planes Reguladores Costeros (PRC) los que terminan definiendo el ordenamiento territorial en la Zona Marítimo Terrestre (ZMT). Su papel no depende tanto de su mera existencia, sino del enfoque con que se conciben y de los procesos mediante los cuales se elaboren e implementen.

En este sentido, los PRC tienen el potencial de convertirse en instrumentos que impulsen un ordenamiento territorial en clave de sostenibilidad, incorporando criterios de adaptación y resiliencia costera; pero también corren el riesgo de ser instrumentalizados al servicio del mercado, priorizando proyectos inmobiliarios sin integrar de manera adecuada las dimensiones técnicas, ecológicas y socioculturales.

En la actualidad, los PRC suelen funcionar más como plataformas para facilitar el desarrollo inmobiliario que como verdaderas herramientas de gestión integrada, desatendiendo tanto las necesidades de las comunidades locales como la fragilidad de los ecosistemas litorales. Esta limitación se ve agravada por la ausencia de una entidad coordinadora con liderazgo y recursos suficientes para articular una visión de largo plazo sobre mares y costas, lo que profundiza la fragmentación institucional y debilita las posibilidades de avanzar hacia una gobernanza costera integrada.

El actual modelo de desarrollo compromete el bienestar humano en sus múltiples dimensiones: aumenta la inseguridad física y económica, deteriora la salud por la contaminación, genera conflictos sociales y limita las oportunidades de las comunidades locales. Para avanzar hacia la sostenibilidad, es imperativo transitar de un enfoque sectorial y reactivo a uno de Gestión Integrada de Áreas Litorales que ponga en el centro la resiliencia de los socioecosistemas y el bienestar de sus habitantes.

6. CONCLUSIONES

A pesar del repetido discurso de la sostenibilidad o del desarrollo sostenible, el Caribe costarricense sigue un patrón de producción extractivista, ahora centrado en el turismo, que prioriza el beneficio económico a corto plazo sobre la equidad social y la integridad ecológica, acentuando la vulnerabilidad de la región frente al cambio climático.

La gestión del litoral Caribe se caracteriza por la falta de coordinación interinstitucional, la discontinuidad en las políticas públicas y la debilidad de los instrumentos de planificación. La ausencia de una entidad coordinadora de la múltiple acción gubernamental para los espacios costeros y marinos del país impiden una respuesta coherente a los desafíos socio-ecológicos, económicos y socio-culturales que se evidencian.

El turismo no ha logrado reducir las brechas de desarrollo en la región. Por el contrario, ha contribuido a la gentrificación, la precarización laboral y la exclusión de las comunidades locales de los beneficios económicos, perpetuando un ciclo de pobreza y marginación.

Finalmente, es imperativo adoptar un enfoque de GIAL que articule la planificación turística con políticas sociales, de conservación y de adaptación al cambio climático. Esto requiere fortalecer la participación ciudadana, reorientar los instrumentos de planificación hacia la sostenibilidad y establecer mecanismos de gobernanza efectivos y transparentes para proteger el valioso patrimonio natural y cultural del Caribe costarricense

7. REFERENCIAS

- Amador, J., Chacón, R., & Lizano, O. (2011). Estudio de efectos geofísicos del terremoto de Limón mediante percepción remota y análisis hidrometereológico. *Revista Geológica de América Central*. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i0.13448>
- Asamblea Legislativa. (1977). Ley N.º 6043. Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre. *La Gaceta*, 52.
- Barragán, J. M. (2003). Medio ambiente y desarrollo en áreas litorales: Introducción a la planificación y gestión integradas. Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- Barragán, J. M. (2014). Política, gestión y litoral: Una nueva visión de la gestión integrada de las áreas litorales. Madrid: UNESCO / Tébar Flores.

- Benavides, S. (2020). El aporte del turismo a la economía costarricense: más de una década después. *Economía y Sociedad*, 25, 57.
- Calderón, P., Luna, J., León, R., & Carmona, A. (2019). Potencial turístico cultural del Caribe costarricense: Arquitectura y gastronomía en el casco central de Limón. *Journal of Tourism and Heritage Research*, 3(1), 311-322.
- Cañada, E., & Gascón, J. (2016). Urbanizar el paisaje: Turismo residencial, descampesinización, gentrificación rural. Una introducción. Tenerife & Xixón: Pasos & FTR.
- Cañada, E., Gómez, I., Mora, W., & Morera, C. (2011). Turismo y conflictos socioambientales en Centroamérica. <http://bit.ly/3W7gAAat>
- Carballo, P. (2013). Turismo en Limón: Datos y elementos de análisis sobre la dinámica de las actividades laborales. El caso del barrio Pacuare ubicado en el cantón central. *Revista de Ciencias Sociales*, 142, 13-29.
- Cortés, J., & Wehrtmann, I. (2009). Diversity of marine habitats of the Caribbean and Pacific of Costa Rica. In I. Wehrtmann & J. Cortés (Eds.), *Marine biodiversity of Costa Rica, Central America* (pp. 1-45). *Monographiae Biologicae*, 86. Dordrecht: Springer.
- Cortés, J., Jiménez, C., Fonseca, A., & Alvarado, J. (2010). Status and conservation of coral reefs in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 58(Suppl. 1), 33-50.
- González, V., Muñoz, R., & Vargas, C. (2023). Diseño del índice de exposición a inundaciones: El caso de exposición a edificaciones. Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2023. <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/8573>
- ICT. (2017). Plan Nacional de Desarrollo Turístico de Costa Rica 2017-2021. San José: Instituto Costarricense de Turismo.
- ICT. (2022). Plan Nacional de Turismo de Costa Rica 2022-2027. San José: Instituto Costarricense de Turismo. <http://bit.ly/46Ioup3>
- ICT. (2024, enero 10). Llegadas internacionales de turistas, 2009-2023. Instituto Costarricense de Turismo. <http://bit.ly/4pFd3qD>
- IMN. (2008). Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Comité Nacional de Recursos Hídricos. <http://bit.ly/4nOqzqg>
- IMN. (2023). Boletín ENOS, N.º 166. Unidad de Climatología, Departamento de Desarrollo del Instituto Meteorológico Nacional.
- Leal, D. (2011). Análisis de la situación e identificación de posibles líneas de acción para la cooperación para el desarrollo en la provincia de Limón (Costa Rica). Informe final. AECID. <http://bit.ly/4mAflG6>

- Llaguno, J. (2016). Disputas territoriales en el Caribe Sur de Costa Rica: Apuntes conceptuales desde la cuestión (1960-2012). *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 42, 385-409.
<https://doi.org/10.15517/aeca.v42i1.26954>
- Manso, P., Stolz, W., & Fallas, J. (2005). El régimen de la precipitación en Costa Rica. *Revista Ambientico*, 144, 7-8.
- Martínez, A. (2023, noviembre 1). Arrecifes de coral del Caribe Sur se encuentran en grave peligro debido a blanqueamiento, alerta organización. *Delfino.cr*. <https://bit.ly/481zrUW>
- Martínez, A. (2025, 4 de setiembre). Grupos ambientalistas y comunitarios rechazan el proyecto de atracadero en Puerto Viejo. *Delfino.cr*. <http://bit.ly/3VACj3y>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2018). Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Costa Rica 2018-2030. Dirección de Cambio Climático, MINAE.
- Muñoz Solano, D. (2025, enero 21). Ariel Robles elevó denuncia a la Convención RAMSAR por desprotección del humedal en Gandoca-Manzanillo. *Semanario Universidad*. <http://bit.ly/46EJDQI>
- Muñoz, N. (2020, agosto 26). Crímenes sexuales acechan a turistas en las costas ticas. *Semanario Universidad*. <http://bit.ly/4nKvckt>
- Observatorio de la Violencia. (2023). Anexo estadístico del atlas de delitos 2022. San José: Ministerio de Justicia y Paz. <http://bit.ly/4pH4Q5k>
- OIJ (Organismo de Investigación Judicial). (2024). Informe anual de homicidios 2024. San José: Poder Judicial. <https://bit.ly/46Bu8Jl>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2025). Bajo presión: Recalibrando el futuro del desarrollo en América Latina y el Caribe. Informe Regional sobre Desarrollo Humano 2025. PNUD.
- Quesada, R. (2017). Elementos de turismo: Teoría, clasificación y actividad. San José: EUNED.
- Quesada, S., & Molina, L. (2016, abril 2). Nivel del Atlántico en Costa Rica es el más alto de Centroamérica: Calentamiento global dispara erosión en playas de Limón. *Semanario Universidad*. <http://bit.ly/46QNTOP>
- Román, M., & Morales, N. (2018). Región Huetar Caribe: Situación socioeconómica y principales desafíos. Informe Estado de la Nación 2018. <http://bit.ly/46VDdxW>
- Solórzano, J. (2012). De revuelta y revolución: La producción de cacao en Matina y la rebelión de los indígenas Urinamás (Costa Rica 1650-1690). *Revista UCR*, 25. <https://doi.org/10.15517/re.v0i25.2718>

- Soto, R. (2013). Desarrollo, etnia y marginalización: Imágenes del puerto caribeño de Limón, Costa Rica (1838-1967). *Études Caribéennes*, 21. <http://bit.ly/4mDAG0f>
- SNIT. (2023). Visor geográfico: Sistema Nacional de Información Territorial de Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional. <https://www.sniter.go.cr>
- Vargas, G. (2014). Geografía turística de Costa Rica. San José: UNED.
- WMO. (2024). Estado del clima en América Latina y el Caribe 2023 (WMO-No. 1367). Organización Meteorológica Mundial. <https://library.wmo.int/idurl/4/70372>

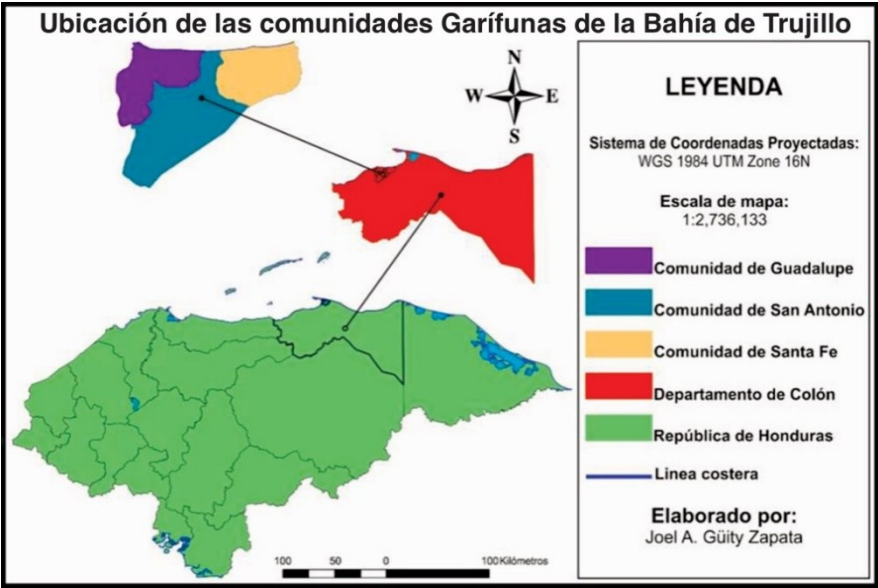
CONTAMINACIÓN COSTERA Y RESILIENCIA COMUNITARIA EN LAS COMUNIDADES GARÍFUNAS DE LA BAHÍA DE TRUJILLO, HONDURAS

JOEL GÜITY ZAPATA
Universidad de Cádiz

1. INTRODUCCIÓN

La Bahía de Trujillo, en el litoral caribeño de Honduras, es el hogar de comunidades garífunas ancestrales como Santa Fe, San Antonio y Guadalupe (Figura 1). Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2015), la población total de las comunidades estudiadas asciende a 4,624 habitantes. Estas comunidades afrodescendientes dependen profundamente de los ecosistemas costeros locales (praderas marinas, arrecifes coralinos) que les proveen protección natural, pesca artesanal y otros medios de vida tradicionales. Dichos ecosistemas costeros también funcionan como importantes sumideros de carbono azul, contribuyendo a mitigar el cambio climático al capturar carbono atmosférico en su biomasa y sedimentos. Sin embargo, estos entornos costeros enfrentan una degradación acelerada debido a la contaminación por residuos sólidos y vertidos líquidos. La ausencia o insuficiencia de servicios públicos de saneamiento (recolección de basura, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales) ha llevado a prácticas empíricas de manejo de desechos: muchas familias queman o desechan la basura en la playa y vierten las aguas residuales directamente al medio, generando serios impactos socioambientales negativos. Esta problemática local se enmarca en la “triple amenaza” planetaria reconocida por Naciones Unidas: contaminación, pérdida de biodiversidad y cambio climático (PNUMA, 2021). En la Bahía de Trujillo, la contaminación costera agrava la vulnerabilidad socioecológica de comunidades ya expuestas al aumento del nivel del mar, la erosión costera y la sobreexplotación de recursos pesqueros.

FIGURA 1. *Ámbito espacial correspondiente al área de estudio del litoral*



Caribe de Honduras
Fuente: Elaboración propia.

En este contexto, se busca diagnosticar y analizar integralmente la problemática de la contaminación litoral, proponiendo mecanismos de gestión costera que fortalezcan la resiliencia comunitaria. Específicamente, evaluando el impacto de la inadecuada gestión de residuos en la salud humana y los ecosistemas; identificar brechas institucionales y normativas que dificultan una respuesta eficaz; y formular propuestas viables de manejo ecosistémico basadas en los principios del Manejo Costero Integrado (MCI). La atención se centra en las comunidades Garífunas, un pueblo afroindígena con riqueza cultural única, su lengua, danza y tradiciones son Patrimonio Intangible de la Humanidad (UNESCO, 2018), pero históricamente marginados en Honduras. Mejorar la sostenibilidad costera en estas comunidades no solo es crucial por razones ambientales, sino también como una vía hacia la justicia climática y el desarrollo local sostenible para un grupo étnico que ha mantenido un estrecho vínculo con el mar.

Los meses de octubre y noviembre suelen ser los más lluviosos, mientras que a finales de la temporada seca (marzo-abril) las lluvias disminuyen notablemente (Argeñal, 2010). Estas lluvias torrenciales incrementan la movilización de residuos, en ausencia de sistemas de alcantarillado pluvial o drenajes adecuados, los eventos de lluvia intensa generan escorrentías cargadas de desechos y sedimentos que impactan en los arrecifes y praderas submarinas.

La contaminación costera en la Bahía de Trujillo presenta un desafío multidimensional: amenaza la salud y el bienestar de las comunidades Garífunas, degrada los ecosistemas costeros y disminuye la capacidad natural de la zona para mitigar y adaptarse al cambio climático. Frente a esta situación, se ha enfatizado la necesidad de enfoques integrados y participativos para la gestión del litoral. Como han reconocido Arenas (2010) y Barragán (2016), solo un enfoque de MCI con participación social puede abordar la complejidad de las zonas costeras. Honduras, a pesar de su rezago histórico en la implementación de MCI, está adoptando medidas para fomentar este cambio de paradigma, por ello, resulta imperativo aprovechar la coyuntura para fortalecer la gobernanza costera de la Bahía de Trujillo, integrando a las comunidades Garífunas como actores fundamentales en la búsqueda de soluciones sostenibles.

2. METODOLOGÍA

Se adoptó una metodología multidisciplinaria, combinando técnicas de análisis documental, herramientas de diagnóstico participativo y levantamiento de información de campo (**Tabla 1**). En concreto, las fases metodológicas principales incluyeron:

La metodología empleada fomenta la participación activa de la comunidad Garífuna en múltiples etapas. Este enfoque colaborativo no solo enriqueció la información recopilada (al incorporar saberes locales), sino que además buscó empoderar a la población fomentando la reflexión colectiva sobre su problemática ambiental. La combinación de métodos cuantitativos y cualitativos responde a la complejidad del tema estudiado, ya que la contaminación costera tiene dimensiones técnicas pero también sociales y culturales. La triangulación de fuentes y

técnicas aumentó la confiabilidad del estudio, sentando una base para proponer soluciones integrales y consensuadas.

TABLA 1. *Síntesis de técnicas metodológicas aplicadas en el estudio*

Técnica / Enfoque	Descripción	Resultados / Aplicaciones
Revisión bibliográfica y normativa	Se recopiló literatura técnico-científica y se elaboró un compendio de más de 20 normativas nacionales relacionadas con residuos sólidos y vertidos líquidos.	Contexto jurídico-administrativo para evaluar responsabilidades institucionales y políticas aplicables en el ámbito local.
Aplicación del Decálogo MCI (Barragán, 2001, 2004)	Herramienta de diagnóstico que evalúa diez aspectos clave del manejo costero integrado.	Identificación de vacíos y buenas prácticas; comparación de la Bahía de Trujillo con otros casos iberoamericanos.
Análisis DAFO-CAME	Talleres comunitarios con líderes, pescadores y autoridades para la identificación de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO). Y aplicar estrategias para Corregir, Afrontar, Mantener y Explotar (CAME).	Diagnóstico participativo y estrategias surgidas del conocimiento local, adaptadas a la realidad sociocultural Garífuna.
Encuestas de percepción	354 encuestas en Santa Fe, San Antonio y Guadalupe (95% confianza, ±5% error). Preguntas cerradas y abiertas sobre residuos, percepción ambiental y disposición a participar.	Datos estadísticos robustos sobre prácticas, percepciones y actitudes ambientales; correlación con variables sociodemográficas.
Evaluación integrada y propuesta	Integración de resultados: línea base ambiental y socioeconómica, diagnóstico del decálogo, análisis DAFO-CAME y encuestas.	Formulación de propuestas de gobernanza costera inclusiva: plan municipal de residuos, educación ambiental, infraestructura sanitaria y comités comunitarios.

3 RESULTADOS

3.1. ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN COSTERA EN LAS COMUNIDADES GARÍFUNAS DE LA BAHÍA DE TRUJILLO

Los resultados del diagnóstico revelan una alta exposición de las comunidades Garífunas a riesgos asociados a la contaminación costera. La gestión de residuos sólidos domiciliarios es sumamente deficiente: alrededor del 64%

de los hogares carece de recolección formal de residuos (Güity, 2018). En ausencia de un servicio público, las comunidades han recurrido a un pequeño sistema privado de recolección operado por un microempresario local, que pasa periódicamente con un motocarro (vehículo de tres ruedas) recogiendo bolsas de basura de quienes pueden costear el servicio (**Figura 2**).

FIGURA 2. Sistema privado de recolección de residuos sólidos



Sin embargo, este sistema resulta insuficiente e ineficiente: el vehículo utilizado tiene una capacidad muy limitada (aproximadamente 400 libras de carga), lo que obliga a realizar múltiples viajes y le impide transportar desechos voluminosos. Además, su cobertura no alcanza a todos los sectores ni a todas las familias. Un hallazgo preocupante es que la principal barrera de acceso al servicio es económica: cerca del 30% de los encuestados que no usan la recolección privada indicaron que no pueden costearla debido a sus bajos ingresos. Esto evidencia que la pobreza y el desempleo en la zona inciden directamente en la problemática, forzando a muchas familias a disponer los residuos de maneras inapropiadas.

Las prácticas de disposición final de los residuos sólidos en las comunidades son mayormente inadecuadas e informales. Una proporción significativa de habitantes quema la basura a cielo abierto, una solución

inmediata pero que genera contaminación del aire. Otros optan por enterrar los desechos, lo cual contamina los suelos y, con las lluvias, produce lixiviados que percolan hacia las capas freáticas. También es común el depósito de basura en las playas, ríos y quebradas aledañas: se observaron numerosos vertederos clandestinos de residuos domésticos a orillas del río David, río Mármol y río Guinea, así como acumulación de plásticos y desechos arrastrados en la línea de marea de las playas comunitarias. Si bien el municipio de Santa Fe cuenta con un botadero municipal a cielo abierto (ubicado tierra adentro, en las afueras de la comunidad de Santa Fe), este no tiene ningún control ambiental: no hay separación de residuos, ni tratamiento de lixiviados, ni cercado perimetral. Por lo tanto, actúa básicamente como un vertedero al aire libre, foco de proliferación de vectores, malos olores y contaminación de las quebradas cercanas. Todo ello ha conllevado a la contaminación difusa del entorno: se han hallado indicios de contaminación en aguas superficiales (carga orgánica en quebradas que desembocan en la bahía), y afectación de la biota (pescadores locales perciben una disminución en la abundancia de peces cerca de la costa, asociada a la degradación de pastos marinos y arrecifes).

En cuanto a los vertidos líquidos, la situación es igualmente crítica. Ninguna de las tres comunidades Garífunas cuenta con sistema de alcantarillado sanitario ni planta de tratamiento de aguas residuales. Cada vivienda maneja sus aguas servidas de manera individual: algunas disponen de letrinas o fosas sépticas (la gran mayoría), mientras que otras descargan las aguas residuales a pequeñas quebradas o zanjas que fluyen hacia la bahía. Aproximadamente la mitad de los encuestados reconoció que sus aguas residuales domésticas terminan descargándose sin tratamiento al ambiente, confirmando el dato cualitativo del DAFO de que es común la “descarga directa de aguas residuales a las quebradas” en la zona. Por otra parte, se detecta una ausencia total de monitoreo o seguimiento de la calidad de agua costera: no hay ninguna institución gubernamental u ONG realizando mediciones periódicas de parámetros microbiológicos o fisicoquímicos en las playas o ríos, por lo que el problema de los vertidos líquidos permanece invisible en los registros oficiales a pesar de ser evidente en el terreno.

Las consecuencias socioecológicas de esta contaminación costera son ya notorias en la Bahía de Trujillo. Pobladores relatan que hace 20 años era común ver aguas cristalinas y abundancia de peces, mientras que hoy el agua aparece turbia y con basura flotante, y varias especies han disminuido. Asimismo, la pradera de pastos marinos (*Thalassia testudinum*) frente a las comunidades se ve afectada por la sedimentación y la proliferación de algas alimentadas por la carga orgánica, lo cual reduce su cobertura saludable. Esto impacta al hábitat del manatí del Caribe (*Trichechus manatus*) especie que se avista en la laguna de Guaimoreto y de peces herbívoros esenciales para mantener el equilibrio arrecifal. En cuanto al arrecife coralino Cayo Blanco, localizado a pocos kilómetros de la costa, las opiniones son mixtas: algunos buceadores turísticos reportan que aún se ve en buen estado con corales duros y fauna diversa, pero los locales advierten que la turbidez y nutrientes provenientes de la bahía podrían, a largo plazo, deteriorar su salud. Además, tras las lluvias fuertes, se han observado literalmente “islas de basura” flotando mar adentro, algunas de las cuales podrían estar alcanzando el arrecife, un fenómeno que ya se ha documentado en otras zonas costeras de Honduras debido a la basura arrastrada por el Río Motagua desde Guatemala (Gramajo, 2017). En resumen, la contaminación en la bahía de Trujillo está generando pérdida de biodiversidad comprometiendo servicios ecosistémicos vitales.

Desde la perspectiva social, las comunidades estudiadas enfrentan riesgos sanitarios considerables. La carencia de manejo adecuado de residuos propicia la presencia de vectores de enfermedades. Asimismo, la imagen turística de la Bahía de Trujillo se ve afectada: si bien la playa principal de Trujillo es limpiada ocasionalmente por la municipalidad de Trujillo, las playas de las comunidades garífunas son menos atendidas, y visitantes nacionales han expresado su descontento por la basura visible. Esto representa una amenaza al ecoturismo local, una oportunidad de desarrollo que podría beneficiar a los garífunas, pero que requiere mantener la belleza escénica de las playas.

3.2. CAPACIDADES INSTITUCIONALES Y MARCO DE GESTIÓN EXISTENTE

El análisis de la dimensión institucional y normativa arrojó que, a pesar de existir un marco general relativamente robusto, la implementación

local de las políticas ambientales es prácticamente nula. Honduras cuenta con numerosas leyes, reglamentos y estrategias que abordan la gestión de residuos y la protección costera: la Ley General del Ambiente (1993) y su Reglamento; la Ley de Municipalidades, cuyo Artículo 152 obliga a los municipios a prestar el servicio de aseo urbano; el Reglamento de Manejo Integral de Residuos Sólidos (2010); el Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales (2009), entre otras. Sin embargo, dichas normativas no se hacen efectivas en la Bahía de Trujillo: no existe ninguna ordenanza municipal específica en las municipalidades de Santa Fe o Trujillo para regular los residuos o las aguas residuales, ni se aplican las sanciones previstas en las leyes nacionales a quienes contaminan. Por ejemplo, la Ley de Municipalidades mandata que cada alcaldía debe recolectar y disponer la basura de su jurisdicción, pero en Santa Fe la alcaldía incumple esta obligación, las comunidades Garífunas se han visto forzadas a asumir la gestión de los residuos a través de iniciativas propias. Este vacío de autoridad local se debe, en parte, a la fragmentación institucional: la jurisdicción de la bahía se reparte entre dos municipios (Trujillo y Santa Fe). Además, hay falta de coordinación entre entidades sectoriales: la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) no tiene presencia permanente en la zona; la Dirección General de Pesca y Acuicultura (DIGEPESCA) tampoco fiscaliza vertidos que afecten recursos marinos; la Secretaría de Salud no inspecciona la calidad del agua de mar; y las ONG ambientales, aunque activas en otros temas, no han abordado todavía la contaminación terrestre.

En los talleres DAFO se identificó como una de las debilidades internas principales la “falta de normas regulatorias locales y de educación ambiental”, y como amenaza externa la “escasa voluntad política” de las autoridades para atender el problema. Ambos puntos fueron corroborados: ni el municipio de Santa Fe ni el de Trujillo cuentan con una Unidad Municipal Ambiental (UMA) efectiva (figura prevista por la Ley de Ambiente para los gobiernos locales). Santa Fe, que es el municipio que abarca las comunidades en estudio, no tiene una línea presupuestaria para la gestión de residuos. En suma, no existe un ente especializado gubernamental o privado que gestione integralmente el manejo de residuos sólidos y vertidos líquidos en la Bahía de Trujillo. Las comunidades están

prácticamente solas enfrentando el problema. Esta falta de institucionalidad contrasta con otros lugares turísticos de Honduras (Roatán), donde existen empresas o entes para manejo de desechos.

En términos de participación ciudadana, se encontró una mezcla de debilidades y fortalezas. Por un lado, históricamente ha habido escasa participación comunitaria formal en temas ambientales, pues los Garífunas no han sido incluidos sistemáticamente en espacios de toma de decisión municipal o comisiones ambientales. Tampoco existen comités ambientales locales oficiales en Santa Fe o Trujillo que integren a vecinos en la gestión. Por otro lado, existe una red comunitaria informal y disposición a la cooperación, así como una mayor conciencia sobre el problema en la población (**Tabla 2**). Esto indica que hay capital social disponible; la comunidad puede participar en la solución si se proporciona liderazgo y apoyo técnico.

TABLA 2. *Hallazgos principales sobre la situación de la Bahía de Trujillo*

Hallazgo	Descripción	Implicaciones
Estado de contaminación	64% de la población sin servicio formal de recolección de desechos y 0% de tratamiento de aguas residuales. Evidencia de impactos directos en ecosistemas y salud comunitaria.	Urgencia de implementar sistemas de saneamiento básico, manejo integral de residuos y acciones inmediatas de control de contaminación.
Debilidad institucional y normativa	Autoridades municipales incumplen mandatos legales, no existen mecanismos efectivos de control ambiental a nivel local.	Genera vacío de gobernanza, falta de aplicación de normativas ambientales y mayor vulnerabilidad socio-ecológica.
Oportunidades y bases para soluciones	Marco legal nacional amplio, aunque poco implementado. La comunidad muestra conciencia y disposición a participar, potencial acceso a financiamiento e intervención si se articulan esfuerzos entre sectores público, privado.	Punto de partida para construir un modelo de gobernanza costera inclusiva e implementar el MCI.

Las comunidades son relativamente pequeñas en población, lo que según los participantes del DAFO constituye una oportunidad: implementar un sistema de saneamiento (un relleno sanitario mancomunado) podría ser más factible a pequeña escala y servir de plan piloto. De hecho, la cercanía geográfica de las tres comunidades y sus lazos étnicos podrían permitir soluciones compartidas, por

ejemplo, un programa de manejo de residuos conjunto que atienda a todas las comunidades Garífunas, optimizando recursos.

4.DISCUSIÓN

4.1. HACIA UNA GOBERNANZA COSTERA INCLUSIVA BASADA EN EL MCI

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la problemática de contaminación costera en la bahía de Trujillo no puede abordarse con acciones aisladas. Se requiere un enfoque integrado, multisectorial y de largo plazo, tal como lo promueve el MCI. Esto implica pasar de la actual gestión fragmentada (donde cada quien atiende una parte del problema) a una gestión coordinada del litoral, que considere conjuntamente los aspectos socioambientales, económicos y culturales. Autores como Barragán (2010) y Arenas (2012) han señalado que solo un enfoque integrado y participativo permitirá gestionar la complejidad de las zonas costeras. En el caso de la zona de estudio, adoptar las estrategias del MCI significaría articular las políticas públicas, el marco legal y las instituciones en torno a objetivos comunes de sostenibilidad, con plena inclusión de la comunidad Garífuna en la toma de decisiones. Afortunadamente, Honduras cuenta ya con ciertos elementos para ello: la Política Nacional de Humedales y Espacios Marino-Costeros es un avance significativo, y experiencias piloto en formulación de políticas costeras (Caviedes, 2020) la cual ha generado lecciones valiosas para el país.

Una primera línea de discusión es la necesidad de fortalecer el marco institucional local. Los hallazgos muestran que sin instituciones locales empoderadas, las leyes carecen de aplicación efectiva. Es prioritario que el municipio de Santa Fe establezca una estructura funcional de gestión: por ejemplo, activar la UMA con personal capacitado, o formar comités interinstitucionales a nivel de bahía. Idealmente, se podría conformar una Mesa de Gestión Costera de la Bahía de Trujillo, integrada por representantes municipales, líderes Garífunas, ONGs y entidades nacionales pertinentes. Este tipo de espacio participativo permitiría coordinar esfuerzos, compartir información y dar seguimiento a acuerdos. La incorporación formal de las comunidades Garífunas en estas instancias es fundamental, ya que garantiza que las decisiones de política local reflejen sus

necesidades y conocimientos tradicionales. La literatura en gobernanza costera resalta que la participación ciudadana informada mejora la eficacia y legitimidad de las medidas ambientales (Newing, 2018). Un ejemplo concreto de acción participativa podría ser la conformación de brigadas comunitarias de limpieza y vigilancia ambiental, apoyadas por la municipalidad. Estas brigadas, integradas por voluntarios locales (jóvenes, pescadores, amas de casa), podrían recibir capacitación básica en manejo de residuos y monitoreo, y funcionar en coordinación con la UMA para ejecutar tareas periódicas y reportar incidencias.

La alineación de las políticas públicas nacionales con las condiciones locales es relevante. Se propone que las municipalidades de Santa Fe y Trujillo trabajen en conjunto para desarrollar un Plan de Gestión Costera Local que esté en concordancia con las políticas nacionales y al mismo tiempo se adecúe a las características específicas de la Bahía de Trujillo. Este plan debería incluir componentes de manejo de residuos sólidos y líquidos, junto con otros componentes de manejo pesquero, turismo sostenible y adaptación climática. La discusión participativa de dicho plan puede apoyarse en los insumos de este estudio: por ejemplo, usar el DAFO y CAME ya elaborados como base para priorizar acciones. Un tema a incorporar es la fiscalización y cumplimiento normativo: el municipio, con apoyo de la SERNA, deberá establecer mecanismos para hacer cumplir las leyes. Si bien en comunidades pequeñas la coerción legal es sensible, es posible empezar con una fase de “educar antes que sancionar”: inicialmente socializar las normas, dar advertencias, brindar opciones (colocación de contenedores, campañas de recolección de residuos, etc.), y solo posteriormente aplicar sanciones a reincidentes. Este enfoque escalonado puede generar mejor aceptación.

Históricamente, la temática ambiental no ha sido parte del currículo escolar local ni de campañas sostenidas en los medios. Por tanto, se propone lanzar un programa permanente de educación ambiental comunitaria, aprovechando alianzas estratégicas. Un ejemplo es la recomendación de realizar alianzas entre municipalidades, centros educativos y los medios de comunicación (radios locales) para sensibilizar constantemente a la población sobre gestión de residuos.

TABLA 3. *Medidas integrales para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible de la bahía de Trujillo*

Eje de acción	Medidas específicas	Beneficios esperados
Restauración de ecosistemas	- Limpieza de estuarios - Protección de cuencas altas para reducir sedimentación	- Recuperar ecosistemas degradados - Mayor resiliencia ante el cambio climático
Protección legal y física de playas	- Fortalecer la protección legal de las playas comunitarias - Implementar vigilancia contra acumulación de desechos	- Playas más limpias y protegidas - Prevención de contaminación continua
Reducción de contaminación en la fuente	- Mejorar la gestión de residuos en tierra firme - Construcción de un relleno sanitario mancomunado (Trujillo y Santa Fe) - Eliminación de botaderos a cielo abierto - Impuesto turístico para financiar gestión de residuos	- Disposición final adecuada de desechos - Reducción de contaminación de suelos y aguas - Fuente de financiamiento sostenible
Gestión municipal de aseo urbano	- Retomar responsabilidad del aseo urbano por la municipalidad - Concesionar formalmente o asumir la recolección - Uso de camión apropiado y contenedores públicos	- Mayor cobertura y eficiencia en la recolección - Aprovechamiento de infraestructura vial existente
Reducción de vertidos líquidos	- Instalar sistemas sépticos mejorados en viviendas	- Menor contaminación hídrica - Mejora en salud pública
Refuerzo de capacidades y normativa	- Educación ambiental y vigilancia - Creación de incentivos positivos	- Mayor conciencia ciudadana - Cumplimiento efectivo de normas
Programas e incentivos comunitarios	- Programa de “pago por limpieza” para grupos de vecinos - Microemprendimientos verdes: artesanías recicladas, eco-ladrillos	- Playas limpias y generación de empleo temporal - Desarrollo económico local sostenible - Inclusión de mujeres y jóvenes

Esto puede tomar la forma de charlas en las escuelas, concursos de reciclaje, programas radiales en lengua garífuna sobre cómo la basura afecta la pesca y la salud, y materiales visuales (murales, afiches) en puntos visibles de la comunidad. La idea es ir generando un cambio cultural paulatino: que tirar basura deje de ser socialmente aceptado, y que en su lugar se valore la limpieza como parte del orgullo comunitario (algo importante en la identidad Garífuna). La educación para la sostenibilidad

debe también abarcar a las autoridades (es decir, capacitación a los funcionarios municipales y líderes locales en estos temas), de modo que comprendan la importancia de destinar recursos a la gestión ambiental. Una de las recomendaciones del estudio fue implementar en los municipios de Santa Fe y Trujillo el curso de “Guarda Ambiental” coordinado por Instituto de Formación Profesional (INFOP), un entrenamiento de tres meses que busca empoderar actores municipales como gestores de recursos naturales (**Tabla 3**).

Un aspecto transversal en la discusión es el de la resiliencia climática. La Bahía de Trujillo ya sufre los efectos de eventos climáticos extremos (tormentas, huracanes) que se intensifican con el cambio climático. Fortalecer la gestión de la contaminación costera tiene co-beneficios climáticos claros: por un lado, una comunidad organizada y con infraestructura adecuada es más capaz de responder a desastres. En línea con esto, las propuestas se alinean con la noción de Adaptación basada en los Ecosistemas (AbE), promovida en políticas internacionales (Terton y Greenwalt, 2020). Acciones como la protección de arrecifes (Cayo Blanco) y manejo de cuencas aportan resiliencia natural, mientras que la participación comunitaria aporta resiliencia social. De hecho, las comunidades Garífunas tienen un acervo cultural de adaptación que puede integrarse al plan: sus conocimientos sobre las señales de la naturaleza, sus prácticas tradicionales de pesca sostenible, etc., deben incorporarse a los esquemas actuales de MCI. Esto enriquece la gobernanza con una perspectiva intercultural, potenciando el éxito de las medidas.

En la **Tabla 4** a continuación, se presentan algunos ejemplos de recomendaciones estratégicas derivadas de este estudio, organizadas según los aspectos del Decálogo MCI, y señalando los actores responsables. Estas acciones ilustran cómo se puede pasar del diagnóstico a la práctica, asignando tareas concretas para lograr una gobernanza costera más inclusiva y efectiva.

En conjunto, estas recomendaciones ilustran un cambio de paradigma: de una gestión pasiva y fragmentada a una gestión proactiva, participativa y adaptativa. Es esencial comprender que la resiliencia comunitaria frente a la contaminación y el cambio climático no se logrará únicamente con infraestructura (aunque esta es vital), sino también con capital social e institucional fortalecido. Cuando los habitantes se sienten co-responsables y ven resultados tangibles (playas limpias, más pesca), se genera un círculo de confianza y acción colectiva.

TABLA 4. Recomendaciones para un programa de gestión costera integrada en la Bahía de Trujillo

Aspecto (Decálogo MCI)	Recomendación principal	Actores responsables
Políticas públicas	Formular una política municipal de gestión de residuos sólidos y aguas residuales, alineada con la Política Nacional de Humedales y Espacios Marino-Costeros y la Agenda 2030.	Alcaldías de Trujillo y Santa Fe; SERNA; Congreso Nacional de Honduras.
Normativa	Socializar y aplicar la Ley General del Ambiente, la Ley de Municipalidades y la normativa específica de residuos sólidos y aguas residuales, adaptándolas mediante ordenanzas municipales específicas que incluyan sanciones progresivas bajo el principio de educar antes que sancionar.	Corporaciones municipales; SERNA; Juzgados locales; UMA.
Competencias	Clarificar responsabilidades entre gobierno central y municipal para saneamiento, fortaleciendo a la UMA y patronatos comunitarios en recolección y control.	Alcaldías (ejecución local); MiAmbiente+ (rectoría); Patronatos Garifunas (co-gestión).
Instituciones	Coordinar a las instituciones con competencia bajo un esquema de gobernanza litoral participativa, mediante la creación de una mesa interinstitucional costera para articular la gestión de aguas residuales y desechos.	Alcaldías; Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA); SERNA; ONGs; Patronatos.
Instrumentos estratégicos	Crear los lineamientos generales para la formulación del plan municipal de MCI de la Bahía de Trujillo, implementando instrumentos de gestión como la tasa turística ambiental, así como planes locales de gestión de residuos.	Alcaldías; Instituto Hondureño de Turismo (IHT), ONGs; Patronatos.
Formación	Establecer programas de capacitación continua para técnicos municipales y líderes comunitarios en gestión de residuos y monitoreo ambiental.	Universidades; Alcaldías; Patronatos; INFOP.
Recursos económicos	Gestionar la construcción de un relleno sanitario mancomunado para Trujillo y Santa Fe, financiado con presupuesto municipal y evaluando un impuesto ambiental turístico.	Gobierno nacional (apoyo técnico-financiero); Alcaldías de Santa Fe y Trujillo (ejecución); Empresa privada (sector turismo).
Conocimiento e información	Crear un sistema comunitario de monitoreo y divulgación sobre residuos y vertidos (mapas, indicadores, diagnósticos participativos).	Alcaldías; Patronatos; ONGs; Academia.
Educación para la sostenibilidad	Establecer alianzas estratégicas entre las municipalidades, centros educativos y medios de comunicación comunitarios para impartir programas de educación ambiental (campañas radiales, materiales divulgativos) sobre manejo de residuos y cuidado de ecosistemas.	Administraciones municipales (coordinación interinstitucional); Direcciones departamental de educación; Medios locales (radio, TV); ONGs.
Participación pública	Crear comités de gestión costera con representantes Garifunas, ONG, empresa privada y gobierno local. Organizar grupos de limpieza comunitaria con capacitación y reconocimiento.	Alcaldías (convocatoria oficial); Patronatos y consejos Garifunas (liderazgo comunitario); ONG locales; Empresas (apoyo logístico).

Asimismo, la voluntad política es un factor determinante. Las propuestas requieren del respaldo de las autoridades para implementarse. Sin embargo, convertir compromiso en hechos demandará abogacía constante y quizás presión ciudadana. La gobernanza costera inclusiva conlleva reconocer a los Garífunas no solo como beneficiarios de las políticas, sino como socios de pleno derecho en la gestión ambiental. Esto sería coherente con convenios internacionales (Convenio de Diversidad Biológica – Aichi), que destaca el papel de comunidades locales en conservación.

Es importante resaltar la replicabilidad y escalabilidad de este caso. Lo que se proponga e implemente en la Bahía de Trujillo podría servir de modelo para otras regiones costeras de Honduras con comunidades indígenas/afrodescendientes y problemas similares (por ejemplo, la Mosquitia, la Bahía de Tela). La integración exitosa del saber local y planificación técnica, y la construcción de resiliencia costera, enviarían un mensaje positivo a nivel nacional. En un país donde tradicionalmente la costa ha sido postergada en la agenda de desarrollo, lograr un litoral más sostenible e incluso sería un paso importante hacia las metas de sostenibilidad globales y los compromisos climáticos de Honduras.

En conclusión de esta discusión, queda claro que abordar la contaminación costera en las comunidades Garífunas de la bahía de Trujillo requiere enfoques integrales de MCI, instituciones fortalecidas, comunidades empoderadas y acciones concretas de restauración y prevención. A continuación, se sintetizan las conclusiones más relevantes de la investigación y se enumeran recomendaciones viables para impulsar una gobernanza costera inclusiva que haga realidad esta visión.

5. CONCLUSIONES

Importancia ecológica y vulnerabilidad: La Bahía de Trujillo posee una gran riqueza de ecosistemas marino-costeros interconectados (lagunas costeras, arrecifes, playas, dunas, pastos marinos, etc.), los cuales sustentan la economía local (pesca, turismo) y proveen servicios ecosistémicos. Sin embargo, décadas de manejo inadecuado de residuos sólidos y vertidos líquidos han llevado a la contaminación de suelos, aguas y biota, comprometiendo la salud de estos ecosistemas y reduciendo su capacidad de brindar servicios (menos protección costera, menos producción pesquera, etc.). La caracterización realizada enfrentó

limitaciones por la escasez de estudios técnico-científicos previos en la zona, lo que evidencia la necesidad de invertir en investigación costera en Honduras. La degradación de la bahía es significativa pero reversible si se aplican medidas integrales.

Diagnóstico de residuos sólidos: La gestión de los residuos sólidos en las comunidades Garífunas es actualmente informal. La mayoría de los desechos generados terminan dispersos en el entorno, ya sea en calles, patios, botaderos clandestinos o el vertedero municipal el cual causa contaminación del aire (por quema), del suelo y de cuerpos de agua cercanos. Esto contraviene la legislación vigente (Ley de Municipalidades, Art.152) que obliga a las alcaldías a proveer servicio de aseo. La ausencia de un sistema público sostenible de recolección y disposición final es un vacío crítico que debe ser llenado. Por lo tanto es imperativo que los tomadores de decisiones asuman este rol y se implemente un Plan integral de manejo de residuos en la bahía, aprovechando esquemas mancomunados entre municipios y participación comunitaria, para evitar que la contaminación siga creciendo.

Diagnóstico de aguas residuales: La falta de alcantarillado sanitario implica que todas las aguas residuales domiciliarias terminan contaminando el entorno ya sea infiltrado al manto freático o fluyendo a quebradas y finalmente al mar. Actualmente no hay ningún tratamiento de aguas servidas en el área de estudio. Esto representa un riesgo sanitario grave (focos de infección, contaminación de fuentes de agua) y un impacto ambiental directo (eutrofización y coliformes en la bahía). Sin un adecuado manejo de las aguas residuales, la calidad ambiental y de vida en las comunidades no mejorará, por lo que debe integrarse este componente en las soluciones (sea mediante sistemas sépticos mejorados a corto plazo y eventualmente un sistema de tratamiento colectivo a mediano plazo).

Brechas institucionales y normativas: A nivel local, no existe ninguna entidad especializada (pública o privada) dedicada a la gestión de residuos o vertidos en la Bahía de Trujillo. La responsabilidad ha recaído informalmente en las propias comunidades, lo cual no es sostenible. Si bien Honduras cuenta con normativas ambientales aplicables (más de 20 leyes y reglamentos relacionados), en la práctica estas no se aplican en la bahía de Trujillo debido a la falta de recursos y debilidad en la gobernanza (Caviedes *et al.*, 2014). Se resalta como positivo que el país dispone de la Política Nacional de Manejo Integrado de Espacios

Marino-Costeros de Honduras; sin embargo, su implementación requerirá de voluntad política y coordinación de distintos sectores, incluyendo turismo (IHT) y pesca (DIGEPESCA). Es imprescindible poner en marcha dicha Política Nacional, creando un marco coordinado, y descentralizar su ejecución empoderando a municipios costeros con recursos y competencias claras para la gestión ambiental.

Participación y sensibilización comunitaria: A pesar de las adversidades, se observa una actitud positiva y proactiva de la población Garífuna hacia la solución del problema. Las dificultades económicas inciden, por lo que cualquier esquema futuro debe considerar la equidad y accesibilidad (por ejemplo, tarifas diferenciadas o subsidios para familias de escasos recursos). Las comunidades cuentan con fortalezas como vías de acceso accesibles y liderazgo local que facilitarían implementar soluciones (se podría usar un camión recolector grande y colocar contenedores). El éxito de cualquier plan de gestión en estas comunidades dependerá de involucrar a los residentes en todas sus etapas (diseño, implementación y monitoreo) fortaleciendo la participación ciudadana como componente central de la gobernanza costera. La educación ambiental continua y la formación de líderes locales serán piezas clave para sostener los cambios en el tiempo.

En síntesis, las comunidades Garífunas de la Bahía de Trujillo enfrentan un desafío significativo en materia de contaminación costera, pero también poseen la determinación y los conocimientos locales para ser parte esencial de la solución. Esta investigación concluye enfatizando que la gobernanza costera inclusiva (aquella donde gobierno, comunidad y demás actores colaboran equitativamente) es la vía más prometedora para revertir la degradación ambiental y construir resiliencia ante un futuro climáticamente incierto. Al adoptar las medidas aquí planteadas, Santa Fe, San Antonio y Guadalupe pueden transformarse en un modelo de sostenibilidad costera participativa en Honduras.

6. REFERENCIAS

- Arenas, P. (2010). Manejo costero integrado y sustentabilidad: Un análisis propositivo de políticas públicas en las dos caras atlánticas (España - Portugal y Colombia - Panamá). Tesis doctoral. Universidad de Cádiz. Puerto Real, España.

- Arenas, P. (2012). Una metodología complementaria para el análisis comparativo de políticas públicas y otros asuntos claves orientados al MCI: propuesta y aplicación para cuatro estados iberoamericanos. En, Barragán, J. (Ed.). Libro de comunicaciones: I Congreso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales. (1955-1967). Universidad de Cádiz. 2643 p.
- Argeñal, F. (2010). Variabilidad climática y cambio climático en Honduras. SERNA/PNUD. Tegucigalpa, Honduras.
- Barragán, J.M. (2001). The Coasts of Latin America at the End of the Century. *Journal of Coastal Research*, 17(4). 885-899 p.
- Barragán, J.M., (2004). Las áreas litorales de España. Del análisis geográfico a la gestión integrada. Ariel Ciencia, Editorial Ariel. Barcelona. 198 p.
- Barragán, J. M. (2010). Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio. Scielo. <https://ibermar.org/wp-content/uploads/documentos/publicaciones/FASE%20I.pdf>. 380 p.
- Barragán, J. M., y de Andrés, M. (2016). Aspectos básicos para una gestión integrada de las áreas litorales de España: conceptos, terminología, contexto y criterios de delimitación. *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 16(2), 171-183. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. <https://doi.org/10.5894/rgci638>
- Caviedes, V., Arenas, P., y Carrasco, J. C. (2014). Una contribución a la política pública para el manejo costero integrado de Honduras: análisis diagnóstico. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14(4), 645–662. <https://doi.org/10.5894/rgci461>
- Caviedes, V. (2020). Manejo integrado del espacio costero y marino del Golfo de Honduras: Elementos propositivos para un ámbito transnacional [Tesis doctoral]. Universidad de Cádiz. Escuela Internacional de Doctorado en Estudios del Mar. 341 p.
- Gramajo, J. (2017). El río Motagua fallece, ¿quién lo está matando? Soy502. Recuperado de <https://www.soy502.com/articulo/rio-motagua-esta-muriendo-quien-lo-esta-matando-100931>
- Güity, J. 2018. Problemática y gestión de la contaminación en el litoral de las comunidades Garífunas de las Bahía de Trujillo, Honduras. Tesis de Master en Gestión Integrada de Áreas Litorales. Universidad de Cádiz. España. 76p.
- INE. (2015). Municipio de Santa Fe 02-05: Características Generales de la Población y las Viviendas (Tomol3). Recuperado de <https://temp.ine.gob.hn/wp-content/uploads/2025/02/13-Colon-Santa-Fe-02-05.pdf>

- Newig, J., Challies, E., Jager, N. W., Kochskamper, E., y Adzersen, A. (2018). The environmental performance of participatory and collaborative governance: A framework of causal mechanisms. *Policy Studies Journal*, 46(2), 269–297. <https://doi.org/10.1111/psj.12209>
- PNUMA. (2021). Hacer las paces con la naturaleza: Plan científico para hacer frente a las emergencias del clima, la biodiversidad y la contaminación. Nairobi. Recuperado de <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>
- Terton, A., y Greenwalt, J. (2020). Building resilience with nature: Ecosystem-based adaptation in national adaptation plan processes. International Institute for Sustainable Development (IISD) / NAP Global Network. <https://napglobalnetwork.org/resource/building-resilience-with-nature/>
- UNESCO. (2018). Language, dance and music of the Garifuna: intangible heritage. Recuperado de <https://ich.unesco.org/en/RL/language-dance-and-music-of-the-garifuna-00001>

DIAGNÓSTICO TERRITORIAL PARA LA PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA ECOTURÍSTICA SOSTENIBLE EN LA COSTA DEL PACÍFICO MEXICANO

GAEL DE JESÚS DÍAZ ROMERO

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Oaxaca

JOSÉ LUIS CABALLERO MONTES

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Oaxaca

RAFAEL ALAVÉZ RAMÍREZ

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Oaxaca

MARGARITA RASILLA CANO

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Oaxaca

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el ecoturismo ha emergido como una estrategia clave para el desarrollo territorial sostenible en regiones con alto valor natural y cultural, particularmente en contextos rurales y costeros. En América Latina y especialmente en México, las costas del Pacífico albergan ecosistemas frágiles como manglares, playas vírgenes, y selvas tropicales que, si se gestionan de manera adecuada, pueden ser la base para modelos turísticos alternativos que favorezcan el bienestar comunitario y la conservación ambiental (Ruiz-Ballesteros, 2011; Ramírez, 2021). Sin embargo, la planificación de infraestructura ecoturística en estas zonas requiere de un enfoque integral que incorpore herramientas de análisis territorial y la participación activa de las comunidades locales.

La planificación de infraestructura ecoturística sostenible se ha consolidado como un componente fundamental para el desarrollo regional en zonas costeras, especialmente en contextos con alta biodiversidad y comunidades locales con profundos vínculos culturales y ambientales. En este sentido, la integración de tecnologías de información y

comunicación (TIC) con metodologías participativas ha mostrado ser un enfoque prometedor para garantizar procesos inclusivos, eficaces y ambientalmente responsables (Šoltésová et al., 2025; Vuković (2022).

La comunidad de Zapotengo, en Oaxaca, México requiere del desarrollo de planes integrales de planificación debido a su riqueza natural y las dinámicas sociales singulares que se generan en torno al turismo sustentable. Estudios previos han destacado el potencial que tienen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) combinados con procesos participativos para identificar áreas de conservación y uso sustentable del territorio (Hernández et al., 2025; Ghedin, 2011; Xing, 2024). Sin embargo, existe aún un vacío en diagnósticos que articulen estas herramientas con un enfoque comunitario específico para el desarrollo de infraestructura ecoturística en contextos similares a Zapotengo, lo que dificulta la gestión efectiva y la planificación a mediano y largo plazo (Rodríguez y Cota, 2017).

Este capítulo presenta los resultados del primer objetivo de la tesis: Energías renovables y ecoturismo: Propuesta de infraestructura sustentable para el desarrollo solidario de Zapotengo, Pochutla, Oaxaca, que se lleva a cabo por el autor principal de esta investigación en la maestría en Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario en el Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Oaxaca. Dicho objetivo fue el de realizar un diagnóstico territorial apoyado en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para planificar infraestructura ecoturística sostenible en la comunidad mencionada ubicada en el litoral del pacífico mexicano.

La investigación se sustentó en un enfoque metodológico mixto que integró Sistemas de Información Geográfica (SIG) y talleres participativos de mapeo comunitario. De esta manera, se buscó no sólo caracterizar el territorio desde una perspectiva técnica, sino también incorporar el conocimiento local para co-construir una propuesta viable de infraestructura ecoturística de bajo impacto ambiental con una perspectiva sustentable.

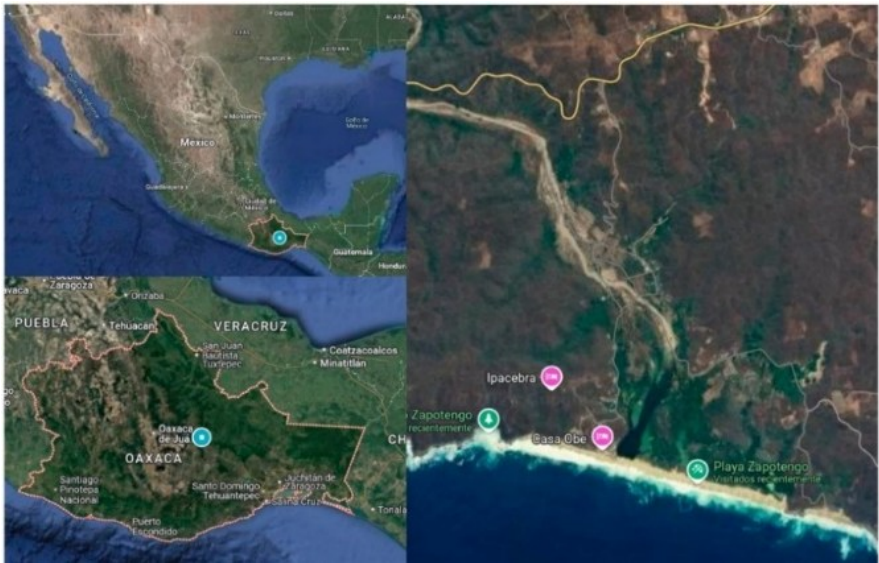
1.1. LOCALIZACIÓN (MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN)

La comunidad de Zapotengo se localiza en la franja costera del municipio de San Pedro Pochutla, Oaxaca al Sur de los Estados Unidos Mexicanos. Su ubicación es estratégica dentro del corredor natural entre Puerto Ángel y Bahías de Huatulco, por lo que se sitúa en una zona de gran relevancia

ecológica. El acceso se puede realizar desde el entronque a Puerto Ángel a 12 kilómetros con dirección a Huatulco en la carretera federal 200.

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, alta humedad y precipitación anual de 500 a 1,500 mm. La orografía combina cerros y lomeríos que descienden hasta la costa. La flora incluye selva baja caducifolia, vegetación de cañada y manglares en riesgo (rojo, blanco, negro y botoncillo). La fauna es diversa: cocodrilos, aves migratorias, iguanas, venados, tortugas, crustáceos y armadillos. Esta riqueza biológica, junto con montañas y cuerpos de agua (2 lagunas y 2 playas), hace de Zapotengo un ecosistema único y valioso (Figura 1).

FIGURA 1. Macro y micro localización de Zapotengo, Pochutla, Oaxaca, Mexico



Fuente: Google Maps: <https://bit.ly/4pH0mth>

2. MARCO TEÓRICO

2.1. TURISMO SOSTENIBLE Y ECOTURISMO

El turismo sostenible, definido por la Organización Mundial del Turismo (OMT, 2015), busca satisfacer las necesidades actuales de los turistas y regiones anfitrionas mientras protege y mejora las oportunidades para el

futuro. Dentro de este marco, el ecoturismo se define como una modalidad de turismo responsable en áreas naturales que conserva el ambiente y mejora el bienestar de las comunidades locales (TIES, 2015). Este tipo de turismo se centra en minimizar el impacto ambiental promoviendo la conservación, involucrando activamente a las comunidades locales (Weaver, 2001; Honey, 2008). Su enfoque en la conservación y el desarrollo sostenible lo convierte en una estrategia viable para comunidades rurales que poseen patrimonios naturales de alto valor, como es el caso de muchas regiones costeras de México (Garduño et al., 2009).

Diversas investigaciones han documentado cómo proyectos ecoturísticos bien planificados pueden generar beneficios económicos, fortalecer la identidad cultural, y conservar recursos naturales (López-Guzmán et al., 2019; Monterrubio et al., 2013). Sin embargo, también existen riesgos de sobreexplotación, exclusión social o desarticulación con los planes de desarrollo territorial si no se realiza una planificación adecuada (Honey, 2008). En México, el ecoturismo ha emergido como una estrategia para diversificar economías rurales y promover la conservación ambiental (Hernández et al., 2024).

2.2. DIAGNOSTICO TERRITORIAL PARA LA PLANIFICACIÓN ECOTURÍSTICA

El diagnóstico territorial es una herramienta clave para comprender las dinámicas ambientales, sociales y económicas de un territorio antes de la implementación de proyectos de desarrollo (Tomaney et al., 2019). Su finalidad es identificar potencialidades, conflictos y oportunidades para orientar decisiones de ordenamiento y planificación (Flores et al., 2022).

En el contexto ecoturístico, implica identificar recursos naturales, culturales y sociales, así como las limitaciones y amenazas que presentan (Mowforth & Munt, 2016). El uso de las TIC, y en particular de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ha revolucionado esta etapa, permitiendo un análisis espacial detallado y preciso con la integración de datos georreferenciados, modelando escenarios, y tomando decisiones informadas (Bolaños, 2015; Longley et al., 2015).

2.3. PARTICIPACIÓN COMUNITARIA Y MAPEO PARTICIPATIVO

El involucramiento directo de la comunidad ha sido señalado como esencial para el éxito de proyectos de desarrollo sostenible, especialmente en zonas rurales y biodiversas en contextos donde el territorio tiene significados simbólicos y económicos para sus habitantes (Reed, 2008; Chambers, 2006). El mapeo participativo es una metodología que permite a los actores locales aportar conocimientos sobre recursos naturales, espacios de valor cultural y prioridades territoriales, complementando la información técnica de los SIG (Chambers, 2006; Rambaldi et al., 2006). Esta sinergia fortalece el sentido de apropiación social, reduce conflictos y contribuye a una gestión más transparente y colaborativa.

Para que las estrategias antes mencionadas surtan efecto en el desarrollo sustentable de la comunidad, se deben integrar con investigaciones prácticas y aplicadas. Para lograrlo, es importante que los diferentes actores sociales, y sobre todo la comunidad local, se involucren activamente y asuman un papel central en el proceso de planificación del ecoturismo (Pérez y Contreras, 2017).

2.4. ESTUDIOS ANÁLOGOS EN COSTAS MEXICANAS

Investigaciones como las de Cornejo (2004) en una zona costera de Quintana Roo han demostrado la efectividad del abordaje combinado de SIG y procesos participativos para la planificación ecoturística y la conservación. En tanto que el trabajo de Morales & García (2019) se enfocó en la exploración de percepciones comunitarias en la costa de Jalisco para el co-diseño de senderos ecoturísticos y la integración social.

Por otra parte, un estudio de mapeo participativo en Escuinapa, Sinaloa aplicó técnicas de SIG junto con talleres participativos con actores locales para identificar servicios ecosistémicos en humedales costeros y zonas prioritarias para la conservación y aprovechamiento turístico. Se integraron percepciones locales y datos técnicos para facilitar la planificación y el manejo territorial, incluida la conservación de manglares y áreas turísticas como playas y sitios culturales (Cervantes & Ruíz, 2024).

En síntesis, en México la aplicación combinada de SIG y procesos participativos en ecoturismo se utiliza sobre todo para mapear recursos naturales y culturales, identificar zonas prioritarias, considerar percepciones locales, y co-diseñar estrategias de manejo y conservación que fomenten la sostenibilidad en comunidades costeras y áreas protegidas. Estos antecedentes respaldan la relevancia y pertinencia del presente estudio en Zapotengo, que se sumará a la literatura con una propuesta integrada de diagnóstico para el diseño ecoturístico sostenible en un contexto vulnerable.

3. METODOLOGIA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, combinando una investigación empírica con el uso de herramientas digitales y otra de tipo aplicado. El estudio se abordó en dos fases principales: análisis territorial mediante GIS y talleres de mapeo participativo (Figura 2).

FIGURA 2. Diagrama de flujo de la metodología



Fuente: Elaboración Propia

3.1. ANÁLISIS TERRITORIAL MEDIANTE SIG

Para el diagnóstico territorial de Zapotengo se empleó la herramienta ArcGIS con la cual se obtuvieron cartografías actuales y bases de datos georreferenciadas sobre su territorio y entorno. Además, con esta herramienta se procesaron datos topográficos, hidrológicos, de cobertura vegetal y suelo para identificar las características físicas y ambientales relevantes de la población. Este proceso terminó con un análisis de compatibilidad territorial para determinar zonas aptas para infraestructura ecoturística de bajo impacto y áreas prioritarias para conservación.

3.2. TALLERES DE MAPEO PARTICIPATIVO

Se organizaron talleres con siete habitantes de Zapotengo (4 mujeres y 3 hombres) y el representante de esta comunidad, que de forma voluntaria se integraron a un grupo de trabajo con el propósito de apoyar a definir el diagnóstico territorial. Se eligió para llevar a cabo los talleres el centro de salud, un lugar habitual de encuentro donde la población realiza reuniones para tomar decisiones importantes de beneficio comunitario. Se elaboraron material didáctico como mapas impresos del territorio para que los participantes identificaran los lugares más importantes de la población. Durante la sesión se les motivó a los talleristas para que brindarían información de los lugares que ellos consideraban como relevantes para la vida comunitaria y potenciales para el desarrollo de actividades de ecoturismo.

4. RESULTADOS

El uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para determinar el diagnóstico territorial de Zapotengo demostró ser un recurso fundamental para integrar información compleja y transformarla en conocimiento aplicable a la planificación ecoturística sostenible de la comunidad. La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió recopilar, organizar y analizar datos espaciales provenientes tanto de instituciones oficiales de México (INEGI, SEMARNAT, SECTUR) como de la observación directa en campo. Esta integración favoreció la generación de representaciones cartográficas claras, facilitando la identificación de áreas prioritarias para la conservación y de zonas con potencial para infraestructura de bajo impacto.

Asimismo, las TIC contribuyeron a mejorar la comunicación con la comunidad local mediante procesos de mapeo participativo. Estas herramientas no sustituyeron el conocimiento empírico de los habitantes, sino que lo fortalecieron al traducirlo en información georreferenciada, útil para la toma de decisiones colectivas. La posibilidad de visualizar diferentes escenarios territoriales incrementó la claridad del diagnóstico y permitió consensuar propuestas de desarrollo alineadas con los principios de sustentabilidad.

En términos de percepción, el uso de TIC se reconoció como un apoyo valioso para la investigación. Su aplicación mostró que la tecnología puede ser un puente eficaz entre el conocimiento científico y el saber local, fortaleciendo la construcción conjunta de proyectos.

Uno de los hallazgos más significativos fue el mapeo participativo, que permitió reconocer diversos atractivos naturales de importancia, tales como playas vírgenes, manglares, y senderos interpretativos, además de sitios de interés tanto para la comunidad como para los visitantes (Figura 3). La integración de este conocimiento local con el análisis SIG permitió identificar:

- Áreas prioritarias para la conservación ambiental, especialmente zonas de manglares y hábitats críticos.
- Identificación de atractivos ecoturísticos: playas vírgenes, manglares, senderos interpretativos y miradores con alto valor escénico.
- Zonas aptas para el desarrollo de infraestructura ecoturística de bajo impacto, optimizando la ubicación para minimizar alteraciones ambientales.
- La necesidad de respetar corredores biológicos y áreas de uso comunal.
- Zonas aptas para infraestructura ecoturística: instalaciones de bajo impacto ambiental con materiales de construcción local.
- Apropiación social: fortalecimiento del sentido de pertenencia comunitaria.

FIGURA 3. Mapa donde se identificaron de forma participativa los atractivos naturales que puede ofertar la comunidad de Zapotengo a los visitantes



Fuente: Elaboración Propia

Los hallazgos obtenidos mediante el uso de las TICS y lo expresado en los mapas durante el taller se organizaron en cuatro ejes (Tabla 1):

- a) Ecosistemas y paisajes naturales, que incluyen dos playas y dos lagunas, idóneas para miradores.
- b) Conservación de flora y fauna, con presencia de especies emblemáticas como tortugas marinas, cocodrilos y aves migratorias, lo cual abre oportunidades para senderos interpretativos, miradores y rutas de avistamiento.
- c) Tradición y vida comunitaria, expresada en festividades, gastronomía, lugares de reunión y desarrollo de la vida cotidiana de la comunidad.
- d) Infraestructura con potencial de mejora, donde se identificaron carencias en servicios básicos, señalización, y módulos de información comunitaria.

TABLA 1.- *Identificación de atractivos turísticos de Zapotengo a partir de cuatro ejes prioritarios.*

Tradición y vida comunitaria	Ecosistemas y paisajes naturales	Espacios infraestructurales con potencial de mejora	Conservación de flora y fauna
Iglesia	Laguna principal	Señalización de caminos	Tortugario
Centro de Salud	Laguna pachequito	Atrio de la iglesia	Iguanario
Escuela Primaria	Playa Zapotengo	Explanada	Mangles
Explanada	Playa Tranquila	Letras (Nombre población)	
Tienda			
Puente			

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos mediante las herramientas tecnológicas y el mapeo participativo confirman que Zapotengo posee una notable riqueza natural y cultural que constituye una base sólida para el diseño de proyectos de ecoturismo sustentable que permitan apoyar la economía de la población, generen identidad local, además de que fomenten la apropiación social del territorio.

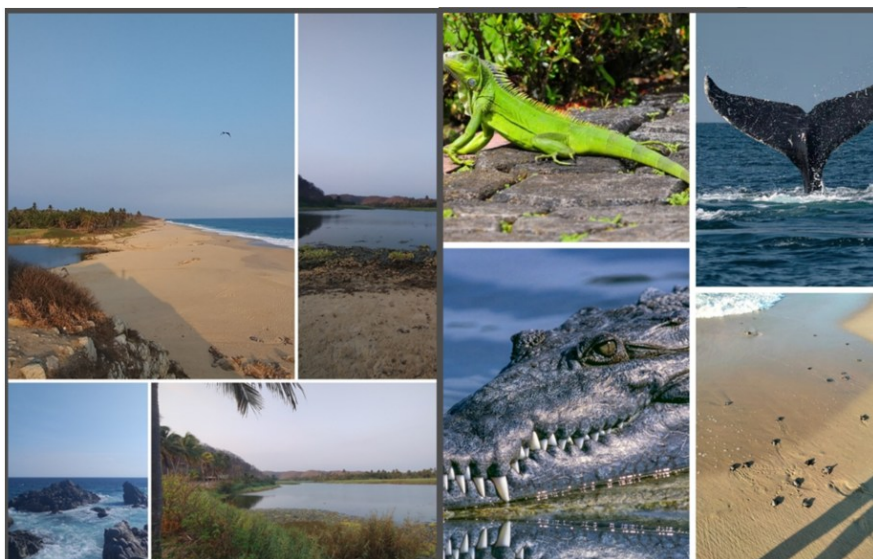
Los pobladores manifestaron la prioridad para dar inicio al proyecto de construcción de infraestructura ecoturística en la población, de acuerdo a sus requerimientos sobresale la mejora en la señalización para ingresar a la comunidad, ya que la falta de esta hace confuso para los visitantes ingresen a esta. Por otra parte, señalaron la necesidad de contar con una caseta de información turística donde se dé a conocer sobre atractivos y servicios que ofrece Zapotengo para que permanezcan en él; ya que por lo general solo llegan y se retiran al poco tiempo al no contar con información del sitio.

En la figura 4 se muestran imágenes de la riqueza natural de Zapotengo donde destacan manglares, lagunas, playas y la fauna como cocodrilos, iguanas, tortugas y con frecuencia es posible ver el paso de ballenas sobre la playa principal.

En las figuras 5 se muestran imágenes de la infraestructura existente en la comunidad como la iglesia, letrero de bienvenida, enramadas para realizar actividades sociales. Por otra parte, se observa la gastronomía típica del lugar y los eventos sociales que se realizan para reforzar el

tejido social en Zapotengo donde destaca la festividad principal que se lleva a cabo en el mes de mayo.

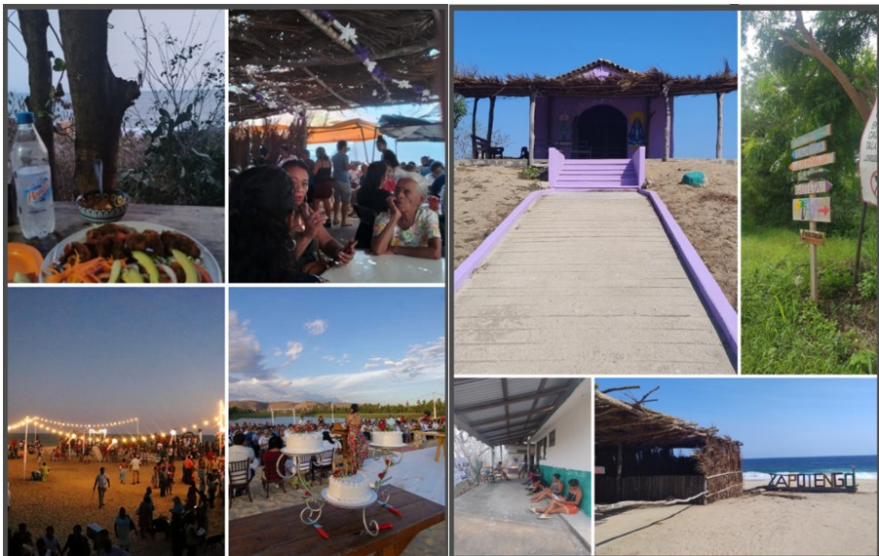
FIGURA 4. Levantamiento etnofotográfico de los ejes temáticos: conservación de flora y fauna, y ecosistemas y paisajes naturales de Zapotengo.



Fuente: Elaboración Propia

Es importante mencionar que esta primera fase del proyecto que correspondió a la identificación de los atractivos turísticos que puede ofertar Zapotengo es el inicio de un proyecto integral, el cual para tener éxito requiere del involucramiento, gestión y participación de la comunidad. Si bien, el mapeo participativo permitió un primer acercamiento y dio voz a la comunidad en la selección de los espacios emblemáticos, aún se requiere fortalecer mecanismos de colaboración más amplios. Entre ellos, destacan la realización de talleres de planeación conjunta, la sensibilización, y la creación de un grupo de trabajo solido que pueda dar seguimiento a las acciones propuestas.

FIGURA 5. Levantamiento etnofotográfico de los ejes temáticos: tradición y vida comunitaria, y espacios infraestructurales con potencial de mejora en Zapotengo.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 6. Aspectos de los talleres con la comunidad de Zapotengo donde se trabajó el mapeo participativo para la identificación de los atractivos turísticos del lugar.



Fuente: Elaboración propia

La participación activa en cada fase del proyecto no solo garantizará que las decisiones respondan a las necesidades locales, sino que también fomentará un sentido de pertenencia y corresponsabilidad. De esta manera, la apropiación del proyecto no será únicamente simbólica, sino práctica y organizada, lo que incrementará las posibilidades de gestionar recursos externos y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la investigación evidencian la importancia de articular las herramientas tecnológicas con procesos participativos para lograr una planificación ecoturística sostenible. El uso de SIG aportó una base objetiva y detallada para el análisis espacial, mientras que el mapeo participativo integró saberes locales que enriquecen la legitimidad y pertinencia del diagnóstico (Reed, 2008; Rambaldi et al., 2006).

La identificación conjunta de áreas prioritarias para conservación y desarrollo demuestra cómo el enfoque mixto contribuye a equilibrar intereses ambientales y socioeconómicos. En el caso de Zapotengo, un territorio con alta vulnerabilidad ambiental y social, esta estrategia mejora la probabilidad de que la infraestructura ecoturística propuesta sea viable y sostenible en el tiempo (Sánchez-Prieto, 2021).

Sin embargo, es necesario reconocer ciertas limitaciones, entre ellas la escala y calidad de los datos SIG disponibles. Existen zonas de difícil acceso que no han podido ser registradas con precisión en los medios digitales, además de que los procesos naturales del territorio modifican constantemente sus características, mientras que las actualizaciones de estas plataformas suelen tardar en reflejar dichos cambios. A ello se suma la necesidad de garantizar que la información generada por el proyecto sea accesible para la mayoría de la comunidad, a fin de evitar exclusiones o sesgos en futuros procesos.

Durante los talleres realizados con la comunidad algunos participantes señalaron que la información no siempre se comparte de manera abierta, sino que suele concentrarse en familiares o personas cercanas a las autoridades. Esta situación limita la participación a un sector reducido y muestra que, aunque la comunidad no es numerosa, pueden

surgir sesgos relevantes derivados de intereses personales de quienes ocupan cargos de representación.

Los resultados encontrados confirman el valor del diagnóstico territorial apoyado en TIC como estrategia para planificar infraestructura ecoturística. La experiencia que el grupo de investigación tuvo con Zapotengo coincide con estudios previos que destacan el papel de la tecnología en la planificación participativa (Scheyvens & Biddulph, 2018).

6. CONCLUSIONES

El diagnóstico territorial apoyado en TIC fue una herramienta valiosa para planificar infraestructura ecoturística sostenible en la comunidad de Zapotengo, Oaxaca. La combinación de análisis con SIG y mapeo participativo permitió una comprensión integral del territorio, destacando la importancia de integrar enfoques tecnológicos y participativos.

La activa participación comunitaria no solo enriqueció el contenido del diagnóstico, sino que también fortaleció el compromiso social y la apropiación del proyecto, aspectos clave para su éxito y sostenibilidad futura. Estos hallazgos resaltan la conveniencia de aplicar metodologías mixtas para la planificación turística en zonas vulnerables, favoreciendo la conservación ambiental y el desarrollo socioeconómico local.

En relación con el cumplimiento del objetivo de la investigación, se logró generar un diagnóstico sólido con el que se pudo identificar los principales atractivos, riesgos y oportunidades del territorio, aportando información estratégica para diseñar infraestructura ecoturística de bajo impacto. No obstante, aún persisten retos vinculados a la actualización de datos, la inclusión plena de todos los sectores de la comunidad y la consolidación de mecanismos permanentes de participación ciudadana.

Desde una perspectiva de gestión, es necesario avanzar en la capacitación local en el uso de TIC, establecer comités comunitarios de seguimiento y formas de gestión de recurso por medio de la cooperación comunitaria o aportaciones de programas gubernamentales o medios privados, que permitan escalar el proyecto más allá del diseño hacia fases de implementación concreta. Solo a través de este esfuerzo articulado será posible transformar el diagnóstico en un plan de acción sostenible y con verdadero impacto en el bienestar comunitario.

7. AGRADECIMIENTOS

El autor principal agradece a la secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de estudios al programa Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario del Instituto Politécnico Nacional (IPN) CIIDIR Oaxaca, México. Los coautores a la COFAA del mismo instituto por la beca de exclusividad otorgada.

8. REFERENCIAS

- Bolaños, D. (2016). SIG aplicado al Turismo. *Tierra Infinita*. (2), 136-149.
<https://doi.org/10.32645/26028131.118>.
- Cervantes-Escobar, A. & Ruiz-Luna, A. (2024). Identificación y mapeo participativo de los servicios ecosistémicos en Marismas Nacionales Sinaloa, México. *Acta universitaria*, 34, e4247, 1-24.
<https://doi.org/10.15174/au.2024.4247>
- Chambers, R. (2006). Participatory mapping and geographic information systems: Whose map? Who is empowered and who disempowered?. *Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 25(1), 1–11. <https://doi.org/10.1002/j.1681-4835.2006.tb00163.x>
- Cornejo, M. K. (2004). Promoting community ecotourism enterprises in common property regimes: A stakeholder analysis and geographic information systems application in Ejido X-Maben in central Quintana Roo, Mexico (Tesis de maestría). Florida International University.
<https://digitalcommons.fiu.edu/etd/2516>
- Flores-Cevallos, K.L., Flores-Tapia, C.E. & Pérez-González, M.C. (2022). Diagnóstico territorial con un enfoque de desarrollo integral, territorial y sostenible. *Veritas & Research*, 4(1), 56-65.
- Garduño, M., Guzmán, C., Zizumbo, L. (2009) Turismo rural: Participación de las comunidades y programas federales *El Periplo Sustentable*, 17, pp. 5-30. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193414420001>
- Ghedin, L. M., Alves da Silva, M., Duarte Sevalho & C. da Silva Level, T. (2011) SIG- TUR: Una herramienta para la planificación, gestión y control de los destinos turísticos. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1-16.
- Hernández, M. A., Vazquez, V., Ortiz, M. E., & Reyes, J. A. (2025). Geospatial intelligence for tourism management at sites in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Cuadernos Geográficos*, 64 (1), 41–61.
<https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v64i1.30607>

- Hernández-Cuevas, F. I., Montalvo-Velázquez, A., Pasos-Cimé, M. A., Barrientos-Carrillo, I. M., & Corona-González, M. (2024). La sostenibilidad de las plazas de vocación turística en México. *I+D Revista De Investigaciones*, 19(1). Recuperado a partir de <https://sievi.udl.edu.co/ojs/index.php/ID/article/view/451>
- Honey, M. (2008). *Ecotourism and Sustainable Development: Who Owns Paradise?* Island Press.
- López-Guzmán, T., Sánchez-Cañizares, S. M., & Pavón, V. (2019). Community-based tourism in developing countries: A literature review. *Sustainability*, 11(17), 4703.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science* (4th ed.). Wiley.
- Morales, Á. A., & García, M. (2019). Percepción de los impactos del turismo de naturaleza en la costa de Jalisco, México. *Sociedades Rurales*, 7(49), 115-130. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/492>
- Mowforth, M., & Munt, I. (2016). *Tourism and Sustainability: Development, Globalisation and New Tourism in the Third World* (4th ed.). Routledge.
- Monterrubio, J.C., Rodríguez, G. & Mendoza, M. (2013). Social benefits of ecotourism: the monarch butterfly reserve in México. *Enlightening Tourism. A Pathmaking Journal*, 3 (2), 105-124.
- Pérez-Ramírez, C. y Contreras, I. (2017). Diagnóstico turístico local para el ecoturismo comunitario en san Ildefonso (Ixtlahuaca, México). *Turismo y Sociedad*, XXI, pp. 27-49. DOI: <https://doi.org/10.18601/01207555.n21.02>
- Rambaldi, G., Chambers, R., McCall, M., & Fox, J. (2006). Participatory spatial information management and communication in developing countries. *The Participatory Learning and Action Approach*, 54, 3-7.
- Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*, 141(10), 2417-2431. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014>
- Ramírez, M. (2021). Potencial turístico, planificación participativa, diversificación del turismo de sol y playa de Bahías de Huatulco, Oaxaca. *El Periplo Sustentable*, 41, 255-284. <https://dx.doi.org/10.36677/elperiplo.v0i41.13515>
- Ruiz-Ballesteros, E. (2011). Social-ecological resilience and community-based tourism: An approach from Agua Blanca, Ecuador. *Tourism Management*, 32(3), 655–666. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.05.021>

- Rodríguez, J. J. y Cota, R. (2017): “Proyecto ecoturístico para impulsar el desarrollo local en una región rural de Jalisco, México”, *Revista Turydes: Turismo y Desarrollo*, 23, 1-22. En línea: <https://www.eumed.net/rev/turydes/23/ecoturismo-jalisco.html>
- Šoltésová, M. Iannaccone, B. Štrba, L'. & Sidor, C. (2025). Application of GIS Technologies in Tourism Planning and Sustainable Development: A Case Study of Gelnica. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2025, 14, 120. <https://doi.org/10.3390/ijgi14030120>
- Scheyvens, R., & Biddulph, R. (2018). Inclusive tourism development. *Tourism Geographies*, 20(4), 589–609. <https://doi.org/10.1080/14616688.2017.1381985>
- Sánchez-Prieto, M.C. Luna-González, A. Espinoza-Tenorio, A. González-Ocampo, H.A. (2021). Planning Ecotourism in Coastal Protected Areas; Projecting Temporal Management Scenarios. *Sustainability* 2021, 13, 7528. <https://doi.org/10.3390/su13147528>
- Tomaney, J., Krawchenko, T., & McDonald, C. (2019). Regional planning and rural development. In *The Routledge companion to rural planning* (pp. 170–182). Routledge
- TIES (The International Ecotourism Society). (2015). What is Ecotourism?. <https://ecotourism.org/what-is-ecotourism/>
- Vuković, M. (2022). The application of GIS in sustainable tourism management, *Economics of Sustainable Development*, 6 (2), 53-62. <http://dx.doi.org/10.5937/ESD2202053V>
- Xing, W. (2024). Leveraging GIS for sustainable tourism development: A comprehensive spatial approach, *Applied and Computational Engineering*, 106, 13-18. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/106/20240911>
- Weaver, D. (2001). *The Encyclopedia of Ecotourism*. CABI Publishing.

SECCIÓN III.

ECONOMÍA CIRCULAR, SOSTENIBILIDAD
Y GESTIÓN EMPRESARIAL

COMUNICACIÓN ÉTICA DE LA CIRCULARIDAD: ESTRATEGIAS INNOVADORAS DE VENTOS METÓDICOS PARA EL RECICLADO DE PALAS EÓLICAS

ALEJANDRO COSTA ESCUREDO
Universidad Complutense de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

El reciclado de palas eólicas plantea un doble desafío: por un lado, el técnico, asociado a la gestión de materiales de gran tamaño y complejidad; por otro, el comunicativo, vinculado a cómo transmitir a los distintos públicos objetivos (instituciones, clientes industriales y sociedad civil) el valor ambiental y económico de un proceso aún desconocido o incluso valorado como costoso y marginal. Ventos Metódicos, fundada en 2019 como primera empresa europea con licencia para el reciclado de palas eólicas, ha asumido ambos retos integrándolos en una misma estrategia global: la sostenibilidad 360° en la práctica y en el relato corporativo Sostylair, marca comercial que distribuye mobiliario procedente del reciclado de las palas, así como tableros duraderos para la industria de construcción.

El contexto europeo actual exige soluciones a la altura del reto de la transición energética. Según la Agencia Europea de Energía Eólica (WindEurope), en los próximos cinco años se desmantelarán entre 40.000 y 60.000 toneladas de palas eólicas en el continente, lo que supone un desafío logístico, ambiental y comunicativo sin precedentes.

La mayoría de los componentes de las palas pueden reciclarse, pero el reto reside en la gestión eficiente de los materiales compuestos, especialmente la fibra de vidrio y las resinas termoestables, que dificultan su separación y reutilización.

La comunicación de la economía circular no se limita a difundir datos o certificaciones: requiere storytelling estratégico que conecte con emociones y valores, transparencia en procesos y resultados, y participación de múltiples actores (stakeholders). La literatura señala que la narrativa de “segunda vida” para los productos fomenta la aceptación social y alienta a la colaboración público–privada (Geissdoerfer et al., 2017). Por ello, el caso de Ventos Metódicos resulta paradigmático para analizar cómo la comunicación puede convertirse en motor de innovación y cambio sistémico en la economía circular.

2. RETOS COMUNICATIVOS EN EL RECICLADO DE LAS PALAS EÓLICAS

La comunicación del proceso de reciclado de palas eólicas debe afrontar tres grandes desafíos que, de manera interconectada, determinan el éxito de la difusión y la aceptación del modelo de Ventos Metódicos: la complejidad técnica, la visibilidad del proceso y la educación de audiencias diversas.

2.1. COMPLEJIDAD TÉCNICA

Las palas eólicas están fabricadas con diferentes materiales -principalmente fibras de vidrio, madera de balsa y refuerzos metálicos, a los que se les conoce como “material noble” por su durabilidad e inexistente coste de mantenimiento-. Traducir este entramado industrial a audiencias no expertas requiere:

- Metáforas accesibles: por ejemplo, comparar las capas de fibra con “capas de porcelana” o la madera de balsa con “el panal de un sándwich”, para ilustrar su ligereza y estructura interna.
- Visualizaciones paso a paso: diagramas sencillos que muestren la pala original, el corte en segmentos y la separación de materiales, acompañados de breves descripciones de cada etapa.
- Testimonios de técnicos: vídeos cortos en los que los operarios expliquen, en lenguaje llano, cómo el camión-aserradero

móvil recorta la pala y separa las fibras del núcleo de madera antes de su trituración.

Esta propuesta agiliza la comprensión del público general, reforzando la idea de que el reciclado no es un “proceso mágico”, sino una sucesión de operaciones físicas transparentes. Además, en numerosas ocasiones, este tipo de reciclado se percibe, metafóricamente, como “transformación de materia prima”.

Innovaciones técnicas recientes han revolucionado el sector. Por ejemplo, la Universidad Estatal de Washington ha desarrollado un método para reciclar palas sin productos químicos agresivos, utilizando un baño de sal orgánica en agua presurizada para descomponer el polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

Este proceso permite recuperar fibras y resinas de alta resistencia, que luego pueden emplearse en la fabricación de plásticos más robustos, triplicando la resistencia del nailon y aumentando su rigidez más de ocho veces. Además, el proceso es escalable y rentable, y la mayor parte de la solución catalizadora se recupera, aumentando la sostenibilidad del sistema.

En España, el proyecto ZEBRA ha conseguido fabricar una pala eólica 100% reciclable de 77 metros de longitud utilizando resina líquida termoplástica Elium de ARKEMA, lo que facilita la separación de materiales al final de su vida útil y su reciclaje eficiente.

Esta innovación demuestra que la industria está avanzando hacia soluciones que permitan la circularidad total de los materiales, superando las limitaciones tradicionales de los compuestos termoestables.

La complejidad técnica también se manifiesta en la diversidad de procesos de reciclaje: desde el corte y trituración mecánica hasta la pirólisis de baja emisión de carbono y la solvólisis de química verde, como desarrolla el proyecto EoLO-HUBs en Zaragoza.

Cada método tiene ventajas y limitaciones, y la comunicación debe transmitir de forma clara por qué se elige una tecnología u otra, y qué beneficios aporta en términos de sostenibilidad, eficiencia y reducción de residuos.

2.2. VISIBILIDAD DEL PROCESO

La transformación parcial “in situ” en un camión-aserradero móvil es un gran activo narrativo, pero plantea el reto de hacerlo tangible más allá de la anécdota:

- Demostraciones itinerantes: instalar pantallas en ferias o en la propia flota móvil para emitir timelapses de la trituración y extrusión, de modo que el público vea en minutos lo que en realidad puede durar horas.
- Pequeñas “muestras táctiles”: presentar fragmentos de pala antes y después del corte, permitiendo que los asistentes toquen la fibra cruda y el material resultante, lo que refuerza la percepción del esfuerzo tecnológico.
- Realidad aumentada (AR): aplicaciones móviles que, al apuntar con el teléfono hacia la máquina, superpongan capas de información -flujos de energía, cantidades de material procesado- directamente sobre la imagen real del camión-aserradero. Además, también se establecen unas coordenadas que corresponden al lugar concreto de extracción de pala, coincidiendo con los principales parques eólicos europeos.

De este modo, lo que podría percibirse como un simple camión de obra se convierte en un “laboratorio móvil” de economía circular, visible y memorable para todos los públicos.

La visibilidad del proceso es fundamental para generar confianza y credibilidad. Ventos Metódicos ha apostado por la transparencia total, mostrando cada fase del reciclaje a través de vídeos, visitas guiadas y demostraciones en vivo. Esta estrategia no solo informa, sino que también involucra emocionalmente a los espectadores, quienes pueden observar de primera mano el esfuerzo y la innovación detrás de cada producto reciclado.

La visibilidad también se potencia mediante colaboraciones con medios de comunicación y la participación en eventos sectoriales. Por ejemplo, la serie documental “De la turbina al salón”, coproducida con RTVE, ha permitido acercar el proceso de reciclaje al gran público, mostrando

cómo una pala desmantelada se convierte en mobiliario urbano o industrial. Este tipo de contenidos refuerza el mensaje de sostenibilidad y circularidad, y contribuye a desmitificar el proceso técnico.

2.3. EDUCACIÓN DE AUDIENCIAS

Los destinatarios de la comunicación varían enormemente en nivel y motivación, por lo que es fundamental segmentar y adaptar las estrategias. La siguiente tabla ilustra el tratamiento diferenciado de las audiencias:

FIGURA 2. *Imagen extraída del informe anual de Sostylair 2024*

Audiencia	Estrategia	Canal Principal	Resultado 2024
Instituciones	Informes técnicos con métricas de economía circular	Plataforma EU Circularity Dataset	23 contratos públicos en UE
Cientes B2B	Demostraciones con realidad aumentada	Ferias eólicas	40% aumento en leads
Ciudadanía	Talleres escolares con kits DIY	Colegios técnicos	15,000 estudiantes formados
Inversores	Dashboard de impacto ESG en tiempo real	Portal Sostylair Pro	€4.2M en financiación verde

Fuente: Sostylair

La educación de audiencias no se limita a la transmisión de información técnica, sino que implica la creación de experiencias de aprendizaje significativas. Ventos Metódicos organiza talleres, charlas y visitas para estudiantes de Formación Profesional y universitarios, quienes pueden presenciar de primera mano el corte, trituración y modelado de materiales. Estas actividades fomentan el interés por la economía circular y la innovación, y contribuyen a formar una nueva generación de profesionales comprometidos con la sostenibilidad.

La segmentación estratégica de audiencias permite adaptar mensajes, formatos y canales a las necesidades de administraciones, empresas energéticas, académicos y público general, optimizando la recepción y el efecto persuasivo de cada acción comunicativa. Esta aproximación personalizada facilita tanto la consecución de apoyos institucionales como la generación de demanda en el mercado y el respaldo social.

2.4. ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN COMUNICATIVA EN VENTOS METÓDICOS

Ventos Metódicos ha articulado un conjunto de tácticas que combinan narrativas de marca, contenidos experienciales y alianzas estratégicas para convertir el reciclado de palas eólicas en una historia de sostenibilidad atractiva y creíble.

2.4.1. Branding y narrativa de sostenibilidad

La marca sólida “Sostylair” fusiona “sostenibilidad”, “style” y “air”, transmitiendo desde el primer contacto que el reciclado de palas no solo es un acto responsable, sino también un ejercicio de diseño con sentido estético. El lema “sostenibilidad 360°” subraya que todo el proceso es puramente físico, sin tratamiento químico ni vertido de residuos, y refuerza la promesa de huella de carbono cero en el producto final.

La narrativa de segunda vida es central en la comunicación de Sostylair. Cada producto cuenta una historia: de dónde proviene la pala, cómo ha sido transformada y qué impacto positivo genera en su nueva función. Esta estrategia conecta emocionalmente con los consumidores, quienes valoran cada objeto no solo por su utilidad, sino también por su significado y contribución a la sostenibilidad.

2.4.2. Contenidos multimedia y demostraciones en vivo

Ventos Metódicos utiliza vídeos del proceso en su canal corporativo, mostrando desde la llegada de la pala al camión-aserradero hasta la presentación del mueble terminado, humanizando cada fase con testimonios breves de operarios. Las visitas guiadas a las instalaciones de Monção y Santiago de Compostela permiten a estudiantes y profesionales presenciar el corte, trituración y modelado de materiales, reforzando la transparencia y la confianza en el proceso.

La empresa también ha desarrollado aplicaciones de realidad aumentada y tours virtuales en 360°, que permiten a cualquier persona explorar el proceso de reciclaje desde cualquier lugar del mundo. Estas herramientas digitales amplifican el alcance del mensaje y facilitan la comprensión de los aspectos técnicos y ambientales del reciclaje.

2.4.3. Alianzas académicas y divulgativas

La colaboración con la Universidad de Oporto y otras instituciones científicas ha permitido validar y mejorar los procesos de reciclaje, situando la experiencia de Ventos Metódicos en un marco científico reconocido. Estas alianzas aportan rigor y credibilidad, y facilitan la transferencia de conocimiento y tecnología al sector industrial.

Además, la participación en proyectos europeos como LIFE REFIBRE y EoLO-HUBs ha permitido a Ventos Metódicos acceder a tecnologías avanzadas como la pirólisis de baja emisión de carbono y la solvólisis de química verde, optimizando la recuperación de fibras y resinas y ampliando las posibilidades de valorización de los materiales reciclados.

2.5. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y PROCESOS AVANZADOS DE RECICLADO

El avance tecnológico ha sido fundamental para que empresas como Ventos Metódicos puedan afrontar los retos del reciclaje de palas eólicas con éxito y eficiencia. Tradicionalmente, el reciclaje de estos componentes se veía limitado por la dificultad de separar los materiales compuestos, especialmente la fibra de vidrio y las resinas, lo que generaba una baja tasa de recuperación y escasas aplicaciones de valor añadido. Sin embargo, la apuesta por la innovación ha permitido desarrollar soluciones pioneras que hoy sitúan a la empresa en la vanguardia europea del sector.

Uno de los elementos diferenciadores de Ventos Metódicos es su sistema de corte y segmentación in situ, que emplea hilo diamantado de alta resistencia dentro de carpas portátiles especialmente diseñadas para evitar la dispersión de partículas y la contaminación del entorno. Este proceso no solo minimiza el impacto ambiental, sino que también reduce costes logísticos, ya que permite transportar los segmentos de pala de manera más eficiente y segura.

La aspiración automática de los residuos generados en el corte, que posteriormente se reutilizan como materia prima secundaria, refuerza el compromiso de la empresa con la economía circular y el residuo cero.

Pero la innovación no se detiene en el corte. El siguiente paso es la clasificación y transformación de los materiales. Los fragmentos de fibra

de vidrio y madera de balsa se introducen en moldes específicos, donde se compactan con resinas adicionales bajo presión para obtener productos de alta resistencia y durabilidad. Este método permite fabricar desde bancos urbanos y mobiliario doméstico hasta vigas para la industria agrícola, demostrando la versatilidad de los materiales reciclados y su potencial para sustituir recursos vírgenes en múltiples sectores.

La colaboración con centros de investigación y universidades ha sido clave para perfeccionar estos procesos. Por ejemplo, el proyecto europeo Rewind, coordinado por Aimplas, está desarrollando nuevas tecnologías de desmantelamiento y reciclaje de palas eólicas, incluyendo métodos de pirólisis y solvólisis para la recuperación de materiales compuestos de alto valor añadido. Estas técnicas avanzadas permiten separar y reutilizar los componentes más degradados, ampliando las posibilidades de circularidad y evitando el vertido o la incineración de residuos.

En paralelo, iniciativas como el proyecto ZEBRA han conseguido fabricar palas eólicas 100% reciclables utilizando resinas termoplásticas como Elium de ARKEMA, que facilitan la separación y el reciclaje de los materiales al final de su vida útil. La validación industrial de estos desarrollos representa un hito para el sector, que avanza hacia una economía verdaderamente circular.

2.6. EL CONTEXTO EUROPEO Y LA PRESIÓN NORMATIVA

El reciclaje de palas eólicas no es solo una cuestión técnica o empresarial, sino también un desafío regulatorio y estratégico para Europa. Según WindEurope, en los próximos cinco años se desmantelarán entre 40.000 y 60.000 toneladas de palas en el continente, lo que exige soluciones de gestión de residuos a gran escala. La Unión Europea ha establecido directrices estrictas para la gestión de residuos de equipos eléctricos y electrónicos, así como objetivos de reciclaje y reutilización para todos los sectores industriales, incluida la energía eólica.

En este contexto, la industria eólica europea se ha comprometido a que, para 2025, el 100% de las palas que lleguen al final de su vida útil sean reutilizadas, recicladas o recuperadas, en línea con los principios de la economía circular.

España, con 1.371 parques eólicos y más de 22.000 aerogeneradores instalados, es uno de los países líderes en la implantación de estas políticas, y empresas como Ventos Metódicos desempeñan un papel clave en la consecución de estos objetivos.

La presión normativa impulsa la innovación y la adopción de mejores prácticas, pero también plantea retos relacionados con la estandarización de procesos, la certificación de materiales reciclados y la trazabilidad de los productos. En respuesta, Ventos Metódicos ha implementado sistemas de trazabilidad digital que permiten a clientes y autoridades verificar el origen y el destino de cada pala reciclada, garantizando la transparencia y la conformidad con la regulación vigente.

2.7. IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL DEL RECICLAJE DE PALAS EÓLICAS

El impacto positivo del reciclaje de palas eólicas va más allá de la reducción de residuos. Al transformar materiales que de otro modo acabarían en vertederos en productos útiles y duraderos, se contribuye a la conservación de recursos naturales, la disminución de la huella de carbono y la creación de empleo local. Según estudios recientes, la implementación de estrategias de economía circular en el sector eólico puede reducir entre un 20% y un 30% los impactos ambientales asociados a los residuos de turbinas.

Además, el reciclaje de palas fomenta la innovación en diseño y materiales. La reutilización de fibra de vidrio y madera de balsa en mobiliario urbano, elementos arquitectónicos y componentes industriales abre nuevas oportunidades de negocio y estimula el desarrollo de soluciones sostenibles en sectores tradicionalmente intensivos en recursos.

La participación de Ventos Metódicos en proyectos internacionales y su colaboración con grandes empresas del sector, como Enel, Iberdrola o Nordex Acciona, refuerzan su papel como motor de cambio en la transición hacia una economía baja en carbono.

Desde el punto de vista social, las acciones de divulgación y educación impulsadas por la empresa contribuyen a sensibilizar a la ciudadanía sobre la importancia del reciclaje y la economía circular. Talleres, visitas guiadas y campañas de comunicación permiten acercar la realidad

industrial a estudiantes, profesionales y público general, fomentando una cultura de sostenibilidad y responsabilidad compartida.

2.8. DESAFÍOS PENDIENTES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

A pesar de los avances logrados, el reciclaje de palas eólicas sigue enfrentando importantes desafíos. La diversidad de materiales y composiciones dificulta la estandarización de los procesos de reciclaje, y muchas de las tecnologías más avanzadas aún se encuentran en fase piloto o requieren una inversión significativa para su escalado industrial.

Además, la falta de datos sólidos sobre la generación y gestión de residuos complica la planificación y la toma de decisiones a nivel sectorial.

El futuro del sector pasa por la consolidación de alianzas entre empresas, centros de investigación y administraciones públicas, así como por el desarrollo de políticas de apoyo que incentiven la inversión en tecnologías limpias y la creación de mercados para los materiales reciclados. La construcción de plantas de reciclaje a escala industrial, como la que promueve ENERGYLOOP en Navarra, será clave para situar a España y Europa a la vanguardia de la economía circular en el sector eólico.

Por otro lado, la comunicación seguirá siendo un elemento estratégico para superar las resistencias y acelerar la adopción de soluciones sostenibles. La transparencia, la narrativa de segunda vida y la participación de todos los actores implicados serán esenciales para consolidar la aceptación social y el respaldo institucional a las nuevas tecnologías de reciclaje.

2.9. EJEMPLO DE CIRCULARIDAD: DE LA PALA AL MOBILIARIO URBANO

Un caso paradigmático de circularidad es la transformación de palas eólicas en mobiliario urbano y doméstico. Ventos Metódicos ha desarrollado una línea de productos bajo la marca Sostylair que incluye bancos, estanterías, lámparas y elementos arquitectónicos fabricados íntegramente con materiales reciclados de palas eólicas.

Estos productos, además de su valor funcional y estético, actúan como embajadores de la economía circular, mostrando de manera tangible el potencial de la reutilización y el reciclaje.

La comunicación de estos casos de éxito es fundamental para inspirar a otras empresas y administraciones a apostar por soluciones similares. La visibilidad de los productos en espacios públicos, acompañada de información sobre su origen y proceso de fabricación, contribuye a sensibilizar a la ciudadanía y a reforzar la imagen de las energías renovables como motor de innovación y sostenibilidad.

3. INNOVACIÓN Y ECONOMÍA CIRCULAR EN EL RECICLAJE DE PALAS EÓLICAS

La innovación es clave para la economía circular en la reutilización de palas eólicas. Según Juan José Coble, Director del Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética en la Universidad Nebrija, los componentes de las palas, como la fibra de vidrio y la fibra de carbono, son materias primas valiosas para sectores como la industria aeroespacial, automovilística, construcción, arquitectura industrial, mobiliario urbano y el sector deportivo.

Por ello, fortalecer los sistemas de reutilización, reciclado, valorización y gestión final de los residuos es fundamental para reducir la dependencia de materias primas importadas y avanzar hacia una economía más sostenible.

El proyecto Gira Wind, por ejemplo, busca la revalorización de materiales reacondicionados, creando un mercado de repuestos que permita alargar la vida útil de los parques eólicos en explotación. La investigación en tecnologías de tratamiento mecánico, térmico y químico de los distintos componentes de las palas permite valorizar cada elemento - maderas, metales y fibras-, recuperando hasta un 35% de los materiales de segunda vida.

La legislación juega un papel crucial en el impulso del reciclaje. Actualmente, en España no se pueden incorporar fibras de vidrio recicladas a las mezclas asfálticas por normativa, lo que limita su aprovechamiento. Sin embargo, una actualización de la legislación permitiría trasladar inmediatamente estos materiales a la industria, disminuyendo el envío de residuos a vertedero y fomentando la economía circular.

4. CASOS DE ÉXITO Y OPORTUNIDADES DE FUTURO

El reciclaje de las palas de los aerogeneradores no solo resuelve desafíos ambientales, sino que también crea nuevas oportunidades económicas y sociales. Se espera que el mercado mundial de palas de turbinas eólicas alcance los 43.400 millones de dólares para 2025, y el desarrollo de métodos de reciclaje eficientes será crucial para respaldar este crecimiento.

Ventos Metódicos ha demostrado que el compromiso con la economía circular y el residuo cero es posible. Su proceso de corte y reciclaje in situ, utilizando hilo diamantado de alta resistencia y carpas portátiles para evitar la suspensión de partículas, permite transformar las palas en mobiliario, perfiles industriales o vigas agrícolas sin generar residuos contaminantes.

Incluso el polvo resultante del corte se utiliza para la fabricación de vigas para la industria agrícola, maximizando la reutilización de los materiales.

El proceso de reciclaje es meticuloso: los residuos se clasifican según su tamaño y se introducen en moldes específicos. Luego, se les aplica resina para compactar los materiales y, con la ayuda de presión, se incrementa su rigidez y resistencia. El producto resultante se somete a un perfilado final y está listo para su uso en nuevas aplicaciones industriales.

El compromiso de Ventos Metódicos con la economía circular y el residuo cero se traduce en un modelo de producción y consumo sostenible que evita la generación de residuos y maximiza la reutilización de los materiales. Gracias a su enfoque innovador, la empresa se posiciona como líder en la gestión de residuos eólicos, demostrando que el fin de vida de un aerogenerador puede ser solo el comienzo de una nueva historia de sostenibilidad.

5. CONCLUSIONES

A modo de conclusión, se extrae lo siguiente:

- Comunicación como motor de innovación: Ventos Metódicos demuestra que, en el ámbito del reciclado industrial, la comunicación no es un mero complemento del proceso técnico, sino un factor determinante para su adopción y escalabilidad. Al integrar transparencia, narrativa experiencial y formato didáctico, la empresa ha logrado convertir un reto tecnológico en una iniciativa de alto impacto social y mediático.

- Sinergia entre técnica y relato: La explicación clara de la complejidad -mediante metáforas, visualizaciones y testimonios de operarios- ha permitido que públicos no especializados comprendan el valor del reciclado de palas. Al tiempo, la visibilidad del proceso “in situ” (timelapses, muestras táctiles, AR) refuerza la credibilidad y el vínculo emocional con el proyecto.
- Segmentación estratégica de audiencias: Adaptar mensajes, formatos y canales a las necesidades de administraciones, empresas energéticas, académicos y público general ha optimizado la recepción y el efecto persuasivo de cada acción comunicativa. Esta aproximación personalizada facilita tanto la consecución de apoyos institucionales como la generación de demanda en el mercado y el respaldo social.
- Valor de las alianzas y el contenido experiencial: La colaboración con universidades y organismos de divulgación ha dotado a Sostylair de un sello académico y validación científica que respalda sus resultados. Por su parte, los contenidos multimedia -vídeos documentales, demostraciones itinerantes y webinars- han amplificado el alcance del mensaje, transformando cada interacción en una oportunidad pedagógica.

El caso de Ventos Metódicos ilustra cómo una estrategia comunicativa integral puede acelerar la transición hacia modelos de economía circular:

- Visibilidad: convertir la innovación en un espectáculo interactivo.
- Transparencia: mostrar el “cómo” tanto como el “qué” y el “porqué”.
- Participación: invitar a todos los stakeholders a formar parte del proceso.

La experiencia de Sostylair y Ventos Metódicos pone de relieve que, para trascender los límites de la ingeniería y alcanzar un verdadero cambio sistémico, es imprescindible construir relatos creíbles, accesibles y emocionalmente resonantes que acompañen cada paso del reciclado.

6. PERSPECTIVAS Y DESAFÍOS FUTUROS

El futuro del reciclaje de palas eólicas se presenta lleno de retos y oportunidades. La industria avanza hacia el desarrollo de palas 100% reciclables, como demuestra el proyecto ZEBRA, que ha fabricado en España la pala más grande jamás realizada con materiales completamente reciclables.

Siemens Gamesa, por su parte, ha lanzado la RecyclableBlade, la primera pala eólica comercialmente disponible que puede reciclarse y reutilizarse en otras industrias.

Estas innovaciones marcan el camino hacia una economía circular total en el sector eólico.

Sin embargo, persisten desafíos técnicos y normativos. La composición de las palas, basada en materiales compuestos termoestables, dificulta su reciclaje y exige el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos. La legislación debe adaptarse para permitir la incorporación de materiales reciclados en nuevas aplicaciones, y es necesario fomentar la colaboración entre empresas, centros de investigación y administraciones públicas para impulsar la innovación y la sostenibilidad.

La comunicación seguirá siendo un factor clave para el éxito de la economía circular en el sector eólico. La transparencia, la narrativa de segunda vida y la participación de todos los actores serán esenciales para consolidar la aceptación social y el respaldo institucional a las soluciones de reciclaje.

7. REFERENCIAS

- Alferieff, J. (2024). Economía circular para la reutilización de palas eólicas.
<https://alferieff.com/blog/economia-circular-reutilizacion-palas-eolicas/>
- Asociación Empresarial Eólica. (2023). Ventos Metódicos.
<https://aeolica.org/project/ventos-metodicos/>
- Delfos Energy. (2025). Reuse, recycling and disposal of wind turbine parts: An investigation into industry practices. <https://www.delfos.energy/es/blog-posts/reuse-recycling-and-disposal-of-wind-turbine-parts-an-investigation-into-industry-practices>
- Energia360. (2023). Primera pala eólica 100% reciclable.
<https://energia360.info/index.php/noticias/tecnologia/primera-pala-eolica-100-reciclable>

- Europa Press. (2024). Un proyecto europeo desarrollará tecnologías para dismantelar y reciclar palas eólicas al final de su vida. <https://www.europapress.es/epsocial/responsables/noticia-proyecto-europeo-desarrollara-tecnologias-desmantelar-reciclar-palas-eolicas-final-vida-20241022104755.html>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Iberdrola. (2023). Reciclaje de palas eólicas, un nuevo reto para la energía mundial. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/reciclaje-palas-eolicas>
- Inspenet. (2025). Reciclaje eólico: nuevo método para reciclar palas eólicas. <https://inspenet.com/video-tv/reciclaje-eolico-nuevo-metodo-palas-turbina/>
- La Razón. (2024). La solución “made in Spain” para reciclar 3.000 palas de aerogeneradores que llegan a fin de vida útil. https://www.larazon.es/economia/solucion-made-spain-reciclar-3000-palas-aerogeneradores-que-llegan-fin-vida-util_20240720669b2d06ef89480001fea404.html
- Plásticos y Caucho. (2025). Fabrican en España la pala eólica 100% reciclable más grande jamás fabricada. <https://www.plasticosycaucho.com/fabrican-en-espana-la-pala-eolica-100-reciclable-mas-grande-jamas-fabricada-la-energia-eolica-busca-la-circularidad>
- Plásticos y Caucho. (2025). Fabrican en España la pala eólica 100% reciclable más grande jamás fabricada. <https://www.plasticosycaucho.com/fabrican-en-espana-la-pala-eolica-100-reciclable-mas-grande-jamas-fabricada-la-energia-eolica-busca-la-circularidad>
- Review Energy. (2024). Del viento a casa: Así es como una empresa gallega está dando una segunda vida a las palas eólicas. <https://www.review-energy.com/eolico/del-viento-a-casa-asi-es-como-una-empresa-gallega-esta-dando-una-segunda-vida-a-las-palas-eolicas>
- Review Energy. (2024). Del viento a casa: Así es como una empresa gallega está dando una segunda vida a las palas eólicas. <https://www.review-energy.com/eolico/del-viento-a-casa-asi-es-como-una-empresa-gallega-esta-dando-una-segunda-vida-a-las-palas-eolicas>
- Sostylair. (s.f.). ¿Quiénes somos? Economía circular y diseño sostenible. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://www.sostylair.eu/>
- Total HSE. (2025). Avances en el reciclaje de palas. <https://totalhse.com/avances-en-el-reciclaje-de-palas/>
- Ventos Metódicos Reciclagem, LDA. (s.f.). Gestión de residuos eólicos. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://www.ventosmetodicos.com/>

TRANSFORMANDO RESIDUOS EN SOLUCIONES: ESTRATEGIAS CIRCULARES PARA UN CAMPUS SUSTENTABLE

SAMANTHA E. CRUZ SOTELO

*Universidad Autónoma de Baja California.
Facultad de Ingeniería*

MARGARITA GARCÍA MIRANDA

*Universidad Autónoma de Baja California.
Facultad de Ciencias Administrativas*

ROBERTO CARLOS ZAMUDIO CORNEJO

*Universidad Autónoma de Baja California.
Facultad de Ciencias Administrativas*

SARA OJEDA BENITEZ

*Universidad Autónoma de Baja California.
Instituto de Ingeniería*

1. INTRODUCCIÓN

Las instituciones de educación superior desempeñan un papel fundamental en la transición hacia un modelo de desarrollo sustentable, no solo por su capacidad de generar conocimiento y formar profesionales, sino también por su potencial para transformar sus propias prácticas operativas. En este contexto, la economía circular emerge como una estrategia clave para repensar la gestión de recursos, reducir impactos ambientales y fomentar una cultura de responsabilidad compartida.

Este capítulo explora el potencial de la economía circular como eje articulador de acciones educativas, administrativas y comunitarias en el ámbito universitario. Se presenta el caso de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), una institución que, por su ubicación geográfica y compromiso institucional, se encuentra en una posición estratégica para implementar iniciativas para la gestión sustentable de los

residuos. Mediante el involucramiento activo de la comunidad universitaria, estas acciones buscan incidir en la formación integral de los futuros profesionistas.

A partir de un estudio de caracterización de residuos sólidos en uno de sus campus, se identifican las fracciones con mayor potencial de valorización y se proponen estrategias orientadas a reducir la huella de carbono institucional, optimizar la logística de manejo y fortalecer la vinculación con actores externos.

Los hallazgos evidencian que más del 60% de los residuos generados tienen potencial de valorización, destacando los residuos orgánicos y plásticos como corrientes prioritarias. Asimismo, se identifican prácticas institucionales que favorecen la separación en origen, la logística de acopio y la participación estudiantil mediante programas de servicio social. Estas acciones, articuladas con propuestas tecnológicas para el tratamiento de residuos y campañas de consumo responsable, configuran un ecosistema propicio para la implementación de estrategias circulares con impacto ambiental, social y educativo.

Además de los beneficios ambientales, este enfoque busca integrar la economía circular en los procesos formativos, la investigación aplicada y la participación estudiantil para la innovación y sustentabilidad universitaria. La experiencia presentada en este capítulo ofrece una base metodológica y conceptual para replicar y adaptar modelos circulares en otras instituciones educativas, contribuyendo así al diseño de soluciones locales con impacto global.

Este capítulo busca aportar evidencia y reflexión sobre cómo la trazabilidad de residuos puede ser el punto de partida para rediseñar sistemas de gestión, reducir emisiones y formar comunidades universitarias más conscientes y responsables.

1.1. EDUCACIÓN SUPERIOR Y ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA SUSTENTABILIDAD UNIVERSITARIA

Las instituciones de educación como agentes de cambio hacia la sustentabilidad en la formación integral de los profesionistas fomentan una conciencia crítica sobre los desafíos ambientales, sociales y

económicos que enfrenta la sociedad. A través de la investigación, la innovación y la vinculación con la comunidad, las universidades pueden liderar procesos de transformación que promuevan modelos de desarrollo más equitativos y respetuosos con el entorno.

La integración de la sustentabilidad en la educación superior implica repensar los planes de estudio, las prácticas institucionales y la cultura organizacional, orientándolas hacia la responsabilidad ambiental y el compromiso social.

Las universidades tienen la responsabilidad de asumir compromisos ambientales que reflejen su misión educativa y su impacto social. Estos compromisos pueden traducirse en políticas institucionales, metas de reducción de emisiones, certificaciones ambientales y alianzas estratégicas.

Más allá del cumplimiento normativo, estos compromisos representan oportunidades para fortalecer la reputación institucional, acceder a financiamiento para proyectos sustentables, generar innovación aplicada y formar líderes con conciencia ambiental. Desde esta perspectiva, la sustentabilidad no solo se configura como un eje ético, sino como una estrategia transversal que articula los pilares académicos, administrativos y sociales de la universidad. Al incorporar criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ASG) en sus procesos, la institución fortalece su calidad académica mediante programas pertinentes y actualizados, incrementa su eficiencia operativa al minimizar impactos y costos, y consolida su relevancia social al responder de manera efectiva a los desafíos del desarrollo sustentable. De este modo, la sustentabilidad se posiciona como un catalizador de transformación institucional con alcance tanto local como global.

En este sentido Salas, et al (2021) señalan que las instituciones de educación superior (IES) en América Latina desempeñan un papel estratégico no solo en la generación de conocimiento, sino también en la articulación de actores clave como el gobierno, la industria y la sociedad civil. Su capital intelectual —compuesto por el conocimiento y la experiencia de sus académicos— constituye un activo intangible esencial para impulsar la transición hacia una economía circular (EC). El capital intelectual en las universidades representa un activo clave para impulsar la sustentabilidad

y fortalecer su impacto social (Pedro, Leitão, & Alves, 2020). En consecuencia, las IES son reconocidas como actores centrales en los esfuerzos de desarrollo sustentable y se espera que asuman un rol protagónico en la agenda global de sustentabilidad en las próximas décadas.

No obstante, su participación en países en desarrollo enfrenta desafíos particulares, ya que deben adaptar soluciones importadas de contextos del norte global a las realidades culturales y regionales propias. Esta capacidad de adaptación también les permite aprovechar prácticas circulares locales que, aunque nacidas de la necesidad, pueden ser valiosas para construir modelos sustentables desde el sur global. Por ello, al definir el papel de las IES en la EC, es necesario evitar enfoques estandarizados y considerar el grado de inserción que estas instituciones ya tienen en las problemáticas sociales de sus territorios.

En este marco de responsabilidad institucional, la EC se presenta como una vía estratégica para materializar los compromisos ambientales de las universidades. Su enfoque sistémico permite rediseñar procesos académicos y administrativos bajo principios de eficiencia, regeneración y aprovechamiento de recursos, alineándose con los objetivos del desarrollo sustentable y formación integral. La adopción de modelos circulares en el entorno universitario no solo transforma la gestión de residuos, sino que también impulsa prácticas pedagógicas orientadas al pensamiento crítico, la innovación tecnológica y la resolución de problemas complejos desde una perspectiva ambiental.

Uno de los principios fundamentales de la EC es la ralentización de los flujos materiales, entendida como el conjunto de estrategias que prolongan la vida útil de los productos y recursos dentro del sistema. Esto se logra mediante acciones como el mantenimiento, la reparación, la reutilización y el rediseño, que evitan que los materiales se conviertan rápidamente en residuos. En el contexto universitario, la ralentización se traduce en prácticas como la reutilización de mobiliario, la optimización de equipos tecnológicos, el uso compartido de recursos y la implementación de programas de reparación comunitaria, contribuyendo así a la reducción de emisiones y al fortalecimiento de una cultura institucional orientada a la sustentabilidad. Este enfoque responde a lo que Geissdoerfer et al. (2017) denominan un nuevo paradigma de

sustentabilidad, en el que los sistemas económicos se diseñan de forma regenerativa, priorizando la conservación de valor y utilidad de los recursos a lo largo del tiempo.

Integrar la economía circular en la educación superior implica fomentar competencias transversales en los estudiantes, tales como el análisis de ciclo de vida, ecodiseño, la gestión colaborativa y la evaluación de impactos socioambientales. Estas habilidades fortalecen el perfil profesional y promueven una visión ética y transformadora del ejercicio disciplinar. Asimismo, la implementación de estrategias circulares en campus universitarios —como el compostaje, la separación en origen, la eficiencia energética y la economía colaborativa— convierte a las instituciones en laboratorios de transición ecológica, capaces de generar conocimiento aplicado y replicable en otros sectores de la sociedad.

Desde esta perspectiva, la economía circular no solo complementa los esfuerzos de sustentabilidad institucional, sino que los amplifica, al ofrecer herramientas concretas para cerrar ciclos, reducir emisiones y generar valor social y ambiental. Su integración en la educación superior representa una oportunidad para consolidar universidades resilientes, innovadoras y comprometidas con el bienestar colectivo y la regeneración del entorno.

1.2. DINÁMICA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS

Las instituciones de educación superior, en sus campus universitarios generan una cantidad significativa de residuos debido a sus diversas actividades académicas, administrativas y recreativas. La gestión eficiente de estos residuos es clave para reducir el impacto ambiental y fomentar la sustentabilidad. En el contexto universitario, la gestión de residuos sólidos institucionales no solo representa un desafío operativo, sino también una oportunidad para avanzar hacia un modelo sustentable y alineado con los principios de la EC (Mbama, cols. 2023). Además es importante establecer que los actores sociales universitarios que estudian o trabajan en los campus universitarios están expuestos a diversos impactos ambientales entre ellos el manejo inadecuado de residuos sólidos que se generan, que pueden afectar el desempeño de las actividades universitarias, en este sentido Pérez, (2017) señala que durante los procesos y actividades

educativas, de investigación, difusión, administrativas, deportivas, culturales y de mantenimiento, por lo que analiza los impactos ambientales en el campus de la Universidad Autónoma del Estado de México, destacando la importancia de un sistema de gestión ambiental sustentable para mitigar los efectos negativos de la generación de residuos.

El volumen y la composición de los residuos generados en las Instituciones de Educación Superior (IES) varían según diversos factores, incluyendo el tamaño de la población y las actividades académicas y administrativas. Se estima que una universidad grande puede generar entre 15 y 25 toneladas de residuos sólidos al día. En México, Ruiz (2012) reportó que la generación diaria de residuos asciende a aproximadamente 3.3 toneladas, con un promedio de 0.33 kg per cápita y 0.017 kg/m². En Ciudad Universitaria de la UNAM, se generan más de 15 toneladas diarias de residuos. En otro estudio realizado por Ojuri et al. (2023) en una universidad, se reportó una generación de 952.30 kg/día, lo que evidencia la variabilidad en la producción de residuos dentro de las IES.

En el mismo orden de ideas Guerra y Rincón (2018) identificaron que el principal impacto ambiental en el campus universitario correspondía a la generación de residuos, representando el 43 % del consumo más demandado, es decir, dentro de todos los aspectos evaluados en el estudio —como energía, agua, alimentos, transporte, residuos, etc.— la generación de residuos fue el componente que más contribuyó al impacto ambiental, específicamente con el 43 % del total de recursos consumidos o requeridos por la universidad en ese periodo, lo que evidenció la urgencia institucional de implementar soluciones para reducir la huella de carbono, mediante prácticas circulares y sustentables, las evidencias mostraron que la gestión de residuos era el área más crítica y urgente para mejorar, ya que era la que más afectaba la sustentabilidad del campus. Por lo que es fundamental que las IES establezcan estrategias de valorización para optimizar la gestión de residuos y reducir su impacto ambiental. Este panorama refuerza la necesidad de adoptar estrategias de valorización que permitan optimizar la gestión de residuos y reducir su impacto ambiental.

Los estudios analizados demuestran que la gestión eficiente de residuos en instituciones de educación superior (IES) es determinante para

reducir el impacto ambiental y fomentar la sustentabilidad. En este contexto, la implementación de estrategias circulares requiere como punto de partida la cuantificación de los residuos generados, lo cual permite conocer su composición, volumen y origen. Este diagnóstico inicial es esencial para diseñar políticas eficaces de reducción, valorización y aprovechamiento, adaptadas a las dinámicas específicas de cada campus universitario y alineadas con los principios de la economía circular.

2. ESTUDIO DE CASO

Se llevó a cabo un estudio de caracterización de residuos institucionales en la Facultad de Ciencias Administrativas (FCA) de la UABC campus Mexicali, uno de las unidades académicas con mayor población, aproximadamente 4,800 entre estudiantes, personal docente, administrativo y de intendencia. La unidad académica está conformada por cuatro edificios de cuatro niveles (A, B, C, D) y el Sistema de Información Académica-SIA de tres niveles, cinco laboratorios de cómputo y áreas comunes. La tabla 1, muestra la descripción de áreas por edificio.

TABLA 1. *Áreas por edificio, FCA-UABC Mexicali*

Edificios	Áreas			
	Aulas	Cubículos	Sanitarios	
A	16	9	4	
B	15	—	4	Cafetería
C	15	18	4	Enfermería y papelería
D	14	17	9	
SIA	1er nivel: Aulas y depto. Psicopedagógico 2do nivel: Biblioteca y cubículos 3er nivel: Sala de eventos masivos (cap. 300 personas)			

En las áreas comunes se encuentran instalados contenedores para residuos mixtos. Además de un par de contenedores para la separación de residuos valorizables.

Como parte de las actividades e iniciativas para la concientización e integración de estudiantes en actividades relacionadas con el cuidado del

medio ambiente, la Unidad Académica cuenta con un programa de servicio social que apoya en la separación de residuos valorizables, tales como el papel, cartón, aluminio y botellas de plástico. Para esta actividad se tiene asignado una unidad de acopio de materiales reciclables.

En cuanto la logística en el manejo de los residuos dentro de la Unidad Académica (UA), se estableció cuatro horarios para su traslado al sitio de acopio temporal-tolva (9:30, 13:00, 18:30 y 22:00 horas), solo los residuos de cafetería se trasladan de acuerdo al volumen que se iba generando. Para esta actividad se utilizan diferentes medios para el transporte y contenedores, tales como diablitos, carretillas, cajas o bolsas (de plástico o cartón).

Los residuos son acopiados de forma temporal en una tolva de 10 yardas, ubicada en la zona de estacionamiento de la UA. Cada tercer día la Empresa prestadora de servicios traslada los residuos al sitio de disposición final.

2.1. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS INSTITUCIONALES EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO

El diseño metodológico aplicado el estudio incluye la identificación de las fuentes de generación de residuos, la aplicación del método de cuarteo para obtener muestras representativas, y la cuantificación de subproductos para evaluar su potencial de valorización de acuerdo a normas oficiales mexicanas (NMX-AA-015-1985, NMX-AA-019-1985 y NMX-AA-022-1985). Además, se determinó el peso volumétrico de los residuos para mejorar la logística de recolección, almacenamiento y tratamiento, minimizando las emisiones derivadas del transporte. Se analizó la composición de residuos para priorizar las fracciones con mayor potencial de reincorporación a ciclos productivos.

1) Identificación de áreas de generación de residuos y cuantificación de flujos. Se asignó un código de color para identificar las áreas y puntos de generación de residuos en el campus de acuerdo a la tabla 2. Las etiquetas fueron colocadas por los encargados de intendencia en cada bolsa, caja y/o bulto de residuos que posteriormente trasladaron al sitio de acopio para su pesaje, registro e incorporación para el muestreo.

TABLA 2. Código de color por área de generación.

Área	Color
Cafetería	
Aulas	
Oficinas	
Biblioteca	
Áreas comunes	

2) Recolección y registro para cuantificación semanal. En la FCA se contabilizaron aproximadamente 302 bultos de residuos semanales, de los cuales se realizó la medición de masa. La mayor parte de los residuos son depositados en bolsas negras, en promedio se dispone de 60 bolsas por día. En la Tabla 3, se muestra el mínimo, máximo y promedio de bolsas con residuos enviadas al acopio temporal.

TABLA 3. Cantidad y masa promedio por bolsa.

	Máximo	Mínimo	Promedio
Cantidad de bolsas por día	69	55	60
Masa por bolsa (kg)	22.70	0.40	4.35

En la figura 1 se muestran las diversas formas de llevar los residuos al sitio de acopio. Se observa que la forma común de acarreo es en cajas, en bolsas de polietileno y residuos voluminosos sueltos.

FIGURA 1. Contenedores de Residuos para disposición



3) Generación de Residuos Institucionales (RI) y muestra representativa. Para la obtención de muestra representativa y para cada muestreo, se tomó el total de residuos sólidos (sin incluir residuos de poda y jardín) generados el día anterior al estudio. Se realizaron tres muestreos aplicando el método del cuarteo de acuerdo a la Norma NMX-AA-015-1985 a través de los siguientes pasos (figura 2):

- a. Delimitación del área de cuarteo. Se marcó sobre el suelo (previamente protegido con una lona) un área de 16m^2 ($4\text{m} \times 4\text{m}$) con cuatro cuadrantes de $2\text{m} \times 2\text{m}$, y en ella se extendió el volumen total de residuos generados por día (promedio 260 kg) (ver fig. 2b).
- b. Se traspalea el montón de residuos con palas con la finalidad de homogeneizar la mezcla y se dividió el área de residuos en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D (fig. 2b). Dos cuadrantes opuestos fueron llevados a la tolva para disposición final.
- c. El procedimiento se repitió hasta obtener una muestra de por lo menos 50 kg, para la selección de subproductos de acuerdo a la norma. La muestra representativa se trasladó al área de segregación para la caracterización (fig. 2c). Se inició separando los residuos voluminosos como cajas de cartón y madera, hojalatas, etc. Hasta llegar a los residuos finos. Los residuos eliminados se emplearon para la determinación del peso volumétrico.

4) Cálculo de peso volumétrico in-situ. El peso volumétrico no se considera un indicador de desempeño en los sistemas de manejo de residuos, sin embargo, es relevante como factor de diseño de la infraestructura y equipamiento (fig.3).

Por lo anterior, se obtuvo de acuerdo con el método de la norma NMX-AA-19-1985. Se tomaron residuos de los cuadrantes eliminados y se llenó un recipiente (200 l) hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo. Posteriormente, el recipiente fue levantado a una altura de 10 cm y se dejó caer tres veces. Se pesó el recipiente y se calculó el volumen de los residuos. El peso volumétrico se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Peso Volumétrico} = \frac{\text{Masa de residuos (-tara), en kg}}{\text{Volumen que ocupan los residuos en el recipiente, en m}^3}$$

FIGURA 2. Muestra representativa



El procedimiento se realizó dos veces en cada muestreo, con distintas muestras para obtener un valor promedio.

Se calculó un peso volumétrico promedio de 48.558 kg/m³, con una desviación estándar de 16.834. En la Figura 12, se observa la secuencia de pasos para la obtención de este parámetro.

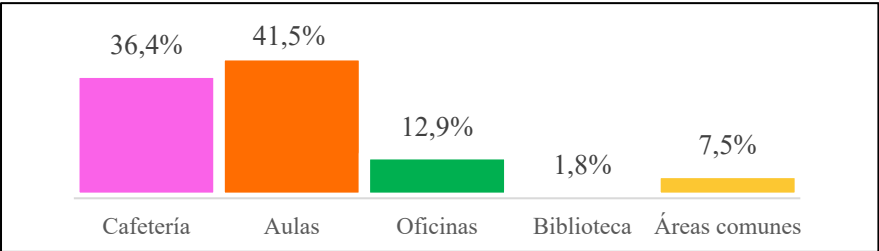
FIGURA 3. *Obtención del peso volumétrico In Situ*



5) Clasificación de subproductos. Se realizó mediante una adaptación de la clasificación que presenta la NOM-AA-022-1985. Se dispuso de un área para identificación de subproductos, primero se segregaron residuos voluminosos, posteriormente los de menor tamaño separándolos en charolas. Se caracterizaron tres muestras identificando fracciones y su representatividad con respecto a la muestra total.

A partir de los resultados de este estudio se identificaron los residuos clave por su alta generación, áreas con mayor generación y áreas de oportunidad para el manejo y aprovechamiento de estos. La UA genera en promedio 1.3 toneladas de residuos por semana, equivalente a 260 kg de residuos por día. En el gráfico 1, se muestran los porcentajes de generación por área.

GRÁFICO 1. *Porcentaje de generación de residuos por área.*



Con base a la generación promedio (1313 kg por semana) y la población total de la FCA (4208), la generación per cápita semanal estimada es de 0.273 kg.

En la Tabla 4, se presenta la generación diaria durante una semana en las diferentes áreas de la FCA, este registro se realizó solo para calcular la generación promedio semanal.

TABLA 4. Masa de residuos por área de generación en kg.

	Cafetería	Aulas	Oficinas	Biblioteca	Áreas comunes	TOTAL (kg)
Lunes	76.00	126.61	32.00	2.64	25.90	263.15
Martes	92.10	126.76	18.96	0.00	37.72	275.54
Miércoles	95.78	113.68	48.42	0.00	5.14	263.02
Jueves	86.61	117.70	28.92	0.00	6.84	240.07
Viernes	86.14	101.34	58.86	20.94	4.04	271.32
TOTAL (kg)/área	436.63	586.09	187.16	23.58	79.64	1313.1

Se caracterizaron tres muestras de 56.10 kg, 50.69 kg y 56.95 kg en cada muestreo. En la muestra se identificaron residuos de construcción y peligrosos (rodillos y brocha con resto de pintura, cubre bocas, guantes, medicamentos, preservativo, etc.). Siendo los de mayor presencia los residuos sanitarios, los orgánicos (restos de alimentos) y plásticos.

Los plásticos que se observaron son: PET (botellas y vasos), PEBD (bolsas y envolturas), Poliestireno expandido (contenedores de alimento y vasos) y otros plásticos (cubiertos, tapas, popotes).

La Tabla 5 presenta un listado de los subproductos y su porcentaje con respecto al peso total de la muestra identificado en color los de mayor presencia.

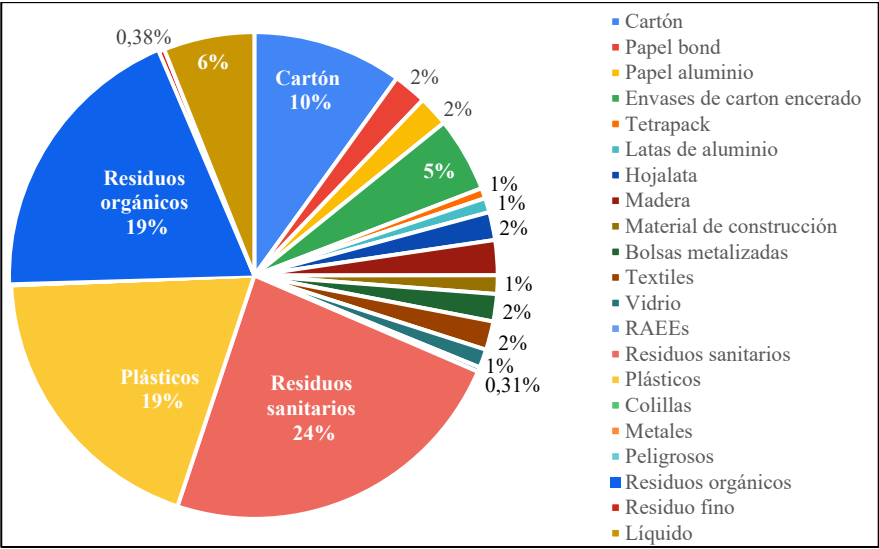
TABLA 5. *Porcentaje de subproductos por muestra.*

Categoría	%Muestra 1	%Muestra 2	%Muestra 3
Cartón	7	8.2	4
Papel bond	2	1.3	1.45
Papel aluminio	2	0.8	1.35
Envases de cartón encerado	6	2.85	2.15
Tetrapak	1	0.3	0.3
Latas de aluminio	1	0.5	0.5
Hojalata	2	1.1	0.9
Madera	7	—	—
Material de construcción	2	0.15	0.85
Bolsas metalizadas	2	1	0.85
Textiles	3	1.1	0.2
Vidrio	1	0.8	0.8
RAEEs	1	—	0.05
Residuos sanitarios	23	11.7	14.1
Plásticos	20.2	10.15	9.85
Colillas	—	0.036	—
Metales	—	—	—
Peligrosos	0.009	0.15	0.1
Residuos orgánicos	15	7.8	14.75
Residuo fino	1		
Líquido	4	2.75	4.75
TOTAL	(100%) 56.10 kg	(100%) 50.69 kg	(100%) 56.95 kg

El gráfico 2, muestra el promedio de los porcentajes de generación por subproducto durante los tres muestreos.

Del 19% de generación de plásticos, el 7% corresponde a Tereftalato de Polietileno-PET, 5% a Polietileno de baja densidad-PEBD, el 2% a Poliestireno expandido-PS.

GRÁFICO 2. *Porcentajes de generación por subproducto*



3. ESTRATEGIAS CIRCULARES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS UNIVERSITARIOS

La economía circular representa una alternativa estructural al modelo lineal de producción y consumo, al centrarse en la reducción de residuos, la reutilización de recursos y el diseño regenerativo. Según Stahel (2020), este enfoque promueve una “economía de rendimiento”, en la que se maximiza la utilidad de los productos a lo largo del tiempo mediante su mantenimiento, reparación y reutilización.

En este sentido, la economía circular se articula en torno a tres principios fundamentales que consolidan su paradigma: preservar el valor de los materiales, regenerar los sistemas naturales y desacoplar el crecimiento económico del uso de recursos finitos (Ellen MacArthur Foundation. 2015). Este modelo busca optimizar la eficiencia en el uso de recursos y minimizar el impacto ambiental, promoviendo una transición hacia sistemas más resilientes y sustentables.

En el ámbito universitario, estos principios adquieren una dimensión práctica y pedagógica, al configurar los campus como laboratorios vivos

para la transición ambiental. En estos espacios, se diseñan, implementan y evalúan estrategias que integran la gestión ambiental con la formación académica, la investigación aplicada y la participación comunitaria. Así, la economía circular no solo orienta la operación institucional, sino que también fortalece el compromiso ético y formativo de las universidades frente a los desafíos socioambientales contemporáneos.

La gestión de residuos en entornos universitarios ha evolucionado hacia modelos integrales que consideran no solo la recolección, sino también la valorización, la trazabilidad y la logística eficiente. La eficacia de estos modelos depende de la segregación en origen, el involucramiento de la comunidad universitaria y el diseño de indicadores ambientales que permitan monitorear el desempeño y orientar la toma de decisiones. En este contexto, la gestión de residuos adquiere una dimensión simbólica y educativa, posicionando a las universidades como referentes en innovación ambiental y responsabilidad institucional.

La economía circular constituye, por tanto, un enfoque transformador para replantear la gestión de residuos en los campus universitarios, no solo como un reto operativo, sino como una oportunidad estratégica para reducir de manera significativa la huella de carbono institucional. En este marco, la sustentabilidad se articula con la acción climática, entendida como el conjunto de medidas orientadas a mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse a sus impactos.

Ambas dimensiones convergen en la implementación de estrategias que promueven la eficiencia en el uso de recursos, la reducción de emisiones y la valorización de residuos. A partir de este enfoque, se presentan cinco ejes estratégicos de acción que permiten estructurar la transición hacia una gestión sustentable alineada con los compromisos climáticos, fortaleciendo el papel de las universidades como agentes activos en la construcción de futuros sustentables.

3.1. PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN EN LA FUENTE

Este eje se orienta a evitar la generación de residuos desde su origen, antes de que se conviertan en un problema de gestión. Es la estrategia más eficaz dentro del enfoque de economía circular, ya que reduce la necesidad de

tratamiento, transporte y disposición final, disminuyendo así las emisiones asociadas a todo el ciclo de vida de los materiales. Tal como se señala en el capítulo, la incorporación de criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ASG) en los procesos institucionales es clave para fortalecer la gestión ambiental universitaria. Las acciones prioritarias incluyen:

- a) Consumo responsable: Fomentar prácticas de compra consciente entre la comunidad universitaria, priorizando productos duraderos, reutilizables y de bajo impacto ambiental.
- b) Compras sustentables: Integrar criterios ASG en los procesos de adquisición institucional, seleccionando proveedores comprometidos con la sustentabilidad.
- c) Digitalización de procesos: Sustituir el uso de papel y materiales físicos por soluciones digitales en trámites, comunicación y enseñanza.
- d) Diseño de actividades con bajo impacto: Planificar eventos, clases y operaciones que minimicen el uso de insumos desechables o contaminantes.

Estas acciones contribuyen directamente a los objetivos de mitigación del cambio climático, al reducir la demanda de recursos y evitar la generación de residuos desde el inicio.

3.2. REUTILIZACIÓN Y REPARACIÓN

Promueve el aprovechamiento prolongado de los recursos mediante el uso repetido de materiales, equipos y productos, así como la restauración de aquellos que han sufrido desgaste. En el contexto universitario, estas prácticas permiten extender la vida útil de bienes institucionales, reducir la demanda de nuevos insumos y evitar que objetos funcionales se conviertan prematuramente en residuos. Las estrategias incluyen:

- a) Reutilización de materiales: Fomentar el uso de mobiliario, papelería, equipos electrónicos y materiales didácticos en múltiples ciclos, como lo hacen los programas de acopio y redistribución interna.
- b) Reparación de equipos y mobiliario: Establecer talleres o convenios para reparar bienes antes de desecharlos.

- c) Banco de materiales reutilizables: Crear espacios físicos o digitales para intercambiar o donar materiales en buen estado entre áreas académicas y administrativas, fortaleciendo la eficiencia institucional y la cultura de bajo impacto.

Estas acciones no solo disminuyen las emisiones asociadas a la producción de nuevos bienes, sino que también consolidan una cultura organizacional comprometida con la sustentabilidad, la innovación aplicada y la corresponsabilidad ambiental.

3.3. RECICLAJE Y VALORIZACIÓN DE MATERIALES

Este eje se enfoca en el aprovechamiento de residuos mediante su transformación en nuevos recursos, evitando su disposición final y reduciendo la presión sobre los ecosistemas. En coherencia con los contenidos expuestos previamente, se requiere una infraestructura adecuada y alianzas estratégicas para garantizar la trazabilidad de los residuos. Las acciones clave son:

- a) Separación en origen: Consiste en implementar estaciones de separación de residuos en puntos estratégicos del campus, con señalética clara, accesible y adaptada al contexto cultural y operativo de la comunidad universitaria. Esta acción debe estar articulada con las capacidades del mercado local, instalando contenedores diferenciados que permitan acopiar subproductos valorizables que tengan demanda en centros de acopio y/o de reciclaje certificados o cooperativas regionales. De este modo, se garantiza la trazabilidad de los materiales y se fortalece la economía circular territorial, generando beneficios ambientales, sociales y económicos tanto para la universidad como para los actores locales involucrados.
- b) Alianzas con recicladores certificados: Garantizar la valorización efectiva de residuos como papel, cartón, plásticos y metales.

Estas medidas permiten cerrar ciclos materiales y avanzar hacia una gestión más eficiente y alineada con la normativa ambiental vigente.

3.4. RECUPERACIÓN ENERGÉTICA Y COMPOSTAJE

Esta categoría promueve el aprovechamiento de residuos orgánicos como fuente de energía o insumo para la regeneración de suelos. Tal como se discute en el capítulo, la vinculación entre gestión de residuos y eficiencia energética es fundamental para reducir la huella ambiental institucional. Las estrategias incluyen:

- a) Compostaje institucional: Transformar residuos orgánicos en abono para áreas verdes universitarias.
- b) Biodigestores o sistemas de biogás: Evaluar tecnologías para convertir residuos en energía térmica o eléctrica.
- c) Integración con proyectos de eficiencia energética: Vincular estas acciones con metas de reducción de emisiones y consumo energético.

Estas prácticas contribuyen a la autosuficiencia energética y al cumplimiento de compromisos climáticos globales.

3.5. MONITOREO, EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN

La sustentabilidad universitaria requiere mecanismos de seguimiento, formación continua y participación activa. En concordancia con el enfoque del capítulo, la educación ambiental y la participación estudiantil son pilares para consolidar una cultura institucional comprometida con la sustentabilidad. Las acciones clave son:

- a) Sistemas de trazabilidad y métricas de carbono: Medir el impacto de las estrategias implementadas y reportar avances de forma transparente.
- b) Formación transversal en economía circular: Incluir contenidos en planes de estudio, talleres y actividades extracurriculares.
- c) Participación estudiantil: Impulsar brigadas, retos y proyectos liderados por jóvenes que desarrollan soluciones contextualizadas a las realidades locales.

Estas estrategias no sólo reducen emisiones directas e indirectas, sino que fortalecen el compromiso institucional con la sustentabilidad y la acción climática.

La aplicación de estrategias de economía circular en la gestión de residuos universitarios no solo contribuye a la reducción de la huella de carbono, sino que transforma la cultura institucional hacia modelos más resilientes, inclusivos y regenerativos. Las universidades tienen el potencial de convertirse en laboratorios vivos de innovación ambiental, para la transición ambiental, donde la teoría se convierte en práctica y el conocimiento se traduce en acción. Este enfoque requiere liderazgo, visión estratégica y una profunda conexión con las realidades locales y globales.

Este enfoque transforma los campus en nodos activos de transición ambiental, donde se articulan procesos de economía circular, se fortalecen capacidades locales y se vincula la gestión ambiental con la experiencia cotidiana, promoviendo la corresponsabilidad en el uso de recursos, la generación de residuos y la participación en iniciativas ambientales.

Este planteamiento ha sido desarrollado por autores como Evans et al. (2015), quienes destacan que las universidades pueden funcionar como entornos experimentales donde se diseñan, implementan y evalúan soluciones sustentables en tiempo real, integrando la gestión ambiental con la formación académica, la investigación aplicada y la participación comunitaria. Así, la EC no solo orienta la operación institucional, sino que también fortalece el compromiso ético y formativo de las universidades frente a los desafíos socioambientales contemporáneos, tal como lo plantea Lozano et al. (2013), al señalar que las instituciones de educación superior tienen un papel clave en la transformación hacia sociedades más sustentables.

En la tabla 6 se presenta un conjunto de estrategias circulares aplicables a la gestión de residuos universitarios, organizadas en función de la estrategia, acción específica orientada a reducir residuos, optimizar recursos o mitigar emisiones, el actor responsable; área o unidad dentro de la universidad encargada de implementar la estrategia; el indicador de desempeño, métrica que permite evaluar el desempeño o impacto de la estrategia y su nivel de replicabilidad, el cual corresponde al nivel de

facilidad con que la estrategia puede ser adoptada por otras instituciones, puede ser asignada en tres niveles, alta, media y baja. Es importante aclarar que solo se incluyen algunas de las estrategias que se pueden incluir en una IES.

TABLA 6. *Porcentaje de subproductos por muestra.*

ESTRATEGIA	ACTOR RESPON-SABLE	INDICADOR	REPLICABILIDAD
Compras sustentables	Comité de Adquisiciones	% de insumos con certificación ambiental o bajo carbono	Alta aplicable en cualquier institución con política de compras
Digitalización de procesos	Informática	Reducción anual de papel consumido (kg)	Alta Escalable en facultades y áreas administrativas
Separación en origen con indicadores	Personal de intendencia y comunidad universitaria	% de residuos correctamente clasificados	Alta Replicable con contenedores para separación
Alianzas con recicladores certificados	Vinculación	Nº de toneladas valorizadas con trazabilidad	Alta Requiere convenios formales con los actores involucrados
Compostaje in situ	Responsable de centro de compostaje, jardineros	Kg de residuos de poda y jardín compostados / CO ₂ evitado	Media Replicable en campus con áreas verdes y área de valorización
Indicadores de carbono evitado	Gestión Ambiental	Toneladas de CO ₂ equivalente evitadas por estrategia	Alta Compatible con reportes institucionales

Estas estrategias no solo permiten reducir la huella de carbono institucional, sino que también fortalecen el compromiso ético y operativo de las universidades con la sustentabilidad. Al integrar criterios ambientales en procesos como compras, digitalización, compostaje y alianzas externas, se configura una ruta de acción que vincula la gestión cotidiana con los objetivos climáticos globales.

La matriz de estrategias circulares para la gestión de residuos universitarios aporta una herramienta de alto valor estratégico para las instituciones de educación superior. En primer lugar, ofrece una visión estructurada que permite alinear acciones concretas con metas climáticas, facilitando la integración de la sustentabilidad en la planificación

institucional. Además, incorpora indicadores de desempeño que favorecen la evaluación continua y el ajuste de las estrategias, promoviendo una cultura de mejora permanente. Su diseño contempla también el criterio de replicabilidad, lo que permite identificar qué acciones pueden ser adoptadas por otras universidades, fortaleciendo redes de colaboración y escalabilidad regional. Finalmente, al involucrar múltiples áreas operativas y académicas, la matriz impulsa una participación institucional activa, fomentando una cultura organizacional orientada a la sustentabilidad y al compromiso climático compartido.

4. CONCLUSIONES

Como resultado se evidenció que la caracterización detallada de residuos es fundamental para transformar un problema ambiental en una oportunidad de innovación, eficiencia y mitigación del cambio climático. Las fracciones identificadas muestran un alto potencial de valorización, contribuyendo a disminuir la huella de carbono y optimizando la gestión de residuos en el campus universitario.

Los residuos sanitarios (papel higiénico y servilletas) conforman la corriente de residuos de mayor generación. Representan el 24%. Se observó un desperdicio significativo de este producto. Por lo anterior, es necesario promover campañas de sensibilización sobre el uso racional enfocadas en hábitos de consumo responsable.

La evaluación de productos biodegradables es una alternativa para evitar que grandes volúmenes de papel higiénico acaben en los sitios de disposición final, esto es, adquirir productos que faciliten su disposición a través del drenaje y evitar un manejo adicional de los residuos. Estas acciones no solo reducen el volumen de residuos, sino que también disminuyen los costos asociados a su manejo y disposición.

Los residuos orgánicos (restos de alimentos) conforman la segunda corriente de residuos de mayor generación y de gran potencial de valorización. Opciones como parte de estrategias de sustentabilidad pueden ser: implementar un sistema de compostaje mediante la instalación de composteras in situ para transformar restos de alimentos en abono para

jardines universitarios o separar los residuos y establecer alianzas con organizaciones o empresas locales para su tratamiento.

Se observó que gran parte de los restos de alimento se encontraban en buen estado, algunos otros empaquetados, sin embargo, estos últimos fueron adquiridos en comercios externos a la institución.

Considerando lo anterior, otra área de oportunidad sería estableciendo convenios con los comercios externos y en cuanto al desperdicio de productos en buen estado, una opción es promover Programas de redistribución alimentaria para su aprovechamiento. De esta forma se fomentan las buenas prácticas ambientales, se contribuye en reducir los recursos que acaban en sitios de disposición final y fortalecen la cultura ambiental en la comunidad universitaria.

La generación de plásticos representa el 19% del total de los residuos. Dado que la institución ya cuenta con infraestructura y programas de recuperación de PET, se recomienda ampliar el alcance de estas iniciativas fomentando la participación activa de la comunidad universitaria y la educación ambiental a través de acciones tales como: la integración curricular de temas de reciclaje y economía circular en asignaturas afines, el reconocimiento y estímulo a estudiantes y docentes que participen en campañas de acopio y estableciendo alianzas con empresas recicladoras locales.

Estas acciones permiten cerrar el ciclo de los materiales, reducir la contaminación por plásticos y posicionar a la universidad como referente en responsabilidad ambiental.

La gestión de residuos en el entorno universitario no solo es una necesidad operativa, sino una oportunidad estratégica para educar, innovar y transformar. Al abordar los residuos sanitarios, orgánicos y plásticos desde una perspectiva científica y sistémica, se pueden implementar soluciones que fortalezcan la sustentabilidad institucional y generen impactos positivos en la comunidad y el entorno.

Los datos obtenidos revelan patrones de consumo y descarte, proporcionando información clave para la implementación de mejoras en la infraestructura de manejo de residuos, optimización de la logística de

acopio y desarrollo de alternativas de valorización, como el reciclaje de PET y la reducción de residuos sanitarios.

A través de este análisis, se pretende no solo contribuir al conocimiento académico sobre la gestión de residuos, sino también proponer soluciones concretas que fomenten prácticas más eficientes y sustentables dentro de la UABC, fortaleciendo su papel como institución comprometida con la responsabilidad ambiental y la lucha contra el cambio climático. Este apartado puede resaltar la importancia del trabajo o sugerir aplicaciones y trabajos complementarios.

La implementación de estrategias de valorización de residuos en la UABC representa una oportunidad clave para reducir el impacto ambiental, mejorar la eficiencia en la gestión de residuos y fomentar la sustentabilidad en la comunidad universitaria. La reactivación del Programa Cero Residuos, que ha enfrentado desafíos tras la pandemia, debe priorizarse mediante un enfoque integral que optimice la separación, el reciclaje y el tratamiento de residuos.

Debemos destacar que uno de los pilares fundamentales de la valorización es la correcta separación en origen, así como la sensibilización de la comunidad universitaria lo cual juega un papel esencial en el éxito del programa, por lo que es importante fortalecer campañas educativas y fomentar una cultura de economía circular basada en la reutilización de materiales. Además, al optimizar el aprovechamiento de residuos de poda, jardín y cafeterías, se puede disminuir la dependencia de rellenos sanitarios y reducir los costos de disposición final.

El éxito de la valorización de residuos en la UABC dependerá de la continuidad y mejora de estas estrategias, así como del compromiso institucional para garantizar su correcta implementación y adaptación a las necesidades actuales.

La caracterización de residuos es el paso inicial para implementar estrategias de economía circular con impacto positivo en la reducción de emisiones de GEI. Este diagnóstico permite priorizar acciones, optimizar recursos y promover la innovación en gestión ambiental, convirtiendo los residuos en oportunidades para la sustentabilidad y el liderazgo institucional en acción climática.

REFERENCIAS

- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. Recuperado el 26 de septiembre de 2025, de <http://bit.ly/46KMJml>
- Evans, J., Jones, R., Karvonen, A., Millard, L., & Wendler, J. (2015). Living labs and co-production: University campuses as platforms for sustainability science. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 16, 1–6. <http://bit.ly/4mCFVNG>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy: A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <http://bit.ly/4pHSxpt>
- Jaglan, A. K., Sharma, H. B., Vinaik, M., & Dubey, B. K. (2025). Solid waste characterisation and recycling potential for a university campus in a developing nation. *International Journal of Environment and Waste Management*, 36 (1), 33–48. <http://bit.ly/46qZxzw>
- Lozano, R., Lukman, R., Lozano, F. J., Huisingh, D., & Lambrechts, W. (2013). Declarations for sustainability in higher education: Becoming better leaders, through addressing the university system. *Journal of Cleaner Production*, 48, 10–19. <http://bit.ly/4mD20LY>
- Mbama, C. A., Otegbulu, A., Beverland, I., & Beattie, T. K. (2023). Solid waste recycling within higher education in developing countries: a case study of the University of Lagos. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25 (2), 886–898. <http://bit.ly/3KHBovP>
- Ojuri, O. O., Olowoselu, A. S., Akinrele, J., Ayodele, F. O., & Jayejeje, O. O. (2024). Sustainable integrated solid waste management for a university campus– A case study of the Federal University of Technology Akure (FUTA), Nigeria. *Waste Management Bulletin*, 2(2), 161–170. <http://bit.ly/4mFCHsJ>
- Pedro, E. M., Leitão, J., & Alves, H. (2020). Bridging intellectual capital, sustainable development and quality of life in higher education institutions. *Sustainability*, 12(479). <http://bit.ly/3Vzt6bQ>
- Pérez, J. (2017). Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México. *Acta universitaria*, 27 (3), 36-56. <https://bit.ly/4nUXcm9>
- Ruiz Morales, M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(1), 93-97.

- Salas, D. A., Criollo, P., & Ramirez, A. D. (2021). The Role of Higher Education Institutions in the Implementation of Circular Economy in Latin America. *Sustainability*, 13(17), 9805. <http://bit.ly/3Ijd9nf>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial: NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – muestreo- método del cuarteo, (1985).
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial: NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – Peso volumétrico in situ, (1985).
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial: NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – selección y cuantificación de subproductos, (1985).
- Stahel, W. R. (2020). History of the circular economy: The historic development of circularity and the circular economy. In S. Eisenriegler (Ed.), *The circular economy in the European Union* (pp. 7–22). Springer. <http://bit.ly/3VDGAmP>

ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL EN EL MARCO DE LOS ODS: EL CASO DE GREENE ENTERPRISE

PAULA SÁNCHEZ RUIZ

Universidad Miguel Hernández de Elche

CRISTINA MORA RODRÍGUEZ

Universidad Miguel Hernández de Elche

1. INTRODUCCIÓN

Durante la última década, la sostenibilidad se ha convertido en un elemento estratégico clave para las empresas que quieren generar un valor extra a largo plazo. El aumento de la degradación ambiental, las presiones normativas y la concienciación social acerca del cambio climático han favorecido la necesidad de integrar nuevos modelos de negocio más responsables y relacionados con el desarrollo sostenible. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU toman un papel fundamental en esta transformación, brindan un marco global que guía las estrategias empresariales hacia metas con impacto social, económico y ambiental. (Dyllick & Muff, 2016).

En este nuevo modelo, el término de Responsabilidad Social Corporativa (RSC) se convierte en clave como instrumento para poder alinear los intereses de las empresas con las nuevas necesidades sociales emergentes. Además, la integración de la economía circular y el cumplimiento de los criterios ESG (Environmental, Social and Governance) posibilitan que las empresas puedan gestionar sus impactos y posicionarse de forma estratégica ante los nuevos retos globales. (Donohue, 2024).

2. OBJETIVOS

En esta investigación nos vamos a centrar en el análisis del caso de la empresa Greene Enterprise, S.L., su actividad se basa fundamentalmente en la valorización de residuos de fracción rechazo y en el desarrollo de tecnologías que sean sostenibles. Se va a llevar a cabo un estudio de la estrategia de sostenibilidad que sigue la empresa, y como integran y alinean sus actividades con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, concretamente con los ODS 7, 9, 12, 13 y 17.

El objetivo es identificar cuáles son las fortalezas y las debilidades que destacan para posteriormente proponer una serie de posibles medidas de mejora para reafirmar el compromiso de la empresa con la sostenibilidad.

Para llegar al objetivo planteado realizaremos un análisis de cómo se integran los ODS en las estrategias a través de los datos que se presentan tanto en el Informe de Sostenibilidad de la empresa como en el Informe ESG. A través de este análisis podremos llevar a cabo las propuestas relacionadas con los objetivos globales de sostenibilidad.

3. PRESENTACIÓN GREENE ENTERPRISE S.L.

Greene Enterprise S.L., fundada en 2011 en el Parque Industrial de Elche, cuenta con cuatro centros de trabajo y alrededor de 150 empleados en 2025. La empresa se especializa en ingeniería tecnológica e investigación, desarrollando tecnología propia y patentada para el diseño, construcción y puesta en marcha de plantas industriales denominadas Valogreene. Estas instalaciones se orientan a valorizar residuos sólidos no peligrosos, evitando su destino a vertederos o incineradoras y transformándolos en materias primas circulares que se reincorporan a procesos productivos.

Antes de la puesta en marcha de cada planta, Greene constituye sociedades conjuntas con terceros, ofreciendo servicios de operación, mantenimiento y actualización. Su objetivo central es convertir residuos en nuevos productos circulares, integrando en su estrategia corporativa los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

El modelo de negocio de Greene ha pasado de la comercialización de equipos de ingeniería a la promoción de proyectos industriales propios.

A través de filiales Valogreene, proyecta la construcción y gestión de más de 40 plantas en los próximos diez años, ubicadas en puntos estratégicos. Entre los productos obtenidos destacan aceite pirolítico (Agnoil), carbonato cálcico (Calxand), biochar (Bioblacc) y carbón activado (Acsorb), comercializados en colaboración con sectores clave como la química, cerámica y cementera.

El impacto de estas iniciativas es ambiental, económico y social: reducen residuos y emisiones, generan empleo directo e indirecto, fortalecen el tejido industrial y promueven el desarrollo territorial. Greene define su misión como liderar la transformación de residuos en materias primas circulares y su visión como consolidar la economía circular mediante innovación constante.

4. METODOLOGÍA

Esta investigación se ha desarrollado a través de un enfoque cualitativo, nos vamos a centrar en analizar la estrategia de sostenibilidad de la empresa Greene Enterprise S.L. Como objetivo principal hemos establecido evaluar cómo esta empresa integra los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en su estrategia como negocio, también identificaremos cuáles son sus fortalezas y sus debilidades en relación con la sostenibilidad.

Con este objetivo, se ha empleado una metodología basada en el estudio de un caso para poder abordar, dentro del contexto real, una organización específica en profundidad. Para complementar de manera precisa este enfoque, se han usado técnicas de revisión documental, analizando algunas fuentes secundarias como la Memoria de Sostenibilidad y el Informe ESG de la compañía, aparte de esto, se ha tenido en cuenta la normativa vigente, y se han utilizado fuentes académicas y documentos oficiales relacionados con la sostenibilidad empresarial y con la Agenda 2030.

Para el posterior análisis de los datos extraídos de los documentos facilitados por la empresa, se utilizará una matriz estratégica como es el análisis DAFO.

4.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son 17 metas globales, desglosadas en 169 objetivos y 232 indicadores, orientados a proteger el planeta, erradicar la pobreza y promover la paz y prosperidad. Abarcan áreas como cambio climático, desigualdad, innovación, consumo responsable y justicia, siendo interdependientes entre sí. Greene Enterprise muestra un firme compromiso con la Agenda 2030, reflejado en su Memoria de Sostenibilidad e Informe ESG, donde integra acciones alineadas con los ODS. Esta investigación se centra en cinco de ellos, describiendo su propósito, metas y las actividades desarrolladas por Greene, que generan impactos ambientales, sociales y económicos positivos.

4.1.1. ODS 7 Energía asequible y no contaminante

Vamos a comenzar con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7, este objetivo busca garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

Para garantizar que todo el mundo pueda acceder a la energía eléctrica en 2030, se debe acelerar la electrificación, aumentar las inversiones en energía renovable, mejorar la eficiencia energética y desarrollar políticas y marcos regulatorios que propicien esto. (Organización de las Naciones Unidas, n.d.)

Cada objetivo está formado por diferentes metas, en este caso podemos relacionar a la empresa Greene con las siguientes metas:

Meta 7.1

De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes de energía:

Las Valogreene, como hemos comentado anteriormente permiten eliminar materias consideradas residuos, evitando que estas sean incineradas o depositadas en vertederos. Las plantas de Greene permiten que se eliminen estas materias, generando nuevas materias primas sostenibles como aceites, carbón activo o hidrógeno entre otras, a través de un

proceso de termoconversión sostenible, rentable y que permite cumplir los parámetros que impone la economía circular.

Esto se relaciona con la meta que estamos tratando por el hecho de que, como el CEO de la empresa asegura en algunas declaraciones las plantas de Greene consiguen un total autoabastecimiento energético, esto quiere decir que durante la valorización de los residuos utilizan los propios gases que se desprende en algunas fases del proceso para abastecerse de energía para otras de las fases, aprovechando al máximo toda la energía que se genera.

Meta 7.a

De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias:

Greene W2H2 S.L. impulsa la producción de hidrógeno renovable a partir de residuos forestales y biomasa mediante su tecnología patentada de gas sintético. Su proyecto más destacado, Renewton, transforma restos de poda que en la Comunidad Valenciana alcanzan un millón de toneladas anuales en hidrógeno verde. Con esta iniciativa se busca reducir emisiones, evitar la incineración de estos materiales y avanzar en la descarbonización de sectores como el cerámico, sustituyendo hasta un 20 por ciento del gas natural por este combustible renovable. El proyecto supone una inversión de 3,5 millones de euros, respaldada por la Conselleria de Innovación, Industria, Comercio y Turismo.

Por su parte, Greene W2BM S.L., constituida en 2023 junto a Naturgy, desarrolla biometano a partir de residuos secos mediante un proceso termoquímico que alcanza una pureza superior al 95 por ciento sin generar digestato. Actualmente funciona en una planta piloto en Elche con previsión de ampliarse a escala industrial, capaz de tratar 45.000 toneladas de residuos anuales.

En conjunto, ambas iniciativas refuerzan el liderazgo de Greene en la transición hacia la economía circular y las energías renovables.

4.1.2. ODS 9 Industria, innovación e infraestructuras

El **ODS 9** busca promover infraestructuras resilientes, una industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. La ONU destaca que invertir en transporte, energía, tecnologías de la información y riego es clave para el desarrollo sostenible y para empoderar a las comunidades. El rápido crecimiento económico y social exige nuevas infraestructuras sostenibles que fortalezcan la resiliencia ante el cambio climático y favorezcan la estabilidad social. Además, el progreso tecnológico y la industrialización deben ser motores de crecimiento que reduzcan desigualdades, aseguren oportunidades globales y se basen en la innovación como herramienta esencial para un futuro sostenible.

Meta 9.2

Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados:

El modelo de negocio de Greene Enterprise se centra en la implantación de plantas industriales bajo la marca Valogreene, diseñadas para maximizar la eficiencia y la sostenibilidad en función de las necesidades de cada cliente. Actualmente, la empresa tiene tres plantas en construcción cuya puesta en marcha representará un importante impulso en la generación de empleo directo e indirecto.

Las plantas de valorización crean empleos en operación, ingeniería, investigación y mantenimiento, así como trabajos indirectos relacionados con transporte de residuos, servicios auxiliares, construcción de infraestructuras y fabricación de componentes. De esta manera, Greene contribuye a fortalecer el tejido industrial y a dinamizar las economías locales y regionales.

La primera en entrar en funcionamiento será Valogreene CML Madrides, prevista para el cuarto trimestre de 2025, con 18 empleos directos y 40 indirectos. Le seguirá Valogreene Recinor en el segundo trimestre de 2026, con 25 empleos directos y 40 indirectos. La tercera,

Valogreene San Cristóbal de Entreviñas, comenzará operaciones en el cuarto trimestre de 2026 con cifras similares.

Más allá de estos proyectos, Greene prevé implantar 40 plantas en los próximos diez años, generando unos 1.500 empleos. Con ello, refuerza la industrialización sostenible, fomenta la resiliencia productiva y avanza en la meta 9.2 del ODS 9.

Meta 9.4

De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas:

Desde su creación, Greene Enterprise ha enfocado su tecnología en la gestión de residuos de fracción rechazo, aquellos que no pueden reciclarse ni reutilizarse y que suelen acabar en vertederos o incineradoras. Con este modelo, la empresa se alinea con la meta 9.4 del ODS 9, impulsando la descarbonización y la modernización industrial mediante procesos de termoconversión sostenible que optimizan recursos y reducen emisiones.

En 2023, registró una huella de carbono de 138,53 toneladas de CO₂ equivalente, considerando emisiones directas e indirectas vinculadas a operaciones, energía, transporte y gestión de residuos. Al comparar su modelo con la incineración y el vertido, los resultados muestran una reducción significativa de GEI, según la base de datos Ecoinvent y la metodología del MITERD.

Greene confirma así su papel clave en la transición hacia una industria baja en carbono.

Meta 9.5

Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular, los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que

trabajaban en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo:

La meta 9.5 del ODS 9 promueve la investigación, la innovación tecnológica y el refuerzo de las capacidades de I+D como base de una industria sostenible. En este contexto, Greene Enterprise destaca por su apuesta en I+D+i aplicada a procesos de valorización de residuos para generar materias primas circulares. A diferencia de la tendencia habitual, sus mayores gastos en investigación se concentraron en los primeros años, cuando se desarrolló su tecnología propia, y aunque han disminuido con la consolidación de la empresa, siguen siendo significativos. En 2022 invirtió 3,1 millones de euros, en 2023 destinó 2,5 millones y en 2024 alcanzó 2,6 millones. Estas cifras reflejan un compromiso firme con la innovación, consolidando a Greene como referente en la consecución de la meta 9.5.

4.1.3. ODS 12 Producción y consumo responsables

El **ODS 12** busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, promoviendo el uso eficiente de recursos, la eficiencia energética, infraestructuras resilientes y el acceso a servicios básicos. También impulsa empleos verdes y una mejor calidad de vida, al tiempo que contribuye a reducir costes económicos, ambientales y sociales, aumentando la competitividad y disminuyendo la pobreza.

Su objetivo es producir y consumir más y mejor con menos recursos, reduciendo la degradación y la contaminación a lo largo de todo el ciclo de vida, mientras se maximiza el bienestar. Para lograrlo, es esencial la participación de empresas, consumidores, formuladores de políticas, investigadores, minoristas, medios y organismos de cooperación, adoptando un **enfoque sistémico** que abarque toda la cadena de suministro, desde el productor hasta el consumidor final.

El cambio de hábitos de consumo y la transición hacia **energías sostenibles** son medidas clave. Actualmente, las empresas muestran un mayor compromiso mediante la elaboración de **informes de sostenibilidad**, reflejando avances hacia prácticas responsables alineadas con los ODS.

Meta 12.4

De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente:

La meta analizada busca asegurar la gestión adecuada de productos químicos y desechos durante todo su ciclo de vida, reduciendo emisiones al aire, agua y suelo, y minimizando los efectos negativos sobre la salud y el medio ambiente. Este planteamiento se alinea con la economía circular, modelo en el que Greene basa su actividad, transformando residuos en materias primas útiles en lugar de destinarlos a vertederos o incineración. Sus plantas convierten la fracción rechazo en productos valorizados como biochar y aceite pirolítico, que se reincorporan a cadenas productivas. Así, Greene reduce impactos ambientales, impulsa la innovación industrial y promueve un desarrollo sostenible.

Meta 12.5

De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización:

La meta 12.5 del ODS 12 promueve transformar los modelos tradicionales de producción y consumo mediante la Jerarquía de Residuos, que prioriza la prevención, reutilización y reciclaje. En este marco, Greene Enterprise se posiciona en el nivel de reciclaje a través de sus plantas Valogreene, que aplican gasificación y pirólisis para valorizar la fracción rechazo. Cada planta trata alrededor de 40.000 toneladas anuales, generando aceites pirolíticos, biocombustibles líquidos y syngas, que sustituyen recursos naturales. Con ello, Greene reduce la presión sobre vertederos e incineradoras, disminuye impactos ambientales y fomenta la economía circular, alineándose con la meta 12.5 del ODS 12.

Meta 12.6

Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes:

Greene Enterprise ha asumido voluntariamente la integración de la sostenibilidad en su gestión, alineándose con la meta 12.6 de los ODS. Aunque no tiene obligación legal, publica memorias de sostenibilidad e informes no financieros que detallan su estrategia ambiental y de economía circular, junto con indicadores como huella de carbono y toneladas de residuos valorizadas. Esta práctica refuerza la confianza de clientes, inversores e instituciones, evidenciando transparencia y responsabilidad empresarial. A nivel interno, promueve la Responsabilidad Social Corporativa con planes de igualdad y diversidad, formación en sostenibilidad, políticas de conciliación laboral y apoyo a la salud mental de su equipo, contribuyendo a los ODS 5 y 8. Además, mantiene un compromiso social mediante colaboraciones con entidades locales, proyectos educativos y ambientales, limpiezas de playas, campañas solidarias y charlas en centros educativos. En conjunto, Greene consolida un modelo empresarial que integra la sostenibilidad de forma estratégica, con impacto positivo interno y externo.

4.1.4. ODS 13 Acción por el clima

El ODS 13 enfatiza la necesidad de adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos globales. Actualmente, los efectos negativos del cambio climático afectan tanto a las economías nacionales como a la vida de las personas, y se prevé que empeoren en el futuro. Entre estos impactos se encuentran alteraciones en los patrones climáticos, aumento del nivel del mar y fenómenos meteorológicos extremos, agravados por las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de actividades humanas e industriales. Si no se actúa, la temperatura media global podría aumentar hasta 3 °C en este siglo. Existen soluciones viables, como el uso de energía renovable y la implementación de planes para reducir emisiones, que requieren la participación activa de empresas, personas y organismos internacionales. Actuar de manera coordinada es esencial para garantizar un futuro sostenible y minimizar riesgos para las próximas generaciones.

Meta 13.1

Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países:

Aunque la meta 13.1 del ODS 13 se asocia comúnmente con la gestión de catástrofes naturales, también abarca la prevención de impactos climáticos y ambientales derivados de prácticas industriales y urbanas insostenibles, como la gestión inadecuada de residuos. El vertido de residuos no valorizables en vertederos genera graves riesgos: filtración de lixiviados hacia suelos y acuíferos, contaminación de aguas superficiales y marinas, afectación de ecosistemas acuáticos y emisión de gases de efecto invernadero, principalmente metano, cuyo potencial de calentamiento global es 25 veces superior al dióxido de carbono. Estos procesos no solo contaminan, sino que reducen la resiliencia ambiental y la capacidad de adaptación de los territorios al cambio climático.

Greene Enterprise busca eliminar el vertido como destino final de residuos mediante su tecnología de valorización, que incluye procesos de gasificación y termo-conversión para tratar la fracción de rechazo. Esta estrategia ofrece múltiples beneficios: evita la generación de lixiviados, reduciendo la contaminación del suelo y del agua; previene que los residuos lleguen a entornos marinos, protegiendo la biodiversidad; y minimiza la emisión de gases de efecto invernadero mediante sistemas de control y aprovechamiento energético.

Además, la tecnología de Greene permite transformar materiales previamente considerados desechos en subproductos con valor añadido, disminuyendo la extracción de recursos naturales y fomentando el cierre del ciclo de vida de los materiales, en línea con la economía circular.

En definitiva, Greene Enterprise mejora la gestión de residuos, reduce riesgos ambientales y promueve la resiliencia territorial frente al cambio climático, alineándose de manera clara con la meta 13.1 del ODS 13.

Meta 13.3

Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana:

La meta 13.3 del ODS 13 promueve la concienciación sobre la mitigación del cambio climático, la divulgación de información ambiental y la adopción de medidas para reducir sus efectos. Aunque

tradicionalmente se centra en políticas públicas y educación, las empresas privadas desempeñan un papel clave por su capacidad de alcance en ámbitos técnicos, industriales y territoriales. Greene Enterprise ha asumido un compromiso activo con esta meta, participando como ponente y organizador en congresos, ferias y sesiones formativas orientadas a la sostenibilidad y la concienciación ambiental.

Un ejemplo relevante es su implicación en el Congreso de Economía Circular de Elche (Conecoo), organizado junto a la UMH, el Parque Empresarial de Elche y el Círculo Empresarial de Elche, con apoyo de la Generalitat Valenciana y patrocinadores privados. Este evento anual fomenta la economía circular mediante ponencias, mesas de debate y herramientas para maximizar la rentabilidad, incentivar la innovación, visibilizar el compromiso ambiental y promover alianzas público-privadas alineadas con los ODS.

Greene también participa en ferias y jornadas internacionales, como Expobiomasa 2025, mostrando sus avances en valorización de biomasa y soluciones innovadoras frente al cambio climático. Además, colabora con universidades, ofreciendo charlas, visitas a su planta piloto y formación continua a empleados en economía circular, sostenibilidad y tecnologías limpias.

En conjunto, estas acciones reflejan su contribución integral al desarrollo sostenible, su capacidad de generar sinergias y su liderazgo en educación, innovación y acción climática, alineándose plenamente con la meta 13.3 del ODS 13.

4.1.5. ODS 17 alianzas para lograr objetivos

El ODS 17 destaca la necesidad de establecer colaboraciones sólidas entre gobiernos, empresas y ciudadanía para cumplir la Agenda 2030. Alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible requiere asociaciones estables a nivel global y trabajo conjunto que garantice que todos los actores estén incluidos en los avances hacia el desarrollo. La desigualdad económica entre países hace que la cooperación sea especialmente crucial, incentivando a los más desarrollados a establecer acuerdos y alianzas que apoyen a las zonas menos avanzadas. Esto implica una

reorientación global de recursos financieros, tecnológicos y humanos, así como inversiones estratégicas en energía sostenible, infraestructura, transporte y tecnologías de la información. En conjunto, estas alianzas deben basarse en principios comunes y una visión colectiva centrada en el bienestar de las personas y del planeta.

Meta 17.17

Fomentar y promover la constitución de alianzas eficaces en las esferas pública, público-privada y de la sociedad civil, aprovechando la experiencia y las estrategias de obtención de recursos de las alianzas:

El cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible depende de alianzas sólidas entre actores sociales y económicos que impulsen la sostenibilidad y el intercambio de conocimientos. Greene Enterprise entiende la relevancia de estas colaboraciones y ha construido una red de socios integrada por instituciones tecnológicas, asociaciones profesionales y administraciones comprometidas con la innovación y la sostenibilidad. Entre sus iniciativas destacan los acuerdos con ayuntamientos y entidades públicas para la planificación y construcción de plantas Valogreene, adaptadas a las necesidades locales e integradas en la comunidad. Asimismo, mantiene relaciones con entidades financieras públicas como el Banco Europeo de Inversiones para facilitar proyectos sostenibles a gran escala. Greene también coopera con proveedores especializados y centros de investigación como CENER y CIE-MAT, participando en clústeres que promueven tecnologías innovadoras. Con ello, la empresa confirma que la cooperación estratégica es clave para avanzar hacia los ODS.

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Tras haber recopilado toda la información y haber expuesto en los apartados anteriores algunas de las acciones que Greene Enterprise realiza con el objetivo de alinearse con cada una de las metas de los ODS tratadas, se va a hacer un análisis de la posición de la empresa. Es importante realizar este análisis para poder determinar en qué posición se encuentra en estos momentos la empresa en temas de sostenibilidad. Con

este objetivo se ha realizado un análisis DAFO que nos permite obtener una perspectiva general de cuáles son los factores internos y externos que contribuyen a la forma en la que la empresa contribuye de manera real con el cumplimiento de la Agenda 2030.

A través de este análisis se pueden determinar cuáles son las ventajas con las que cuenta la empresa y a que riesgos se enfrenta su modelo de negocio, además el análisis es una base para poder identificar que mejoras estratégicas pueden implementarse para destacar ambiental, social y económicamente.

Para realizar la matriz DAFO se ha analizado información extraída del informe ESG, la memoria de sostenibilidad y algunas fuentes corporativas, del mismo modo que se ha tenido en cuenta todo lo observado y aprendido durante las prácticas universitarias en la compañía.

5.1 DAFO

A continuación, se va a exponer el análisis DAFO realizada sobre Greene Enterprise. Por un lado, nos gustaría apuntar que a la hora de realizar este análisis se ha utilizado un enfoque basado en la sostenibilidad y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por otro lado, a la hora de definir los apartados relativos a factores externos, se ha tenido en cuenta la industria en general, el sector químico, el energético y el de residuos, no se ha enfocado en ninguna empresa en particular ya que actualmente Greene no tiene ningún competidor directo determinado ya que no existe una empresa a nivel nacional que desarrolle una actividad igual.

5.2 RESULTADOS

5.2.1. Debilidades

La empresa se enfrenta a algunas limitaciones internamente. Aunque actualmente la compañía se encuentra en crecimiento, su alcance territorial todavía es reducido. Esta situación dificulta que puedan generar un impacto mayor, aunque como se ha expuesto anteriormente, su actividad ya causa un efecto positivo significativo.

Asimismo, a pesar de que Greene es una empresa comprometida con la sostenibilidad y con el cumplimiento de la Agenda 2030, su estrategia se centra sobre todo en algunos ODS y existen algunas áreas en las que se podrían enfocar más. Por ejemplo, la esfera que en la que menos implicación demuestran es en la 1, la relativa a las personas.

Aun así, a través de sus acciones se puede ver su intención de mejora y que cada vez implementan más medidas relativas a esta esfera.

Por otro lado, puede ser un riesgo para la empresa su dependencia de financiación externa para la realización de proyectos de I+D, el riesgo se podría agravar según el contexto económico. Para concluir con el apartado de debilidades, consideramos que, aunque la compañía cuanta con estrategias fuertes de comunicación, darse a conocer entre la sociedad y entre el resto de las empresas tanto del mismo sector como de diferentes sectores puede suponer un gran beneficio para Greene.

5.2.2. Amenazas

A parte de las grandes oportunidades con las que cuenta la compañía, existen una serie de amenazas que pueden perjudicar el modelo de negocio de Greene. Por un lado, la amenaza más importante es la tendencia actual que existe por la cual las empresas aplican estrategias de “greenwashing”, con esto consiguen captar la atención de los medios, dificultando así que destaquen las iniciativas sostenibles reales de Greene.

Otra de las amenazas que se han detectado es, por un lado, la dificultad que supone llevar a cabo algunos de los procesos administrativos necesarios para conseguir permisos y licencias ambientales y los retrasos burocráticos que existen en la administración, relacionado con esto, las normativas medioambientales y las relacionadas con temas de valorización y de residuos cambian constantemente, Greene tiene que ser capaz de ir adaptándose y cumplir con precisión toda la legislación.

5.2.3. Fortalezas

La principal fortaleza con la que cuenta Greene es su tecnología propia desarrollada para la valorización de aquellos residuos que no son

reciclables. Contar con esta tecnología sitúa la empresa como una figura clave en la transición de la industria hacia la economía circular. Por otro lado, todas las alianzas que durante sus años de actividad Greene ha ido estableciendo con centros tecnológicos, institutos de investigación, universidades, entidades bancarias y demás instituciones, posicionan a la empresa en un buen lugar en temas de sinergias y de transmisión de conocimiento (Meta 17.17).

Por otra parte, demuestran su compromiso con la transparencia y la buena actuación a través de la redacción voluntaria de informes de ESG y de memorias de sostenibilidad, además de su política interna de RSC que refuerza su cultura como organización (Meta 12.6).

5.2.4. Oportunidades

La situación actual es favorecedora para Greene y permite que prospere como empresa y pueda llegar a liderar la industria. La legislación europea se está orientando cada vez más a fomentar proyectos basados en la sostenibilidad, por ejemplo, a través de los fondos Next Generation. Este es un ambiente óptimo para mejorar tecnológicamente y para conseguir buenos inversores.

Por otro lado, las crecientes corrientes sociales y empresariales enfocadas en impulsar la mitigación del cambio climático refuerzan a Greene como empresa proveedora de nuevas soluciones basadas en procesos químicos innovadores. A través de su estrategia de expansión mediante la implantación de nuevas plantas consiguen alinearse con los ODS que promueven la creación de empleo y el desarrollo territorial (Meta 9.2), aquí encontramos una oportunidad clave de crecimiento para la empresa.

6. CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación ha sido realizar un análisis para determinar cuáles son los puntos fuertes y débiles de la estrategia de sostenibilidad que Greene Enterprise sigue, este análisis se ha realizado a través de la identificación de las acciones que la empresa lleva a cabo para alinearse con algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que establece la ONU en la Agenda 2030, concretamente el 7, 9, 12, 13

y 17. La información utilizada durante el desarrollo de esta investigación fue extraída de diferentes documentos corporativos y de la observación y aprendizaje durante las prácticas realizadas en la empresa.

Podemos extraer como conclusión de los resultados expuestos que la compañía Greene Enterprise muestra un compromiso claro con la sostenibilidad en diversos ámbitos, el medioambiental, el social y el financiero. Por un lado, medioambientalmente podemos destacar la tecnología con la que cuenta Greene para la valorización de residuos que son transformados en productos de valor añadido como biogás o aceite pirolítico, su proceso de desarrollo propio evita que estos residuos no reciclables sean depositados en vertederos o incinerados, reduciendo así la emisión de gases contaminantes como se ha visto reflejado en lo expuesto en la meta 9.4. Por otro lado, financiera y socialmente Greene también destaca por su fuerte implicación, la empresa contribuye a la creación de empleo con su expansión territorial como se demuestra en el apartado de la meta 9.2, además la compañía internamente promueve políticas de RSC y se enfoca en medidas para favorecer a sus trabajadores, reflejado en las acciones nombradas en la meta 12.6. Además, sus alianzas demuestran su participación activa en la colaboración entre entidades para desarrollar la innovación, como hemos podido ver a través de la meta 17.17.

Tras la identificación de las acciones, se ha realizado un análisis a través de una matriz DAFO para poder identificar, por un lado, internamente las debilidades y fortalezas como la dependencia de financiación y la tecnología propia respectivamente; y, por otro lado, externamente, las amenazas y oportunidades que se le presentan a la empresa, en este caso la normativa cambiante y la posibilidad de liderar la industria.

En definitiva, por medio de esta investigación hemos podido demostrar que Greene es una empresa que sirve como ejemplo de compañía que incorpora la sostenibilidad como eje de su estrategia empresarial, teniendo en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La empresa muestra que a través de su enfoque pueden combinar innovación y rentabilidad con compromiso ambiental y social. Por todas las acciones que realiza y por la evolución que ha tenido y sigue teniendo, Greene se está convirtiendo en una compañía referente para otras pymes o

nuevas empresas en materia de sostenibilidad, es un ejemplo a seguir por empresas no solo de su sector sino por cualquier empresa debido a su gran implicación con el desarrollo sostenible y con el cumplimiento de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas.

Para finalizar, queremos añadir como propuesta que sería muy favorable para la empresa realizar una medición real de los indicadores que fueron definidos por el Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los ODS (IAEG-ODS) con tal de conocer de manera más profunda cuál es el impacto real de la compañía, esta medición aportaría legitimidad a Greene como empresa transformadora y sostenible. Por último, otra medida interesante sería incluir en sus actuaciones algunas enfocadas a las metas que no abordan todavía de forma directa.

En el contexto global actual en el que la sostenibilidad se convierte en un tema prioritario e inevitable para las empresas, Greene Enterprise prueba que es posible combinar la eficiencia financiera y la innovación tecnológica junto con el compromiso con el entorno que le rodea.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, B. (2015, 30 noviembre). *Indicadores y datos de los ODS: ¿Quién recauda? ¿Quién informa? ¿Quién se beneficia?* Global Policy Watch. <https://www.globalpolicywatch.org/esp/?p=288>
- Ávila, R. C., & Campos, J. L. M. (2018). The social economy facing emerging economic concepts: Social innovation, social responsibility, collaborative economy, social enterprises and solidary economy. CIRIEC-España Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa, 93, 5–50. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.93.12901>
- Bansal, P., & DesJardine, M. (2014). *Business sustainability: It is about time*. Strategic Organization, 12(1), 70–78. <https://doi.org/10.1177/1476127013520265>
- Barrio-Fraile, E., Enrique-Jiménez, A. M., Freire-Sánchez, A., & Vidal-Mestre, M. (2024). *Conceptual analysis of corporate purpose: sustainability, CSR, SDGs, and communication*. Cuadernos.Info, 59, 251–272. <https://doi.org/10.7764/cdi.59.75543>
- Campillo, L. P. (2024). *ESG and legal tech: driving sustainability*. Revista Eurolatinoamericana de Derecho Administrativo, 11(2). <https://doi.org/10.14409/redoeda.v11i2.13896>

- Dahiru Aminu, M., & Biniotoglou, I. (2024, 16 mayo). De los ojos en el espacio a las manos en el suelo: Utilizar la teledetección para mitigar las emisiones de metano del sector de los residuos en África. Clean Air Task Force. <https://n9.cl/nod7x>
- Donohue, W. J. (2024). Book Review-Environmental, Social, Governance: The Professional's Guide to the Law and Practice of ESG Professional's Guide to the Law and Practice of ESG (Vol. 128). <https://ideas.dickinsonlaw.psu.edu/dlr/vol128/iss3/4>
- Dyllick, T., & Muff, K. (2016). *Clarifying the Meaning of Sustainable Business: Introducing a Typology From Business-as-Usual to True Business Sustainability*. *Organization and Environment*, 29(2), 156–174. <https://doi.org/10.1177/1086026615575176>
- EU's energy sector leads the way in cuts to greenhouse gas emissions in 2023*. (2025, 16 abril). European Environment Agency's Home Page. <https://n9.cl/0tqzv>
- Fernández-Gago, R., Godos-Díez, J. L., Morán-Muñoz, A., & Cabeza-García, L. (2024). *SDGs in Spain: Business commitment and firm characteristics*. *Dirección y Organización*, 84, 32–44. <https://doi.org/10.37610/84.680>
- Greene. (2022, 28 octubre). *Celebramos con éxito el congreso sobre economía circular Conecoo*. Greene Enterprise. <https://n9.cl/r3ct4i>
- Greene. (2023, 23 octubre). *Congreso Conecoo: Greene estuvo en el Centro de Congresos*. Greene Enterprise. <https://n9.cl/72gue>
- Greene. (2025, 12 marzo). *La importancia de gestionar correctamente la fracción rechazo - Greene Enterprise*. Greene Enterprise. <https://n9.cl/d6e0q>
- Greene. (2025, 16 abril). *La economía circular y el rol de los residuos valorizados*. Greene Enterprise. <https://n9.cl/ete2a>
- Greene. (2025, 24 abril). *Diferencia entre reciclaje y valorización de residuos - Greene*. Greene Enterprise. <https://bit.ly/3T5UVHe>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2022). Gasto en actividades de I+D interna por rama de actividad y tamaño de empresa. <https://n9.cl/yppayu>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2023). Gasto en actividades de I+D interna por rama de actividad y tamaño de empresa. <https://n9.cl/wcjly>
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. (s. f.). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Kunak Technologies S.L. (2025, 7 abril). *Contaminación del aire en vertederos: cómo afecta a la calidad del aire*. Kunak. <https://n9.cl/8uzih>

- Martín-Herrero, J. M., & Oliver-González, A. B. (2024). *Corporate purpose as an element of corporate communication and reputation: From CSR to sustainability*. *European Public and Social Innovation Review*, 9. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-776>
- Naturgy. (2023, 9 junio). Naturgy impulsa junto a Greene la primera planta de tecnología española para convertir el residuo sólido industrial en gas renovable Naturgy. <https://n9.cl/tk7br>
- Ortega Romero, D. P., Tello Velastegui, F. M., & Ortega Romero, V. F. (2025). *Sostenibilidad Corporativa y ESG (Environmental, Social And Governance)*. *Dominio de Las Ciencias*, 11(1), 1133–1133. <https://doi.org/10.23857/dc.v11i1.4229>
- Parque Científico UMH. (2024, 10 junio). Greene impulsa la sostenibilidad industrial con un sistema que permite convertir desechos en nuevas materias primas útiles. <https://n9.cl/rdtsu>
- Redclift, M. (2005). *Sustainable development (1987-2005): An oxymoron comes of age*. *Sustainable Development*, 13(4), 212–227. <https://doi.org/10.1002/sd.281>
- Silvino Castaño Castaño (s.f.). *Vertederos e impacto sobre las aguas subterráneas*. <https://n9.cl/ntcoo>
- Souto, A. B. F., Gestal, M. V., & Alonso, X. F. (2023). *Corporate Social Responsibility and Ageism in the Public- Private Field. Ibex-35 and University of Vigo*. *Fonseca Journal of Communication*, 26, 121–143. <https://doi.org/10.14201/fjc.31222>
- Thecircularcampus, (2023, 11 enero). *En qué consiste la jerarquía de residuos*. Ecoembes | TheCircularCampus. <https://bit.ly/4kCFwdm>
- United Nations. (2019, 25 julio). *El Pacto Mundial de la ONU: La Búsqueda de Soluciones para Retos Globales*. Naciones Unidas. <https://n9.cl/lj3m>
- Valdehita, B. (2024, 29 noviembre). *Greene creará hidrógeno verde a partir de restos de poda*. Hidrógeno Verde. <https://n9.cl/jf98y>

CLOSING THE CARBON LOOP WITH POLYHYDROXYALKANOATES: STRAIN INNOVATION AND RESIDUE VALORISATION FOR BIODEGRADABLE PLASTICS

NOÉ ANES GARCÍA

Universidad de Oviedo

BEGOÑA FERNÁNDEZ PÉREZ

Universidad de Oviedo

ANTONIO LUIS MARQUÉS SIERRA

Universidad de Oviedo

1. INTRODUCTION

Since the mid-twentieth century, plastics derived from fossil resources have become indispensable materials across multiple sectors owing to their low cost, light weight, versatility, and durability. By 2016, global production had already exceeded 335 million tonnes, with packaging and construction dominating consumption. However, the massive generation of plastic waste, combined with the limitations of recycling and the accumulation of plastics in landfills and aquatic ecosystems, has precipitated an environmental crisis of unprecedented scale. It is estimated that 86% of single-use plastics are discarded after their first use, and that more than 8 million tonnes of plastic waste enter the marine environment annually, where they undergo progressive fragmentation into micro- and nanoplastics with potential adverse effects on biota and human health (Anes García et al. 2019).

In response, the European Union (EU) has established the bioeconomy and the circular economy as strategic pillars to reduce reliance on fossil carbon and to minimise the accumulation of persistent waste. Within this framework, bioplastics have emerged as promising alternatives,

combining functional properties akin to conventional polymers with the added advantage of being derived from renewable resources and offering biodegradability under specific conditions. Among them, polyhydroxyalkanoates (PHAs) have attracted particular attention due to their microbial origin, their complete biodegradability in natural environments, and their potential to replace high-value petrochemical polymers such as polypropylene (Anes García et al. 2019; Liu et al. 2019; Crutchik et al. 2020).

PHAs comprise a diverse family of intracellular polyesters synthesised by numerous bacteria and archaea as reserves of carbon and energy. More than 150 distinct monomers have been identified, enabling the generation of materials ranging from rigid plastics to elastomers (Lera et al. 2024). Among these, poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) and its copolymer with 3-hydroxyvalerate (PHBV) are the most extensively studied, owing to their thermomechanical and barrier properties comparable to petroleum-derived plastics (Anes García et al. 2018a). Their use has already been consolidated in medical applications—such as sutures, nerve guidance conduits, and temporary implants—where biodegradability and biocompatibility justify the relatively high production costs (Vázquez-Fernández et al. 2022; Gracia et al. 2023).

Nevertheless, the expansion of PHAs into high-volume markets such as flexible packaging or agricultural films remains constrained by both economic and technical barriers. While fossil-based polymers such as polypropylene can be produced for less than €1/kg, the cost of PHAs typically ranges from €2 to €5/kg, with variation arising from substrate prices, microbial productivity, and the complexity of extraction processes (Liu et al. 2019; Anes García et al. 2021). Furthermore, heterogeneity in the final properties of the polymers—stemming from the diversity of producing strains, cultivation conditions, and substrate profiles—adds uncertainty to their industrial standardisation (Kumar et al. 2018; Lera et al. 2024).

Several biotechnological strategies have been explored to overcome these bottlenecks. The use of agro-industrial residues—such as whey, molasses, or biodiesel-derived glycerol—as carbon sources can substantially reduce production costs while enhancing process sustainability (Guo et al. 2024; Mineo et al. 2025a). Genetic and metabolic

engineering of recombinant bacteria, notably *Escherichia coli*, has improved volumetric productivity and diversified polymer composition, although challenges of genetic stability persist (Lera et al. 2024). In parallel, the deployment of extremophilic microorganisms, particularly halophiles such as *Haloferax mediterranei* or *Halomonas* spp., has been shown to diminish sterilisation requirements and facilitate polymer recovery via osmotic lysis, thereby reducing downstream costs (Conca et al.; Wang et al. 2016; Liu et al. 2019).

Taken together, PHAs epitomise the intersection of the bioeconomy and circularity: they not only offer a renewable and biodegradable substitute for fossil plastics, but also enable the valorisation of waste streams as feedstocks, thereby contributing to carbon cycle closure and the reduction of the environmental footprint of the plastics industry. The consolidation of these technologies, supported by regulatory frameworks and biotechnological innovation, may position PHAs as pivotal actors in the transition towards a more sustainable production model.

2. OBJETIVES

The purpose of this chapter is to provide an in-depth analysis of the current state of polyhydroxyalkanoate (PHA) production and its integration into European bioeconomy and circular economy strategies, situating this biopolymer within the broader transition towards sustainable materials. To this end, it examines the policy frameworks that guide the substitution of fossil-based plastics and the reduction of persistent waste, in order to assess the extent to which PHAs can be positioned as a viable alternative in the pursuit of climate neutrality and resource efficiency.

A second objective is to address the microbiological and technological criteria that determine the industrial feasibility of PHAs. Particular attention is given to the diversity of producing strains—natural isolates, recombinant organisms, and mixed consortia—as well as to advances in synthetic biology that enable the optimisation of intracellular polymer accumulation. Cultivation conditions (e.g. sterility, nutrient limitation, tolerance to extreme environments), the ease of polymer

extraction, and their implications for the reduction of operating costs are likewise considered

Another axis of analysis is the comparative evaluation of production performance across different strains and fermentation systems. Critical variables such as volumetric productivity, intracellular PHA content, substrate conversion efficiency, and associated costs are included, with the aim of identifying optimisation pathways that may bring the price of these biopolymers closer to competitiveness with conventional plastics.

In parallel, the chapter assesses the potential of agro-industrial and urban residues as carbon sources for microbial PHA synthesis, highlighting both the economic benefit—measured as a reduction in cost per kilogram of polymer—and the environmental gains derived from waste management and the mitigation of greenhouse gas emissions.

The analysis further explores the consolidated and emerging applications of PHAs, ranging from biomedical and pharmaceutical uses—where biocompatibility and biodegradability justify current elevated costs—to high-volume sectors such as packaging and agriculture, where environmental regulation and market demand are driving their progressive adoption.

Finally, the chapter outlines an integrative framework linking biotechnological innovation, waste valorisation, and public policy. The overarching objective is to identify synergies between metabolic engineering, the use of residual substrates, and environmental regulation, thereby proposing strategies that may consolidate PHAs as sustainable plastics within the European context.

3. METHODOLOGY

The methodological strategy of this work was structured across three complementary levels: a systematic review of literature and regulatory frameworks, a comparative analysis of industrial and experimental data, and the design of microbiological and technological evaluation matrices.

First, a systematic review was conducted of scientific and technical literature published between 2012 and 2024, together with European

Union policy documents on bioeconomy, circular economy, and bioplastics regulation. This review encompassed academic databases (Scopus, Web of Science, ScienceDirect) as well as institutional repositories, with particular attention given to market reports, strategic roadmaps, and directives on single-use plastics and biodegradability.

In parallel, a meta-analysis of industrial data was undertaken, focusing on the production and commercialisation of PHAs. Indicators of installed capacity, market prices, production costs, and applications were compiled and contrasted with figures from sectoral consultancies and trade associations within the plastics industry. This approach allowed microbiological findings to be situated within a realistic economic context and enabled the degree of competitiveness with conventional fossil-based polymers to be critically assessed.

The third level consisted of the construction of a comparative matrix of 20 bacterial strains, both natural and recombinant, spanning Gram-positive and Gram-negative genera, evaluated under different cultivation regimes: batch, fed-batch, and mixed systems. The key variables selected were volumetric productivity ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$), intracellular PHA content (% w/w), substrate cost ($\text{€}/\text{kg}$), and ease of polymer extraction. To ensure comparability, standardised parameters of yield and substrate costs were employed, drawing upon both agro-industrial residues (e.g. whey, molasses, olive mill effluents) and pure substrates.

The methodology further incorporated a review of experimental studies employing mixed microbial consortia for the valorisation of waste streams. Particular attention was devoted to sequencing batch reactors (SBRs) operated under feast–famine regimes, which enrich for PHA-accumulating communities, as well as to continuous stirred-tank reactors (CSTRs) that reproduce more stable operating conditions relevant to large-scale applications. Protocols for microbial selection and polymer accumulation were compared, taking into account the influence of food-to-microorganism (F:M) ratios, nutrient limitation, and the composition of volatile fatty acids (VFAs) on the molar fraction of synthesised monomers (PHB, PHV, and copolymers).

In addition, emerging strategies based on methanotrophic cultures were reviewed, demonstrating the ability to convert methane and acetate into biopolymers. Under prolonged enrichment, these systems achieved substantial improvements in intracellular PHA accumulation (up to 35% w/w) when supplemented with co-substrates such as acetic acid under controlled pH conditions. This approach was contrasted with the use of activated sludge derived from wastewater treatment plants (WWTPs), where microbial selection and nutrient balance (C:N:P) are decisive factors in achieving high polymer contents.

Finally, the methodological comparison included an evaluation of operational and scalability parameters: optimal aeration and settling times in SBR systems, adjustment of C:N and C:P ratios to maximise accumulation, and the analysis of energy costs associated with sterilisation, agitation, and polymer extraction. This triangulated approach—integrating literature, industrial data, and biotechnological experimentation—provided a robust analytical framework for identifying the most promising routes towards competitive PHA production within the European transition to a circular bioeconomy.

4. RESULTS

The analysis undertaken in this work enabled the integration of information of diverse nature—from market data and European policy frameworks to microbiological, technological, and economic parameters obtained in experimental assays—with the aim of evaluating the viability of polyhydroxyalkanoates (PHAs) within the context of the circular bioeconomy. The results are presented across several complementary levels: first, an overview of the bioplastics market and the current position of PHAs; subsequently, the performance of different microbial strains; the impact of employing waste streams as alternative substrates; and, finally, the range of potential applications across specific sectors.

4.1. GLOBAL BIOPLASTICS MARKET AND THE CURRENT STATUS OF PHAS

In 2018, global production of bioplastics amounted to only 2.1 million tonnes (Mt), representing less than 1% of the more than 335 Mt of total

plastics produced worldwide. Although marginal in absolute terms, this figure is significant within the transition towards sustainable materials and reflects a nascent sector with strong potential for expansion (Wang et al. 2016; Kumar et al. 2018; Anes García et al. 2021). By 2023, projections indicated an increase to 2.6 Mt, driven primarily by the growing demand for bio-based alternatives in sectors characterised by high consumption of single-use plastics, such as packaging, food containers, disposable utensils, and agricultural applications (Ahuja et al. 2024).

Packaging is particularly prominent, accounting for more than 58% of total European demand for bioplastics, thereby acting as the principal driver of the sector. Agricultural films, paper coatings, and compostable bags represent further dynamic niches, shaped strongly by regulatory pressure from Directive (EU) 2019/904 on single-use plastics, which progressively restricts the use of fossil-derived polymers in disposable products. In this sense, bioplastics are not merely a technological innovation but also a regulatory instrument for achieving European objectives of climate neutrality and waste reduction (Conca et al.; Anes García et al. 2018a, 2019; Liu et al. 2019).

Within this category, PHAs stand out as a rapidly expanding subgroup. Although they currently account for only 6–7% of the total bioplastics volume, their annual growth rate is close to 10%, outpacing other bio-based polymers such as polylactic acid (PLA) or thermoplastic starch blends. This advantage derives from their dual nature: PHAs are 100% bio-based and, simultaneously, fully biodegradable under industrial composting conditions, in soils, and in aquatic environments. This positions them distinctly against other bio-based but non-biodegradable polymers (e.g. bio-PE or bio-PET).

The growing interest in PHAs reflects the convergence of three factors: (i) regulatory and societal pressure to reduce dependence on fossil carbon and to minimise the dispersion of microplastics, (ii) the consolidation of a European political framework favouring the circular bioeconomy, and (iii) advances in biotechnology that integrate agro-industrial and urban residues as substrates for PHA production. In this regard, PHAs represent not only a rapidly expanding market segment but also a paradigmatic case of technological innovation for sustainability,

bridging industrial development with resource efficiency and environmental protection.

4.2. PRODUCTIVITY AND INTRACELLULAR ACCUMULATION ACROSS PRODUCING STRAINS

Comparative assessment of bacterial strains reveals differentiated behaviour depending on taxonomic group, cultivation conditions, and associated technological requirements. Among the most extensively studied, *Cupriavidus necator* and recombinant *Escherichia coli* remain at the forefront of PHA production. Both have achieved volumetric productivities exceeding $4\text{ g L}^{-1}\text{ h}^{-1}$ and intracellular polymer contents in the range of 80–85% w/w, placing them among the most efficient candidates for industrial-scale applications. These results stem from their rapid growth rates, high intracellular granule accumulation capacity, and, in the case of *E. coli*, the genetic flexibility afforded by metabolic engineering (Liao et al. 2018; Vázquez-Fernández et al. 2022; Guo et al. 2024; Ahuja et al. 2024).

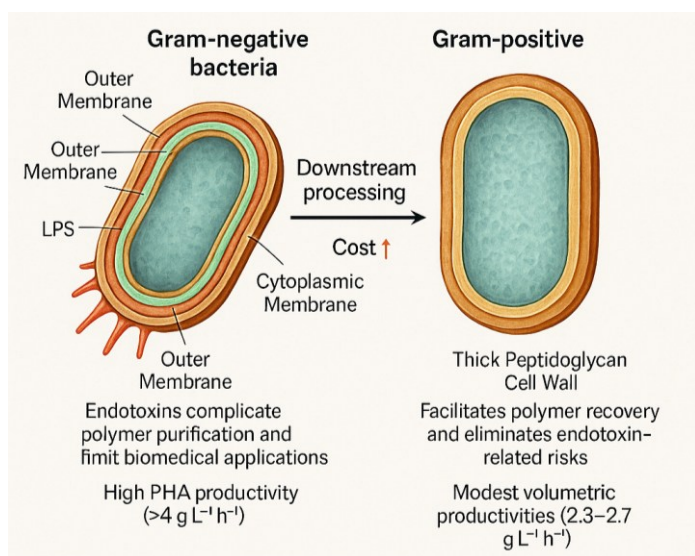
TABLE 1. *Comparative production and technological parameters in selected bacterial strains*

Strain	Group	Productivity ($\text{g L}^{-1}\text{ h}^{-1}$)	Intracellular content (% w/w)	Main advantages	Limitations
<i>Cupriavidus necator</i>	Gram–	4.2–4.5	80–85	High productivity	Costly purification (endotoxins)
Recombinant <i>E. coli</i>	Gram–	4.1–4.3	82–84	Genetic flexibility	Endotoxins; genetic stability issues
<i>Halomonas</i> sp.	Halophilic	2.5–3.0	60–70	No sterility required	Moderate productivity
<i>Bacillus megaterium</i>	Gram+	2.3–2.7	65–72	Easy extraction; no endotoxins	Sporulation under stress

Despite their high productivity, *C. necator* and *E. coli* are hindered by a major technical limitation: the presence of lipopolysaccharides (LPS) in their outer membrane, which act as endotoxins. Their presence complicates purification, particularly for medical and pharmaceutical applications where complete elimination of immunogenic components is

required. This factor significantly increases downstream processing costs, which may account for over 40% of total production expenditure when Gram-negative strains are employed (Conca et al.; Kumar et al. 2018; Anes García et al. 2019).

FIGURE 1. Structural differences between Gram-negative and Gram-positive bacteria relevant to PHA downstream processing. Gram-negative strains such as *Cupriavidus necator* and recombinant *Escherichia coli* exhibit high productivity ($>4 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $>80 \% \text{ w/w}$), but the presence of lipopolysaccharides (LPS) in the outer membrane complicates purification and restricts biomedical applications. In contrast, Gram-positive strains such as *Bacillus megaterium* lack LPS and possess a thick peptidoglycan cell wall, which facilitates polymer recovery and eliminates endotoxin-related risks, although volumetric productivities are more modest ($2.3\text{--}2.7 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$).



Source: Authors' elaboration

By contrast, Gram-positive strains such as *Bacillus megaterium* exhibit more modest performance ($2.3\text{--}2.7 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $65\text{--}72\% \text{ w/w}$), but offer a critical advantage: the absence of endotoxins. This feature greatly simplifies extraction and reduces the need for costly purification steps, rendering *Bacillus* particularly promising for high-value applications in biomedicine and food-contact materials. Nevertheless, their tendency to sporulate under stress imposes constraints on long-term stability and presents challenges for continuous culture systems (Guo et al. 2024).

Halophilic strains such as *Halomonas* sp. represent an intermediate case, with productivities of 2.5–3.0 g L⁻¹ h⁻¹ and intracellular contents of 60–70% w/w. Their main advantage lies in their ability to thrive in highly saline media, eliminating the need for sterilisation and significantly reducing operational costs. Furthermore, osmotic lysis under hypo-saline conditions facilitates polymer recovery, lowering the energy demand of extraction. However, their reduced productivity compared with *C. necator* necessitates intensification strategies, either through optimised bioreactor design or by employing mixed microbial consortia (Lera et al. 2024).

Overall, these results underscore that no single strain simultaneously satisfies the criteria of high productivity, low purification cost, and industrial stability. Selection is therefore contingent upon the intended application niche: while *C. necator* and *E. coli* are favoured in large-scale processes prioritising productivity, *Bacillus* and *Halomonas* are more suitable where operational cost, extraction simplicity, or endotoxin absence are decisive.

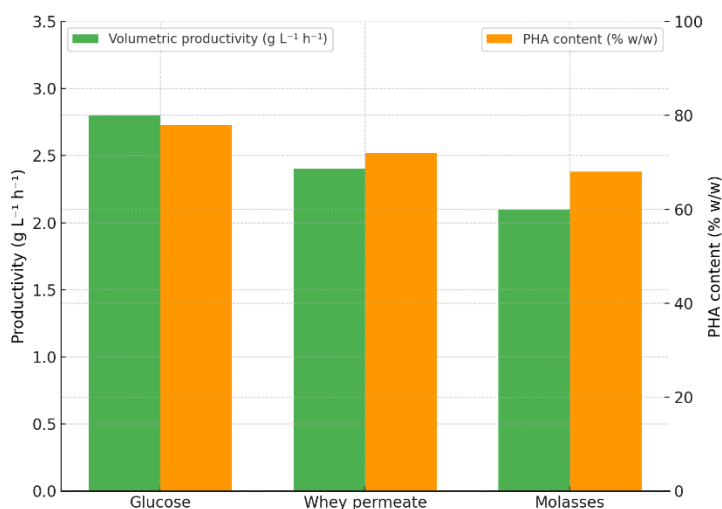
4.3. WASTE VALORISATION AS A COST-REDUCTION STRATEGY

The use of agro-industrial residues as substrates emerged as one of the most effective strategies for lowering the costs of PHA production. Compared with conventional feedstocks such as glucose or refined vegetable oils, which typically exceed €0.70/kg, the incorporation of low-value by-products reduced the carbon feed cost to approximately €0.25/kg for whey and molasses. This translated directly into an estimated final production cost of ≈€2.2/kg, approaching the commercial competitiveness threshold (<€2/kg) relative to fossil-based polymers (Anes García et al. 2021).

In assays using sugarcane molasses, volumetric productivity was slightly reduced (≈2.1 g L⁻¹ h⁻¹) compared with glucose, likely due to the presence of secondary compounds (salts, minerals, phenolics) that slow growth kinetics. Nonetheless, intracellular PHA content remained high (65–70% w/w), indicating that polymer synthesis pathways were not inhibited, though cell growth was moderated (Conca et al.; Mineo et al., 2025b; Wang et al. 2016; Liu et al. 2019).

By contrast, whey-based cultures proved particularly favourable. Volumetric productivity reached $2.4 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$, exceeding that of molasses. Whey, rich in lactose and containing minor proteins and minerals, functioned as an efficient, readily metabolised substrate, yielding higher productivity per unit of carbon consumed. Operationally, whey use also reduced steam demand by $\approx 15\%$, due to diminished pre-sterilisation requirements and its relative microbiological stability.

FIGURE 2. Evolution of volumetric productivity and intracellular PHA content in cultures using glucose, whey, and molasses. Although productivity decreases slightly when agro-industrial residues are used, the reduction in substrate cost compensates, bringing final polymer costs closer to commercial competitiveness



Source: Authors' elaboration

Beyond single-stream residues, mixed waste inputs were explored to balance C/N ratios and to modulate polymer monomer composition. In particular, combining whey with volatile fatty acid-rich effluents produced copolymers with a higher molar fraction of 3-hydroxyvalerate (3HV), conferring enhanced mechanical properties (greater elasticity and impact resistance) compared with poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) homopolymer (Anes García et al. 2018a; Liu et al. 2019).

These findings demonstrate that residue valorisation not only reduces production costs but also contributes to the circularity of agro-food systems

by transforming abundant waste streams into high-value materials. Incorporating residues into PHA production chains also enables diversification of polymer composition, tailoring properties to specific application niches and thereby expanding competitiveness with fossil-derived plastics.

4.4. CONSOLIDATED AND EMERGING APPLICATIONS

Mechanical characterisation of polymers obtained from *Bacillus megaterium* and *Halomonas* sp. demonstrated tensile strengths and elongations at break within the ranges reported for commercial polymers such as polypropylene (PP). Although their elastic moduli were slightly lower than those of PP, the combination of intermediate strength and complete biodegradability constitutes a distinguishing advantage over conventional plastics. These results support their use in high-volume, short-life-time applications such as agricultural films, compostable bags, flexible packaging, and paper coatings (Lera et al. 2024; Mineo et al. 2025a).

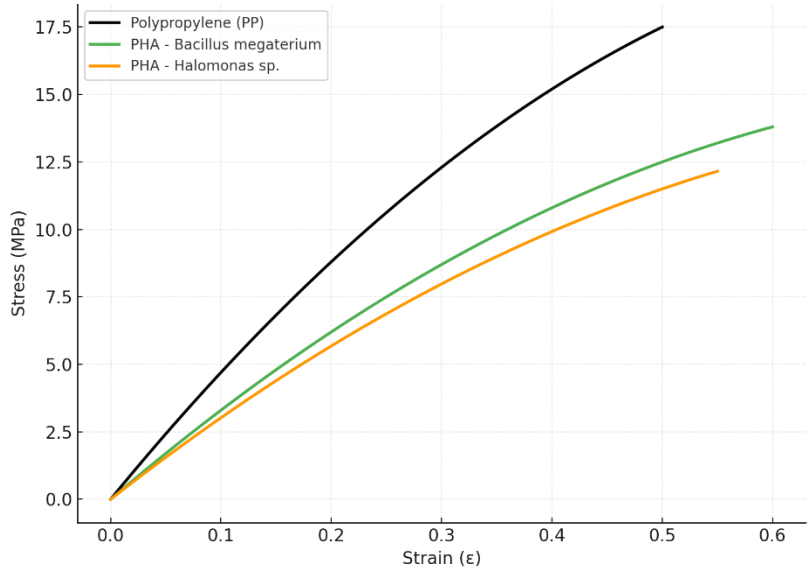
This potential is reinforced by European regulatory pressure driving the substitution of single-use plastics with bio-based, biodegradable alternatives. In this context, PHAs hold a critical advantage: complete biodegradability in composting facilities as well as in aquatic and marine environments. This contrasts with other biopolymers such as PLA, whose degradation requires stringent temperature and humidity conditions. Accordingly, the results obtained with *Bacillus* and *Halomonas* not only confirm the technological viability of their polymers but also position them as preferred options in regulated markets where environmental traceability is decisive.

In the biomedical field, polymers derived from *C. necator* exhibited favourable biocompatibility profiles in in vitro cytotoxicity assays, with cell viability reductions of <10% after 72 hours of exposure. These findings support their potential in temporary medical devices, including absorbable sutures, surgical meshes, nerve guidance conduits, and scaffolds for tissue regeneration. Their advantage lies not only in biodegradability but also in the capacity to tailor mechanical and degradation properties by modulating the molar fraction of different monomers (e.g. 3-hydroxyvalerate, 4-hydroxybutyrate). This capacity enables the

design of customised materials with degradation kinetics matched to target tissue (Liu et al. 2019)s.

The intrinsic absence of LPS in Gram-positive strains strengthens this line of application, as the resulting polymers are naturally free of endotoxins, thereby lowering the risk of adverse immune responses. This is a critical factor for clinical translation, as it minimises additional purification steps and reduces costs associated with the production of medical-grade biomaterials (Liu et al. 2019; Anes García et al. 2021).

Figure 3. Stress–strain profiles of polymers obtained in experimental assays compared with commercial polypropylene (PP). PHAs produced by *Bacillus megaterium* exhibited intermediate mechanical values, sufficient for flexible packaging and agricultural film applications.



Source: Authors' elaboration

Finally, market differentiation emerges as a strategic axis for the expansion of PHAs. While high-volume applications in packaging and agriculture hinge upon reaching cost competitiveness (<€2/kg), biomedical applications justify current production despite elevated costs, owing to their high added value and stringent regulatory requirements that PHAs are uniquely equipped to meet. This duality—between mass-

market products and specialised, high-value applications—constitutes a key driver of sector consolidation and raises the prospect that biomedical advances may serve as a technological springboard towards large-scale markets.

5. DISCUSSION

The results presented above provide a multifaceted view of the opportunities and constraints surrounding the industrial deployment of polyhydroxyalkanoates (PHAs). By combining market analysis, microbiological performance data, and techno-economic assessments, it becomes clear that PHAs occupy a unique position at the intersection of biotechnology and sustainability policy. Yet, despite their promise as fully bio-based and biodegradable polymers, their pathway to widespread adoption remains shaped by critical challenges. Among these, economic feasibility emerges as the most pressing bottleneck, influencing not only the competitiveness of PHAs with respect to fossil-derived plastics but also the scalability of emerging production strategies.

5.1. THE ECONOMIC CHALLENGE AS A BOTTLENECK

Despite significant advances in research and the growing attention that polyhydroxyalkanoates (PHAs) have garnered within the bioeconomy, the findings presented here confirm that the principal barrier to their industrial and commercial consolidation remains economic. At present, the cost of PHA production lies in the range of €2.2–3 per kg, meaning that the price of these biopolymers is approximately double that of polypropylene (PP) and other conventional petroleum-derived plastics, whose production costs remain below €1 per kg due to highly optimised supply chains supported by more than half a century of petrochemical investment (Liu et al. 2019; Anes García et al. 2021).

This price differential is not solely a reflection of microbial productivity. Although strains such as *Cupriavidus necator* and recombinant *Escherichia coli* achieve synthesis rates above 4 g L⁻¹ h⁻¹ and intracellular accumulations exceeding 80% w/w, the economic burden of the process lies not only in biosynthesis. Critical stages such as medium

sterilisation, prolonged agitation and aeration, cell disruption, and polymer purification account for 30–50% of total production costs (Vázquez-Fernández et al. 2022; Ahuja et al. 2024). These steps are not only energy intensive but also demand complex infrastructure and solvents that inflate downstream processing expenses.

Comparative analysis reveals that, whereas cost reductions in traditional petrochemistry were achieved primarily through economies of scale, the path forward for PHAs must be technological and biological: optimising strains and processes to reduce energy consumption, eliminate unnecessary stages, and exploit waste streams as feedstocks. Thus, the solution to the economic bottleneck will not be found in scale-up alone, but rather in a fundamental rethinking of how biopolymer production plants are conceived and operated.

5.2. STRAIN SELECTION: ADVANTAGES, LIMITATIONS, AND PROSPECTS

The study of different bacterial strains confirms that no single microorganism fully satisfies the criteria required for competitive PHA production. Gram-negative strains such as *C. necator* and recombinant *E. coli* remain the most extensively studied models and have demonstrated exceptional productivity, with synthesis rates above $4 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ and intracellular accumulations reaching 85% of cell dry weight. These figures rival those of high-performance industrial processes (Kumar et al. 2018; Vázquez-Fernández et al. 2022; Lera et al. 2024; Ahuja et al. 2024). Yet their cell structure presents a critical drawback: the presence of lipopolysaccharides (LPS) in the outer membrane generates endotoxins that must be removed for medical, food, or pharmaceutical use. Consequently, polymer purification becomes an expensive stage, both economically and environmentally, requiring solvents, additional treatments, and further energy inputs.

At the opposite end of the spectrum, Gram-positive strains such as *Bacillus megaterium* achieve more modest productivities ($2.3\text{--}2.7 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and intracellular accumulations of 65–72% w/w, but they offer a strategic and irreplaceable advantage: the absence of LPS, and therefore of endotoxins, in the final polymer. This characteristic renders *Bacillus* particularly suitable for the biomedical and food industries, where

material safety and purity carry greater weight than direct cost (Moretto et al. 2020). However, their propensity to sporulate under stress introduces an additional challenge in prolonged cultivation systems, undermining the stability of continuous processes and necessitating specific adjustments in reactor design and operational regimes.

Halophilic strains such as *Halomonas* sp. occupy an intermediate position with important industrial implications. While their average productivity ($2.5\text{--}3\text{ g L}^{-1}\text{ h}^{-1}$) is lower than that of *C. necator*, they confer two highly relevant advantages: (i) the ability to grow in saline media, obviating the need for sterilisation and thereby substantially reducing operating costs, and (ii) the facilitation of polymer recovery through osmotic lysis induced by changes in salinity. Both features lower operating expenditures (OPEX) and simplify the design of large-scale plants. Nonetheless, for *Halomonas* to compete with high-productivity strains, performance must be intensified through improved fed-batch cultivation design, the use of microbial consortia, or metabolic engineering directed at enhancing intracellular accumulation (Liao et al. 2018, [CSL STYLE ERROR: reference with no printed form.]).

Taken together, these findings underscore the necessity of a dual strategy in strain selection: harnessing the high yields of Gram-negative bacteria in applications where cost is paramount, while relying on Gram-positive or halophilic strains in sectors where purity, ease of extraction, or low operational costs are decisive. The future of PHA production will depend on the capacity to integrate these strengths within a unified biotechnological framework.

5.3. WASTE VALORISATION: A CATALYST FOR COMPETITIVENESS

One of the most consistent findings of this study is that the valorisation of agro-industrial residues constitutes a central axis in reducing PHA production costs and moving closer to competitiveness with fossil plastics. Results obtained with whey and molasses demonstrate that it is possible to achieve volumetric productivities of $2.1\text{--}2.4\text{ g L}^{-1}\text{ h}^{-1}$ and intracellular contents of 65–72% w/w, comparable to those obtained with glucose, but at a substrate cost reduced to €0.25/kg compared with >€0.70/kg for pure sugars (Kumar et al. 2018; Anes García et al. 2018a; Guo et al. 2024).

The economic impact of this substitution translated into an estimated final polymer cost of $\approx$ €2.2/kg, a figure very close to the commercial competitiveness threshold (<€2/kg). Beyond cost reduction, waste utilisation offers additional benefits: the valorisation of low-value by-products from the dairy industry (e.g. whey) or the sugar industry (e.g. molasses) enhances process sustainability and closes material loops in line with the principles of the circular economy (Anes García et al. 2021; Ahuja et al. 2024).

The results also indicate that the chemical composition of residues influences process kinetics. In the case of molasses, oligomers and secondary compounds slowed cell growth but did not significantly impair polymer accumulation. In contrast, whey, rich in lactose, supported higher productivity and reduced energy demand by minimising the need for pre-sterilisation. These observations pave the way for strategies involving mixed waste streams, where combining residues can simultaneously lower costs and modulate the monomer composition of PHAs. Notably, the addition of volatile fatty acids derived from fermented effluents increased the 3-hydroxyvalerate (3HV) fraction, thereby improving the flexibility and impact resistance of the resulting material (Anes García et al. 2021).

Accordingly, waste valorisation should not be regarded merely as a cost-saving strategy but as a biotechnological tool for designing bespoke materials with properties tailored to specific application niches.

5.4. DIFFERENTIATED APPLICATIONS: BETWEEN HIGH-VALUE NICHEs AND MASS MARKETS

The application of the results confirms a dual market strategy for PHAs. On one side, high-value niches such as the biomedical sector provide immediate consolidation opportunities. Polymers derived from *C. necator* exhibited favourable biocompatibility in in vitro cytotoxicity assays, while those obtained from Gram-positive strains were naturally free of endotoxins. This combination renders them particularly suitable for applications such as resorbable sutures, temporary implants, nerve conduits, and scaffolds for tissue engineering, where elevated prices do

not present insurmountable obstacles relative to safety and clinical efficacy (Wang et al. 2016).

On the other side, mechanical testing of polymers derived from *B. megaterium* and *Halomonas* sp. confirmed that their properties—tensile strength and elongation at break—fell within ranges compatible with flexible packaging, agricultural films, and compostable paper coatings (Liu et al. 2019; Lera et al. 2024). Although their performance does not fully match that of polypropylene, the complete biodegradability of PHAs under composting and marine conditions provides them with an indisputable regulatory advantage. This attribute is particularly salient in the European context, where Directive (EU) 2019/904 on single-use plastics is driving the transition towards compostable materials.

The duality between medical and large-scale applications thus represents an evolutionary trajectory for PHA expansion: consolidation first within specialised, high-value niches, where intrinsic properties justify current costs, followed by expansion into mass markets through cost reduction achieved via waste valorisation and biotechnological optimisation. This staged strategy not only aligns with economic feasibility but also resonates with the broader goals of the European Union in achieving sustainability and climate neutrality (Anes García et al. 2018b; Mineo et al. 2025b).

6. CONCLUSIONS

The findings of this study demonstrate that the expansion of polyhydroxyalkanoates (PHAs) is closely aligned with the strategic objectives of the European Union in the fields of sustainability, climate neutrality, and plastic waste reduction. The ability of PHAs to replace fossil-derived plastics in critical applications, coupled with their complete biodegradability under both industrial composting and natural environmental conditions, positions them as a paradigmatic example of biomaterials serving the circular economy. In this sense, the development of PHA production technologies responds not only to an industrial demand but also to an environmental and regulatory imperative.

The analysis confirms that optimisation in strain selection and the valorisation of agro-industrial waste streams represent the most promising strategies to reduce production costs and bring PHAs closer to competitiveness with conventional polymers. Strains such as *Cupriavidus necator* and recombinant *E. coli* exhibit high productivities, yet their exploitation is constrained by costly purification steps associated with endotoxin removal. In contrast, Gram-positive strains such as *Bacillus megaterium* and halophilic species such as *Halomonas* sp. provide significant operational advantages. When combined with the use of low-cost substrates such as whey or molasses, these strains enable final production costs to approach the commercial threshold (<€2/kg). Beyond improving economic viability, waste valorisation also contributes to material circularity and reinforces the logic of the circular economy.

In the short term, the consolidation of PHAs will be sustained by high-value niches, particularly in the biomedical sector, where biocompatibility, the absence of endotoxins, and the capacity to design polymers with tailored properties justify their current price. Applications such as resorbable sutures, nerve conduits, and tissue-engineering scaffolds are already supported by experimental and regulatory validation, providing a market capable of sustaining the initial scale-up of production.

In the medium term, the combination of biotechnological advances, process optimisation, and regulatory pressure within the European Union will serve as the driving force for expanding PHA use into high-volume markets, including flexible packaging, agricultural films, and compostable coatings. The convergence of technological innovation and public policy is likely to accelerate the transition of PHAs from niche products to mainstream alternatives to fossil-based plastics, making a decisive contribution to the shift towards a sustainable and circular bioeconomy.

7. REFERENCES

- Ahuja V, Singh PK, Mahata C, et al (2024) A review on microbes mediated resource recovery and bioplastic (polyhydroxyalkanoates) production from wastewater. *Microb. Cell Fact.* 23
- Anes García N, Blanco Álvarez F, Marqués Sierra AL (2018a) Circular Economy in the Manufacture of Bioplastics: From Sewage Sludge to Plastic Bottle. *MDPI AG*, p 1425

- Anes García N, Blanco Álvarez F, Marqués Sierra AL (2021) Use of Waste Generated during the Manufacture of Bioplastics from Sewage Sludge. *MDPI AG*, p 5
- Anes García N, Blanco Álvarez F, Marqués Sierra AL (2019) *Use of waste generated during the manufacture of bioplastics from sewage sludge*. In: Bioenergy in Portugal International Conference
- Anes García N, Blanco F, MarquesSierra AL (2018b) Circular economy in the manufacture of bioplastics. From sewage sludge to plastic bottle. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7893188>
- Conca V, Da Ros C, Frison N, et al WWTP biorefinery for polyhydroxyalkanoates (PHAs) recovery from cellulosic primary sludge
- Crutchik D, Franchi O, Caminos L, et al (2020) Polyhydroxyalkanoates (PHAs) production: A feasible economic option for the treatment of sewage sludge in municipalwastewater treatment plants? *Water (Switzerland)* 12:.. <https://doi.org/10.3390/W12041118>
- Gracia J, Montenegro C, Moreno N, Cabeza I (2023) Production of Polyhydroxyalkanoates using Volatile Fatty Acids from Municipal Wastewater Treatment Plant Sludge. *Chem Eng Trans* 100:559–564. <https://doi.org/10.3303/CET23100094>
- Guo R, Cen X, Ni BJ, Zheng M (2024) Bioplastic polyhydroxyalkanoate conversion in waste activated sludge. *J. Environ. Manage.* 370
- Kumar M, Ghosh P, Khosla K, Thakur IS (2018) Recovery of polyhydroxyalkanoates from municipal secondary wastewater sludge. *Bioresour Technol* 255:111–115. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.031>
- Lera M, Ferrer JF, Borrás L, et al (2024) Bioplastic's Valorisation by Anaerobic Co-Digestion with WWTP Mixed Sludge. *Water (Switzerland)* 16:.. <https://doi.org/10.3390/w16223293>
- Liao Q, Guo L, Ran Y, et al (2018) Optimization of polyhydroxyalkanoates (PHA) synthesis with heat pretreated waste sludge. *Waste Manag* 82:15–25. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.019>
- Liu F, Li J, Zhang XL (2019) Bioplastic production from wastewater sludge and application. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing
- Mineo A, Eugenia Suárez-Ojeda M, Mannina G Effect of organic loading rate on the production of Polyhydroxyalkanoates 2 from sewage sludge 3 4 Laura Isern-Cazorla
- Mineo A, van Loosdrecht MMC, Mannina G (2025a) From waste activated sludge to polyhydroxyalkanoate: Insights from a membrane-based enrichment process. *Chem Eng J* 506:.. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.160089>

- Mineo A, van Loosdrecht MMC, Mannina G (2025b) Comparing two advanced selection strategies for polyhydroxyalkanoate production from domestic waste activated sludge. *Chem Eng J* 513:. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.163046>
- Moretto G, Russo I, Bolzonella D, et al (2020) An urban biorefinery for food waste and biological sludge conversion into polyhydroxyalkanoates and biogas. *Water Res* 170:. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115371>
- Vázquez-Fernández A, Suárez-Ojeda ME, Carrera J (2022) Review about bioproduction of Volatile Fatty Acids from wastes and wastewaters: Influence of operating conditions and organic composition of the substrate. *J Environ Chem Eng* 10:. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107917>
- Wang Q, Sun J, Zhang C, et al (2016) Polyhydroxyalkanoates in waste activated sludge enhances anaerobic methane production through improving biochemical methane potential instead of hydrolysis rate. *Sci Rep* 6:. <https://doi.org/10.1038/srep19713>

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE PELICULAS COMESTIBLES A BASE DE HARINA DE TRITICALE

TOMÁS GALICIA GARCÍA
Universidad Autónoma de Chihuahua

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan muchas de las ciudades en el mundo son en cuanto al manejo de residuos sólidos urbanos, en México se reporta la generación de hasta 120 mil toneladas (ton) de las cuales 12% son plástico (14 mil ton/día) de las cuales hasta el 50% están constituidas por empaques primarios, representando un total de 6700 ton/ día (ANIPAC, 2020).

Los embalajes son definidos en base a su función, así como su nivel de protección. Por lo que un embalaje primario es aquel que está en contacto directo con el alimento como el caso de los envoltorios y paquelines que protegen al alimento del ambiente. Mientras que el embalaje secundario es aquel que engloba a varios empaques primarios, como es el caso de una caja de cartón que contiene varios paquetines o envoltorios en su interior. El embalaje terciario agruparía a varios secundarios con la finalidad de realizar su transporte y almacenamiento, como sucede en el paletizado en la industria (ISO, 2011).

Hoy en día emerge la investigación sobre fuentes naturales para el desarrollo de películas biodegradables debido a la baja degradabilidad que presentan los envases comerciales elaborados a partir de resinas sintéticas. Estos estudios se han centrado principalmente en el desarrollo de películas para evaluar las principales características deseadas de estos materiales, tales como alta resistencia mecánica, suavidad, ligereza, resistencia al agua, etc. Las principales alternativas a plásticos, que han sido ampliamente estudiados son los biopolímeros incluyendo

polisacáridos, proteínas y lípidos (Borneo et al., 2016). La producción de materiales biodegradables y las películas comestibles basados en carbohidratos y proteínas agregan valor a las materias primas de bajo costo y puede desempeñar un papel importante en la conservación de alimentos (Avérous et al., 2001). Los materiales de empaque a base de polímeros naturales son hoy en día ampliamente estudiados para el desarrollo de materiales que pueden ser utilizados en alimentos (Arcan et al., 2011). Estos polímeros se aplican en la fabricación de empaques biodegradables, empaques activos, películas comestibles y recubrimientos comestibles sobre frutas, carnes, pescados y otros alimentos, como también en el procesamiento de alimentos para la obtención de estabilizantes y gelificantes (Parzanese, 2010). La película comestible es una matriz preformada, delgada que se aplica directamente al alimento, que puede ser utilizada en forma de recubrimiento o que formará parte de la composición del alimento (Montalvo et al., 2012). Las películas comestibles pueden utilizarse para el envasado individual de pequeñas porciones de alimento, estas pueden prepararse a partir de materiales de proteínas, polisacáridos y lípidos. Las películas comestibles ayudan a mejorar la calidad y extender la vida útil de productos alimenticios (Montalvo et al., 2012) y pueden funcionar como portadores de muchos ingredientes funcionales tales como antioxidantes, agentes antimicrobianos, saborizantes y especias (Zinoviadou et al., 2011).

En la actualidad los materiales a base de polímeros naturales y renovables como polisacáridos, proteínas y lípidos están recibiendo un interés creciente debido a su continua investigación y aplicación en la industria. Estos materiales representan alternativas potenciales para su uso en el envasado de alimentos, como películas a base de aislado de proteína de soya para su aplicación en nueces (Han, 2004), uso de quitosano para su aplicación en carne fresca (Rhim et al., 2006), colágeno hidrolizado y caseinato de sodio para su aplicación en queso (Bourton, 2009). El uso de plastificantes alternativos como el uso de aceites vegetales con quitosano para su uso en fresas (Vargas, 2009), uso de almidón más plastificante para su aplicación en frutas y hortalizas (Arrieta, 2014). Otros ingredientes alternativos son aquellos que provienen de harinas acondicionadas a partir de cultivos agrícolas, en donde se

presenta una mezcla compleja de almidón, proteínas y lípidos con alto potencial para el desarrollo y elaboración de películas comestibles. La harina de Triticale puede considerarse una mezcla natural y por consiguiente una materia prima adecuada para preparar películas comestibles o biodegradables (Borneo et al., 2016).

2. OBJETIVO

Desarrollar y evaluar la funcionalidad de películas comestibles a base de harina de triticale mediante su caracterización fisicoquímica y mecánica.

2. METODOLOGÍA

2.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

2.1.1. Obtención de harina de triticale

El grano se colocó en una tolva del equipo Cleeper (Comaiz, USA) para que mediante su paso a través de dos tamices (2 y 0.5 mm) e inyección de aire, fueran retenidas las impurezas del grano. Una vez el grano limpio se procedió a una molienda en molino de martillo con malla 0.5 mm, posteriormente se tamizó en malla 60 (250 μ m), obteniendo así una harina fina.

2.1.2. Obtención de la película de harina de triticale por el método casting

La obtención de la película se realizó en base en la metodología descrita por Valderrama y Rojas (2014), en donde inicialmente a 50 ml de solución de etanol al 70% v/v, se le agregó la cantidad de harina según el tratamiento en base al diseño experimental. Esta dispersión se mantuvo 15 min a 80°C bajo agitación magnética después se agregó agua caliente a 89°C y se vertió el plastificante, para mantenerse bajo agitación magnética por 10 min a 80°C. Terminados los 10 minutos se vertieron 35 ml de la solución en las placas Petri de 15cm de diámetro cubiertas previamente con tela teflón (para evitar su adherencia) y se colocaron en estufa con circulación de aire a 25°C por 6 horas para su secado. Posteriormente se introdujeron en un desecador, previamente acondicionado con una solución sobresaturada de cloruro de sodio para

obtener una humedad relativa del 55%, por un tiempo no menor a 48 horas para poder ser caracterizadas.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

2.2.1. Color.

En base a la norma ASTM D6290 (ASTM, 2000). Se utilizó un colorímetro (Miniscan XE 45/0-L, EUA). Una muestra representativa de harina de triticale se colocó en caja Petri de laboratorio y posteriormente se cubrió con un vidrio plano transparente de 2 mm de espesor. Se realizaron cinco lecturas (4 extremos y una en el centro), obteniéndose un valor promedio. Con los valores triestímulo registrados L* (luminosidad), a* (tendencia al verde -, o al rojo +) y b* (tendencia al azul -, o al amarillo +) fue determinado ΔE mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E = (\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)^{1/2} \dots\dots\dots (Ec 1)$$

2.2.2. Humedad

Se determinó en base al método 44-15 (AACC, 1983). Una muestra de harina y almidón (2g) fue puesta en contenedores de aluminio (a peso constante), y posteriormente se colocó en una estufa con circulación de aire (Shel L/18, Sheldon Manufacturing Inc. EUA) a 110°C por 1 hora. Una vez transcurrido el tiempo se colocó la muestra en un desecador hasta que enfrió y posteriormente se registró su peso como peso de la muestra seca (m_i). La humedad de la muestra se determinó mediante la diferencia de pesos y la relación con la muestra. El análisis se realizó por triplicado y los resultados se expresaron en porcentaje.

2.2.3. Viscosidad

Este análisis se realizó en base a la metodología reportada por Rodríguez-González et al., (2004) utilizando un reómetro (TA Instrument AR 2000eX, EUA) mediante el cual se realizó un barrido de temperatura bajo las siguientes condiciones: 1) Rampa de temperatura en etapa de calentamiento de 25 a 90°C, a una velocidad de 10°C/min y preagitación de 1 min a 10 1/s. 2) Rampa de temperatura constante a 90°C por un tiempo de 10 min, 3) Rampa de temperatura en etapa de enfriamiento

de 90°C a 25°C, a una velocidad de 10°C/min. Para las tres etapas se mantuvo un esfuerzo oscilante de 50.1 Pa y una frecuencia de 1 Hz, utilizando el dispositivo de geometría de plato con diámetro de 40 mm. Este análisis se realizó por triplicado en cada muestra. Los datos obtenidos fueron graficados en el software TA analysis system (TA instrument, 2015), de los cuales se tomó la viscosidad máxima (Vmáx) en la etapa de calentamiento, viscosidad mínima (Vmin) en la etapa de estabilidad y viscosidad de retrogradación (Vrt) mediante la diferencia de Vmin y la viscosidad máxima en la etapa de enfriamiento. La temperatura de gelatinización (Tgel) fue determinada mediante la proyección al eje Y1 (temperatura) con el patrón de calentamiento de referencia.

2.3. CARACTERIZACIÓN DE LA PELÍCULA COMESTIBLE

2.3.1. Densidad de la película

Este análisis se realizó de acuerdo a la metodología ASTM D792, mediante el uso de una balanza Metler Toledo (3360 GmbH, Suiza), utilizando aceite vegetal comestible como líquido de inmersión. De la película se obtuvieron discos de 30 mm de diámetro y se colocaron en la cápsula superior de la balanza registrando su peso inicial (A), una vez tarada la balanza se retiró el disco de la cápsula superior para ser colocada en la cápsula inferior (inmersa en líquido auxiliar) obteniendo así el valor negativo referente al empuje del sólido (P). La densidad del sólido de prueba se determinó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\rho_s = (A/P) \cdot \rho_o \dots\dots\dots (Ec\ 2)$$

Donde:

- ρ_s = densidad del sólido de prueba (g/cm³)
- A= peso inicial del sólido seco (g)
- P= empuje del sólido en inmersión (g)
- ρ_o = densidad del líquido auxiliar (g/cm³).

2.3.2 Color

Una muestra representativa de cada tratamiento de películas obtenidas por el proceso de casting fue colocada en una caja petri de laboratorio. Se realizaron cinco lecturas (4 extremos y una en el centro), obteniéndose un valor promedio, se utilizó el colorímetro triestímulo, marca Us Listed (Mod CR-410, KONICA MINOLTA SENSING, inc. Japón). Los valores registrados fueron L^* (luminosidad), a^* (tendencia al verde -, o al rojo +) y b^* (tendencia al azul -, o al amarillo +).

2.3.3 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Se realizó de acuerdo la metodología reportada por Andreuccetti et al. (2011). Círculos de 30 mm de diámetro se colocaron en cápsulas plásticas que tendrán en su interior silica gel. La celda sellada se colocó en un desecador con una solución salina saturada de NaCl ($75 \pm 5\%$ humedad relativa). Las celdas se pesaron 2 veces por día durante 4 días. Los experimentos se realizaron por triplicado. La ganancia de peso se graficó contra el tiempo, posterior a lo cual se aplicó una regresión lineal para obtener el coeficiente de la recta, el cual dividido entre el área de exposición, proporciona la velocidad de transmisión de agua (VTA) en $\text{g h}^{-1}\text{m}^{-1}$. Los valores de PVA (expresado en $\text{g m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$) se obtuvieron utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{PVA} = \text{mx} / \text{tAPo } 3600 \text{ (HR1-HR2) } \dots\dots\dots(\text{Ec } 3)$$

Donde:

m/t : coeficiente de la recta (g h^{-1})

x : espesor de la película (m)

A : área de la película expuesta a la permeabilidad (m^2)

Po : presión de vapor de agua a 25°C (Pa)

(HR1-HR2): Gradiente de humedad relativa.

Los valores se expresarán en $\text{g m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$

2.3.4. Propiedades mecánicas

Las películas obtenidas a través del proceso de casting se mantuvieron por 48 h a humedad relativa constante (HR 50%), para posteriormente obtener las probetas. El troquelado se realizó de forma manual para la obtención de probetas tipo IV. Los ensayos se realizaron en equipo Texture Analyzer TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY/Stable MicroSystems, Haslemere, Surrey, UK), de acuerdo con la norma ASTM-D88200 (2000). Mediante la adquisición de datos fueron determinadas las respuestas: resistencia máxima a la tracción ($\sigma_{\text{máx}}$) y alargamiento a la ruptura (ϵ).

2.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se utilizó un diseño central compuesto, considerando como factores la harina de triticale -HT y plastificante -P, así como sus respectivos niveles (HT: 1, 3 y 5g; P: 0.2, 0.3 y 0.4 g/g) dando un total de 9 unidades experimentales para cada diseño, utilizando el paquete estadístico Design Expert v.9.03. (State Ease, 2014), considerando las variables respuesta: solubilidad, densidad aparente, luminosidad (L^*), permeabilidad al vapor de agua (PVA), resistencia máxima a la tracción ($\sigma_{\text{máx}}$) y alargamiento a la ruptura (ϵ). La optimización se realizó en modo gráfico en base a datos técnicos de resinas sintéticas (Rubin, 1998, Baldev, 2004) y polímeros biodegradables (Pushpadass et al., 2009; Galicia-García, 2010). Mediante la superposición de los gráficos de contorno, fue seleccionado el área de interés y los valores optimizados. El resto de los análisis fueron analizados mediante la determinación de su desviación estándar y la prueba de diferencia de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

2.5. APLICACIÓN Y EVALUACIÓN EN FRUTO

La formulación optimizada se aplicó por inmersión en un lote de frutos de aguacate hass por un tiempo individual de 30 s y se secó posteriormente en estufa con circulación de aire forzado a 25°C/12h. Cada lote y su control (sin cobertura) fueron depositados en contenedores de volumen conocido (3.5 L), cerrados y almacenados en cámara oscura a 20°C, hasta su determinación a tiempos establecidos (0, 3 y 6 días). La firmeza de la pulpa se obtuvo utilizando un texturometro TA-XT2i

Texture Analyser (stable Micro System, UK) en base a la metodología reportada por Aguilar (2005).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

La harina de triticale (HT) mostró un contenido de humedad de 7.82% menor al reportado por Aguirre et al. (2013) con 13.26 ± 0.08 y Marciniak et al. (2008) en un rango 13.4 a 14.6% en triticale, y menor al máximo permitido para harinas de trigo de 14% en nuestro país (NMX-F-007-1982, 1982), esta diferencia pudo ser debida a acondicionamientos proporcionados al grano antes y después de su almacenamiento.

En harina de triticale los valores obtenidos de luminosidad (L) (85.96 ± 0.61), tendencia al rojo (+a) 0.94 ± 0.03 y tendencia al amarillo (+b) (10.45 ± 0.26) presentaron diferencia con los obtenidos por Ceglinska et al. (2006) en cinco variedades de triticale (L^* 93 a 94, a^* -0.05 a -0.34 y b^* 6.1 a 7.3), esta tendencia es un indicativo de que la harina se obtuvo de manera integral, lo que le confiere tonalidades distintas a las que se presentan en una harina refinada, que son fácilmente perceptibles en comparación con el estándar (blanco), como se puede corroborar mediante el valor obtenido de ΔE (12.53).

Se obtuvo una viscosidad máxima ($V_{\text{máx}}$) de 55 Pa.s, viscosidad mínima en la etapa de estabilidad (V_{min}) 3 Pa.s, Viscosidad de retrogradación (V_{rt}) de 67 Pa.s y una temperatura de gelatinización (T_{gel}) de 66.5°C. Makowska et al. (2014) reporta un valor de temperatura de gelatinización de 68.35°C en harina de triticale de la variedad Fredro, guardado estrecha relación al obtenido en el presente estudio.

3.2. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, DE BARRERA Y MECÁNICAS EN PELÍCULAS A BASE DE TRITICALE

3.2.1. Solubilidad

Las películas a base de harina de triticale mostraron valores que van del 0.2% al 1.53%. El análisis de regresión de la variable de respuesta de S

fue afectada por la concentración de harina (H) ($p \leq 0.05$). El modelo de predicción para S utilizó las siguientes variables codificadas:

$$S = 0.74 + 1 \times 10^{-2} X_1 + 0.17 X_2 - 0.052 X_1 X_2 + 0.04 X_{12} + 0.032 X_{22} + 0.031 X_{12} X_2 - 0.020 X_1 X_{22}$$

El módulo de predicción explicó el 99.9% de variación total ($p \leq 0.0160$). La Figura 1a muestra el efecto de la interacción plastificante-harina (P-H), en donde los valores mínimos se presentaron a altas concentraciones de P (0.4g/g de harina) y bajas de HT (1g), sin embargo al incrementarse la concentración de H, el valor de S aumentó un 82%, siendo mayor este efecto (88%) al decrecer la concentración de P (0.2g/g de harina), estos valores son menores a los reportados por Valderrama y Rojas (2014) (36%-39%) en películas a base de harina de maíz azul, y presentan relación con la variable respuesta HU, así como con la tendencia reportada por Solano y de Gante (2014) en películas a base harina de maíz azul, en donde una película con mayor humedad presentó una mayor solubilidad. Aguirre et al. (2011) reportan la pérdida de integridad de la película a base de triticales sometida a 24 h en inmersión en agua, este mismo comportamiento se presentó en los tratamientos evaluados, siendo un indicativo de la característica hidrofílica de la película obtenida por el método casting.

Aguirre et al. (2013) reporta que la solubilidad en agua es una propiedad importante de las películas comestibles, ya que generalmente se requiere que sean insolubles en agua y con resistencia a la misma, para películas potencialmente comerciales. Ramos et al. (2012) indican que las películas comestibles que presentan una menor resistencia al agua se relaciona a un mayor PVA, mientras que una alta solubilidad de las películas comestibles puede aparecer como una ventaja para aplicaciones específicas.

3.2.2. Densidad

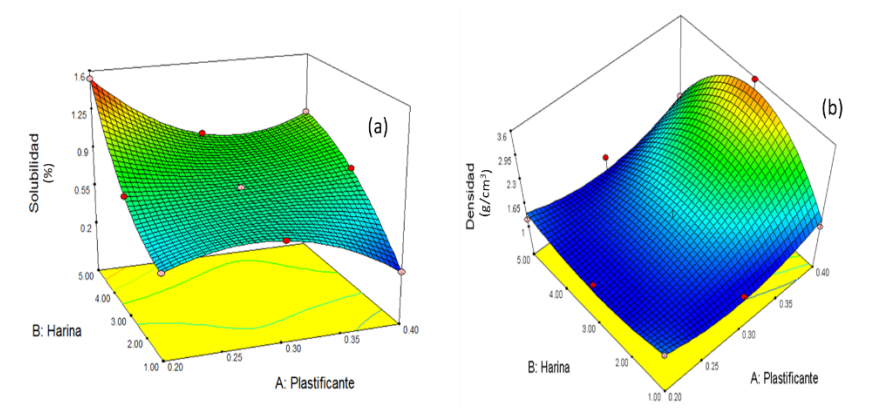
La densidad es una propiedad importante de las películas comestibles ya que tiene repercusión directa sobre las propiedades físicas de esta, una mayor densidad implicaría una menor solubilidad, de igual forma una mayor densidad implicaría una menor permeabilidad. Los valores obtenidos de densidad (ρ) fueron de 1.13 a 3.56 g/cm³. El análisis de

regresión de la variable de respuesta (ρ) fue afectada por la concentración de plastificante (P) ($p \leq 0.05$). El modelo de predicción para ρ utilizó las siguientes variables codificadas:

$$\rho = 1.7 + 1.13 X_1 + 0.49 X_{12} - 0.69 X_{22} - 1.04 X_1 X_{22}$$

El modelo de predicción explicó que el 88.11% de variación total ($p < 0.039$). La Figura 1b muestra el efecto de la interacción plastificante-harina (P-H), en donde los valores máximos se presentaron a altas concentraciones de P (0.4g/g de harina) e intermedias de H (3g), sin embargo, al disminuir la concentración de P (0.2 g/g de harina) el valor de ρ decreció un 63.76%. Estos resultados presentan similitud a los obtenidos por Ramos et al. (2012) de 1.29 g/cm³ en películas formuladas a partir de proteínas de suero utilizando glicerol como plastificante, así como en películas formuladas a partir de quitosano y glicerol como plastificante en donde los valores obtenidos fueron de 1.3 a 1.4 g/cm³ (Singh et al.,2015).

FIGURA 1. Gráficos de superficie de respuesta correspondiente a la variable respuesta: a) Solubilidad (S) y b) Densidad (ρ), y en películas elaboradas a partir de Harina de triticale.



3.2.3. Luminosidad

Los valores obtenidos de L* en películas de harina de triticale (HT) van de 52.72 a 64.5. El análisis de regresión de la variable de respuesta (L),

fue afectada por la concentración de H ($P \leq 0.05$). El modelo de predicción para L utilizó las siguientes variables codificadas:

$$L = 59.69 + 0.52 X_1 - 2.98 X_2 + 1.57 X_1 X_2 - 1.35 X_{12} X_2$$

El modelo de predicción explicó el 87.86% de variación ($p < 0.0406$). La Figura 2a muestra el efecto de la interacción plastificante-harina (P-H), en donde los valores máximos se encuentran a bajas concentraciones de P (0.2g/g harina) y H (1g), sin embargo al incrementar la concentración de H el valor de L^* decreció un 18.26%. Estos valores son menores a los reportados por Borneo et al. (2016) en películas de harina de triticale (84.65), y menores a los reportados para películas de harina de amaranto de 89.97 (Tapia-Blácido et al., 2005). Estas diferencias se deben al método de molienda de la harina y al tratamiento previo del grano a la molienda. Ya que se presentó que a bajas concentraciones de harina y plastificante podemos obtener películas más translúcidas.

Berset, (1989) reportan que el color de la película está directamente relacionado a sus componentes (tipo, naturaleza y concentración del polímero) y es un factor de importancia para el consumidor, ya que puede influir en el aspecto final del alimento como sucede con las coberturas comestibles. Dentro de los parámetros triestímulo a evaluar mediante el análisis de color, la luminosidad (L^*) es un indicativo de la tendencia de negro a blanco en valores ascendentes (0-100), por lo que valores cercanos a 100 se obtendría una película más blanca.

3.2.4. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Los valores obtenidos de permeabilidad al vapor de agua (PVA) en las películas de triticale, fueron desde $2.48 \times 10^{-10} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ hasta $2.63 \times 10^{-9} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. El análisis de regresión de la variable de respuesta (PVA), fue afectada por la concentración de H ($P \leq 0.05$). El modelo de predicción para PVA utilizó las siguientes variables codificadas:

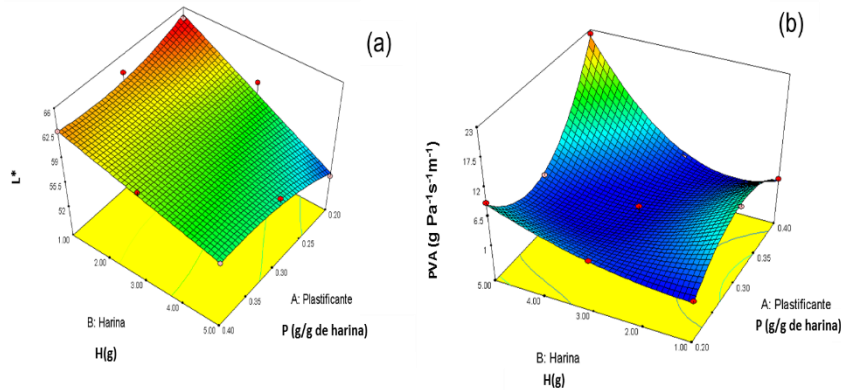
$$\text{PVA} = 1.78 - 2.15 X_2 + 2.97 X_1 X_2 + 1.94 X_{12} + 5.11 X_{22} + 8.76 X_{12} X_2 + 3.43 X_1 X_{22}$$

El modelo de predicción explicó el 98.62 % de variación ($p < 0.0409$). La Figura 2b muestra el efecto de la interacción plastificante-harina (P-

H), en donde los valores mayores se presentaron a altas concentraciones de P (0.4g/g de harina) y H (5g), sin embargo al disminuir la concentración H (1g) el valor de PVA decreció un 86.42% siendo en mayor proporción (90.57%) a valores bajos de P (0.2g/g de harina), estos valores son menores a los reportados por Tapia-Blácido et al. (2002) de $9.3 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$ para películas a base de proteínas de suero y similares ($2.2 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$) a los reportados por Aguirre et al. (2011) en películas a base de proteínas de Triticale, así como a los valores reportados por Borneo et al. (2016) de $2.35 \times 10^{-11} \text{ g Pa}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$, en donde la presencia de plastificante influye en una disminución de las interacciones entre las moléculas del polímero proporcionándole una mayor movilidad a las cadenas poliméricas, incrementando consigo los valores de PVA (Aguirre et al., 2013).

Bourtoom, (2009) indica que las propiedades de barrera en las películas de biopolímeros es uno de los parámetros más importantes para considerar una barrera adecuada en el uso de alimentos y envase de alimentos, por lo que es preferible una mejor barrera contra el vapor de agua ya que se deben mantener bajos niveles de actividad de agua en alimentos con poca humedad para evitar la degradación de la textura y minimizar las reacciones químicas y enzimáticas deteriorantes.

FIGURA 2. Gráficos de superficie de respuesta correspondiente a la variable respuesta a) Luminosidad (L^*), y b) permeabilidad al vapor de agua (PVA), en películas elaboradas a partir de Harina de triticale (H).



3.2.5. Resistencia máxima a la tracción ($\sigma_{\text{máx}}$)

Para la respuesta de resistencia máxima a la tracción ($\sigma_{\text{máx}}$) en películas a base de harina de triticale se obtuvieron valores de 0.58 hasta 22.28 MPa. El análisis de regresión de la variable de respuesta ($\sigma_{\text{máx}}$) fue afectada por la concentración de H $P \leq 0.05$. El modelo de predicción para $\sigma_{\text{máx}}$ utilizó las siguientes variables codificadas:

$$\sigma_{\text{máx}} = 8.19 + 10.36 X - 6.55 X_1 X_2 - 9.85 X_1 X_2 X_2$$

El modelo de predicción explicó el 75.96 % de variación ($p < 0.0525$). En la Figura 3a se muestra el efecto de la interacción plastificante-harina (P-H), en donde los valores mayores se presentaron a altas concentraciones de H (5 g) e intermedios de P (0.3g/g harina), sin embargo, conforme disminuye la concentración de H (1g) el valor de $\sigma_{\text{máx}}$ decreció un 92.95%. Estos valores son similares a los obtenidos por Borneo et al. (2016), Valderrama y Rojas (2014) en películas a base de harina de triticale (2.81 MPa) y de harina de maíz azul (5.34 MPa).

Bourtoom y Chinnan (2008) mencionan que una película biodegradable debe resistir el estrés normal que se produce durante su aplicación y el posterior envío y manipulación de los alimentos para mantener su integridad y propiedades de barrera. Generalmente se requiere una alta resistencia a la tracción, pero los valores de deformación deben ajustarse de acuerdo con la aplicación prevista de las películas. Es decir, si se trata de un material indeformable para proporcionar integridad estructural o reforzar la estructura de los alimentos.

3.2.5. Alargamiento a la ruptura (ϵ)

Para la respuesta de porcentaje de elongación (ϵ) se obtuvieron valores de 2.67 a 45.5%. El análisis de regresión de la variable de respuesta (ϵ) mostró que fue afectada por la concentración de H y P ($p \leq 0.05$). El modelo de predicción para ϵ utilizó las siguientes variables codificadas:

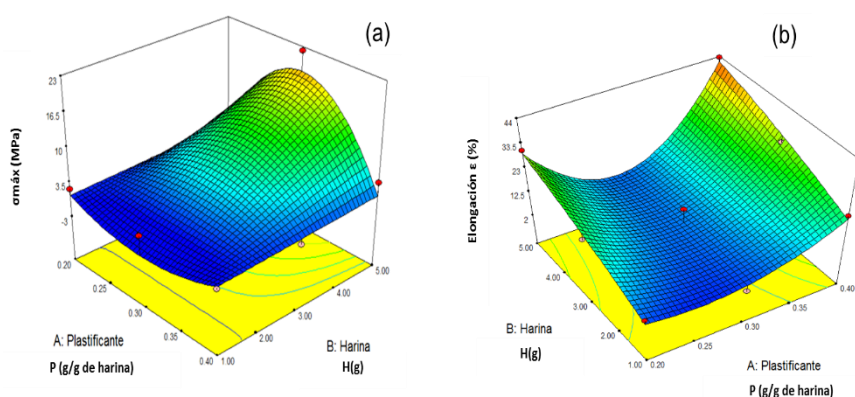
$$\epsilon = 7.03 + 6.28 X_1 + 8.06 X_2 + 17.53 X_1 X_2$$

El modelo de predicción explicó el 84.17 % de variación ($p < 0.0191$). La Figura 3b muestra el efecto de la interacción plastificante-harina P-H, en donde los valores mayores se observaron a altas concentraciones de P

(0.4g/g harina) y H (5g), sin embargo al decrecer la concentración de H el valor de ϵ disminuyó un 53.55%. Estos valores guardan relación a los reportados por Borneo et al. (2016) en películas a base de harina de triticale (34.63%), son menores a los reportados por Tapia-Blacido (2005) en películas a base de harina de amaranto (83.74%) y mayores a los obtenidos por Valderrama y Rojas en películas a base de harina de maíz azul (30%).

Galicia-García (2010) indica que el alargamiento a la ruptura (ϵ) es una indicación de la flexibilidad y extensibilidad de las películas, que se determina en el punto en que la película se rompe bajo prueba de tracción y se expresa como el porcentaje de cambio de la longitud original de la muestra después de ser extendida.

FIGURA 3. Gráficos de superficie de respuesta correspondiente a la variable respuesta: a) Resistencia máxima a la tracción ($\sigma_{\text{máx}}$) y b) Elongación (ϵ), en películas elaboradas a partir de Harina de triticale (H)



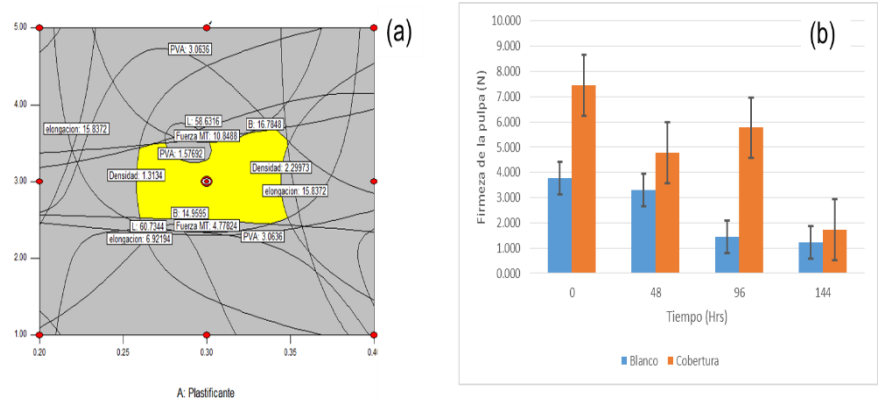
3.2.6. Optimización y aplicación en fruto

Se realizó mediante la técnica de optimización grafica la superposición de los gráficos de contorno mediante el programa estadístico Desing Expert 9 (State-Ease, Inc. 2014). Una vez fijado los contornos, se obtuvo la superficie optimizada y fue seleccionada la parte central, correspondiendo el tratamiento con la formulación de 0.3 g de plastificante y 3 g de harina (Figura 4a). Una vez realizada la formulación optimizada se aplicó en un fruto modelo y se evaluó la firmeza en pulpa por un

tiempo de 2, 4 y 6 d. La firmeza de los frutos disminuyó con el tiempo de almacenamiento tanto en los frutos control como en aquellos recubiertos con las películas (Figura 4b). Los frutos recubiertos con la película presentan una mayor firmeza en comparación con los blancos. Estos resultados son similares a los obtenidos por Aguilar (2005) y Jeong (2001) en recubrimiento de aguacates con películas a base de almidón y tratados con cera respectivamente, y al estudio reportado por Barco et al. (2011) para tomates recubiertos con películas a base de almidón de Yuca, y Xu et al. (2001) para Kiwi recubierto con CMC.

Aguilar et al. (2005) reporta que el ablandamiento de los frutos es atribuido a la degradación de los componentes de la pared celular, debido a la acción de enzimas como la pectinesterasa y poligalacturonasa. Estas modificaciones a nivel celular tienen como consecuencia la pérdida de agua por parte de los tejidos vegetales, lo que se ha determinado como un factor importante en los cambios texturales sufridos por tales productos.

FIGURA 4.- a) Análisis gráfico de optimización y b) Evaluación de la firmeza en fruto



4. CONCLUSIONES

Los tratamientos obtenidos a base de harina de triticale presentaron alta compatibilidad con el plastificante utilizado, permitiendo mediante el método de casting la obtención de películas. Mediante su caracterización se obtuvo un valor máximo de solubilidad de 1.53% y densidad de 3.56

g/cm³, conforme se incrementó la concentración de HT y disminuyó la concentración de P, así como un valor mínimo de L* de 52.72 y PVA de 2.48x 10⁻¹⁰ g Pa⁻¹s⁻¹m⁻¹ en tratamientos con altas concentraciones de P. Dentro de las propiedades mecánicas la resistencia máxima a la tracción (σ_{máx}) presento un máximo de 22.28 MPa y un alargamiento a la ruptura (ε) de 45.5% en tratamientos a concentraciones intermedias de P. La formulación optimizada se obtuvo a una concentración de 0.3 g de plastificante y 3 g de harina.). A las 96 h de almacenamiento los frutos a los que se les aplico el recubrimiento presentaron una mayor firmeza (5.7 N) en comparación con los tratamientos control (1.4 N), incrementando así la vida de anaquel del fruto. El tratamiento optimizado cuenta con un alto potencial en el desarrollo de películas y aplicación en empaque alimenticios, contribuyendo a el impacto negativo de los residuos sólidos plásticos y efectos del cambio climático existente.

5. AGRADECIMIENTOS/APOYOS

Al Programa de desarrollo profesional docente (Prodep) por el apoyo otorgado para la realización del presente proyecto, así como a la beca otorgada al alumno Ángel Hernández. Al Centro de investigación para los recursos naturales (Cirena) por la facilitación del Triticale. Al Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) y Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) por el apoyo en laboratorio para realización de la parte experimental del proyecto.

6. REFERENCIAS

- Aguilar M. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Aguirre, A., Borneo, R., & León, A. E. (2011). Properties of triticale flour protein based films. *LWT - Food Science and Technology*, 44(9), 1853–1858. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.011>
- Aguirre, A., Borneo, R., & León, A. E. (2013). Properties of triticale protein films and their relation to plasticizing-antiplasticizing effects of glycerol and sorbitol. *Industrial Crops and Products*, 50, 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.043>

- Asociación Nacional de Industrias del Plástico-ANIPAC (2020). *Panorama del reciclaje de plásticos en México*. ANIPAC
https://www.anipac.com/documentos/Panorama_del_Reciclaje_de_Plastico.pdf
- American Association Cereal Chemistry International- AACC. (1983). Approved methods of analysis. 8a ed. St. Paul: AACC Internacional. Method 44–10.
- American Standard Testing Materials- ASTM. (2000). Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia, PA. p. 160.
- Andreuccetti, C., Carvalho, R. A., Galicia-García, T., Martínez-Bustos, F., & Grosso, C. R. F. (2011). Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-based edible films. *Journal of Food Engineering*, 103(2), 129–136.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.10.007>
- Arcan, I., Yemenicioglu, A. (2011). Incorporating phenolic compounds opens a new perspective to use zein as flexible bioactive packaging materials. *Food Research International* 44 (2), 550-556.
- Avérous, L., Fringant, C., & Moro, L. (2001). Plasticized starch–cellulose interactions in polysaccharide composites. *Polymer*, 42(15), 6565–6572.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00125-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00125-2)
- Baldev, R., Udaya, S., and Siddaramaiah. (2004). Low density polyethylene/starch blend films for food packing applications. *Advances in Polymer Technology*, 1, 32-54.
- Barco Hernández, P. L., Burbano Delgado, A. C., Mosquera Sánchez, S. A., Villada Castillo, H. S., & Navia Porras, D. P. (2011). Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 96–103.
<http://www.redalyc.org/pdf/695/69522607011.pdf>
- Berset, C. 1989. Color. In: Extrusion Cooking. Mercier C, Linko P, y Harper JM. Eds. American Association Cereal Chemistry, Inc. St. Paul, MN, USA. p. 371-385.
- Borneo, R., & Aguirre, A. (2016). Effect of triticale-based edible coating on muffin quality maintenance during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(1), 88–95.
<https://doi.org/10.1007/s11694-015-9280-1>
- Bourtoom, T. (2009). Edible protein films: Properties enhancement. *International Food Research Journal*, 16(1), 1–9.
- Bourtoom, T., & Chinnan, M. S. (2008). Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film. *LWT - Food Science and Technology*, 41(9), 1633–1641.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.014>

- Ceglinska, A., Cichy, H., Strzelce, H. R., Cacak-Pietrzak, G., Haber, T., & Smuga, W. (2006). Utilization of spring triticale to bread production. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis. Agricultura (Poland)*.
- Galicia-García T. (2010). Obtención y caracterización de películas para bolsas biodegradables, utilizando la tecnología de extrusión termoplástica. Tesis de doctorado. Centro de Investigación y de estudios avanzados del IPN. Querétaro, México.
- Jeong, J., Hubert, D.J. and Sargent, S.A (2001). 1-Methylcyclopropene [1-MCP] delays ripening and extends storage life of “Simmonds” avocado. *Proceedings of the ASHS Annual Conference. HortScience*, 36(4), 325.
- Organización internacional de la Normalización (ISO). (2011). ISO 21067-1. *Packing-Vocabulary-Part 1, General items*. ISO.
- Norma Mexicana.NMX-F-007-1982. Alimento para humanos. Harina de trigo. [En línea]. Disponible en:
<https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-007-1982.PDF>
- Parzanese, M. (2010). Películas y recubrimientos comestibles. *Tecnologías para la industria Alimentaria* [Ficha N7]. Alimentos Argentinos.
- Pushpadass, H., Marx, D., Wehling, R., and Hanna, M. (2009). Extrusión and Characterization of starch film. *Cereal Chemistry*, 86 (1),44-51.
- Ramos, O. L., Silva, S. I., Soares, J. C., Fernandes, J. C., Poças, M. F., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2012). Features and performance of edible films, obtained from whey protein isolate formulated with antimicrobial compounds. *Food Research International*, 45(1), 351–361.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.016>
- Rodriguez-Gonzalez, B.A., Ramsay, B.D F. (2004). Rheological and thermal properties of thermoplastic starch with high glycerol content. *Carbohydrate Polymers*, 58, 39-147.
- Rubin, I. (1998). Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones. Ed. LIMUSA-NORIEGA, 1ª ed. México.D.F.
- Solano, A. C. V., & de Gante, C. R. (2014). Development of biodegradable films based on blue corn flour with potential applications in food packaging. Effects of plasticizers on mechanical, thermal, and microstructural properties of flour films. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 60-66.
- State Ease (2014). Design expert version 9.03. State-Ease, Inc. East 2021 Hennepin Ave., suite 1991. Minneapolis, MN 55413.
- Tapia-Blácido, D., Sobral, P. J., & Menegalli, F. C. (2005). Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Food Engineering*, 67(1–2), 215–223.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.054>

- Valderrama Solano, A. C., & Rojas de Gante, C. (2014). Development of biodegradable films based on blue corn flour with potential applications in food packaging. Effects of plasticizers on mechanical, thermal, and microstructural properties of flour films. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 60–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.015>
- Xu, S., Chen, X., & Sun, D. W. (2001). Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. *Journal of Food Engineering*, 50(4), 211–216. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00022-X)
- Zinoviadou, K. G., Moschakis, T., Kiosseoglou, V., & Biliaderis, C. G. (2011). Impact of emulsifier-polysaccharide interactions on the stability and rheology of stabilised oil-in-water emulsions. *Procedia Food Science*, 1, 57–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.010>

INTEGRACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA VALORACIÓN FINANCIERA: UNA PROPUESTA BASADA EN EL TRABAJO EN EQUIPO

BEATRIZ MARTÍNEZ MARTÍNEZ
*Facultad de Economía
Universidad de Valencia*

JANNY M. NÚÑEZ ALMONTE
*Facultad de Economía
Universidad de Valencia*

ELENA BADAL VALERO
*Facultad de Economía
Universidad de Valencia*

ROSA APARICIO GONZÁLEZ
*Facultad de Economía
Universidad de Valencia*

1. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad se ha convertido en un tema de interés general para toda la sociedad, cambiando la forma de hacer negocios, donde no solo prima el impacto económico que produce una organización sino también su impacto en la sociedad y en el medioambiente (Lozano et al., 2017). Este cambio de paradigma ha redefinido el papel de las finanzas, que tradicionalmente estaban solo enfocadas en la maximización de la rentabilidad económica, ahora se han convertido en un instrumento clave para la transición hacia modelos económicos más sostenibles. La incorporación de criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ASG) en la toma de decisiones financieras no solo permite evaluar el desempeño económico de las organizaciones, sino también considerar su impacto en la sociedad y el medio ambiente, contribuyendo a la creación de valor a largo plazo (Eccles et al., 2014).

La integración de sostenibilidad en las finanzas ha generado nuevas opciones de inversión en los mercados, incluyendo el diseño de productos financieros sostenibles, la inversión socialmente responsable y la evaluación de riesgos derivados del cambio climático. En este sentido, las finanzas sostenibles son un puente para el logro de un desarrollo económico más equitativo y sostenible, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (Naciones Unidas, 2015). La integración de la sostenibilidad en la gestión financiera no es solo una motivación ética, sino también una necesidad estratégica en un contexto marcado por la creciente regulación ambiental y las exigencias de los grupos de interés.

En el ámbito universitario, la formación en finanzas sostenibles resulta fundamental para preparar a los futuros profesionales frente a estos retos. Los estudiantes deben comprender la interrelación entre rentabilidad económica y desempeño sostenible, así como desarrollar competencias para aplicar criterios ASG en la valoración de proyectos de inversión (Wiek et al., 2011). La educación superior debe proporcionar no solo conocimientos técnicos, sino también herramientas prácticas y metodologías que fomenten la conciencia crítica y la toma de decisiones responsables frente a los desafíos globales (UNESCO, 2020). La formación en finanzas sostenibles permite a los alumnos integrar la perspectiva económica con la social y ambiental, promoviendo un enfoque holístico que refleje la complejidad del entorno empresarial contemporáneo.

Para lograr estos objetivos, es necesario implementar metodologías pedagógicas innovadoras que conecten estos aspectos. A través del uso de estudios de caso, simulaciones de proyectos de inversión y análisis de instrumentos financieros sostenibles que faciliten la comprensión de conceptos y la aplicación de conocimientos a situaciones reales. Además, estas estrategias potencian competencias transversales como el trabajo en equipo, la comunicación efectiva, la resolución de problemas y la toma de decisiones éticas, que son esenciales para la formación integral de los profesionales del futuro (Succi & Canovi, 2020).

En este contexto, el aprendizaje cooperativo y transversal se presenta como una herramienta pedagógica adecuada. Esta metodología

fomenta la colaboración entre estudiantes, asignando responsabilidades compartidas y objetivos comunes, lo que contribuye al desarrollo de habilidades sociales y cognitivas (Johnson & Johnson, 2014). La eficacia del aprendizaje cooperativo puede potenciarse mediante la formación de equipos equilibrados según los roles identificados por el test de Belbin (Belbin, 2010). Este instrumento permite asignar a cada integrante un rol específico —social, de acción o mental— asegurando la complementariedad de habilidades dentro del equipo y optimizando la eficiencia y la colaboración.

El test de Belbin permite identificar las fortalezas y debilidades individuales, facilitando la formación de equipos que maximicen la diversidad de capacidades y perspectivas. Esta estrategia no solo mejora la dinámica de trabajo en equipo, sino que también promueve la participación equitativa y el aprendizaje activo (Kimpton & Maynard, 2023). Investigaciones recientes destacan que la asignación de roles complementarios puede incrementar la motivación y el compromiso de los estudiantes, aunque su efecto en el rendimiento académico individual depende de factores como la cohesión del grupo, la claridad de los objetivos y la implicación de cada participante (Bendoly et al., 2015).

En definitiva, la integración de las finanzas sostenibles en la educación universitaria, combinada con metodologías de aprendizaje cooperativo y la aplicación del test de Belbin, constituye una estrategia innovadora y necesaria. Este enfoque permite a los estudiantes no solo adquirir conocimientos técnicos sobre la integración de criterios ASG en la valoración financiera, sino también desarrollar competencias transversales fundamentales, como el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la toma de decisiones éticas. De esta manera, la educación superior contribuye a formar profesionales capaces de liderar procesos de transformación hacia organizaciones más sostenibles, responsables y competitivas, preparados para enfrentar los retos de un mundo empresarial cada vez más complejo y globalizado. La numeración de los apartados y subapartados se hará de forma manual, no se usará la numeración automática. Siga el formato de los ejemplos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Promover el aprendizaje en sostenibilidad en el contexto de la Finanzas Corporativas a través de la asignatura de Teoría de la Inversión del Grado en Administración y Dirección de Empresas (ADE) de la Facultat d'Economia (Universitat de València), mediante la aplicación práctica de conceptos de valoración financiera de proyectos de inversión aplicando los principios de finanzas sostenibles.

2.1.1. Objetivo específicos

- Sensibilizar a los estudiantes sobre la relevancia de la sostenibilidad en la toma de decisiones financieras y en la gestión empresarial.
- Determinar el nivel de conocimiento previo de los estudiantes en materia de sostenibilidad, criterios ASG y finanzas sostenibles.
- Evaluar la capacidad de los estudiantes para integrar conocimientos teóricos y prácticos en la elaboración de proyectos de inversión sostenible.
- Fomentar el trabajo colaborativo y el desarrollo de competencias transversales, como la comunicación, la coordinación y la resolución de problemas, mediante la conformación de grupos equilibrados basados en los roles identificados por el test de Belbin.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para llevar a cabo nuestro objetivo es el Aprendizaje Cooperativo y Transversal, el cual se fundamenta en la premisa de que el aprendizaje se potencia cuando los estudiantes trabajan de manera colaborativa, compartiendo responsabilidades y objetivos comunes. Este enfoque promueve el desarrollo de competencias tanto cognitivas como socioemocionales, facilitando la adquisición de habilidades como la comunicación efectiva, la resolución de problemas y la toma de decisiones

en grupo (Johnson & Johnson, 2014). Además, al integrar contenidos de diversas disciplinas, se favorece una comprensión más completa y aplicada de los conocimientos, alineándose con las demandas de un entorno profesional cada vez más interconectado y multidisciplinario.

La aplicación de esta metodología en el ámbito universitario puede optimizarse mediante la formación de equipos equilibrados, una estrategia que busca asignar a cada miembro del grupo un rol que complemente las fortalezas y debilidades de los demás. El modelo de roles de equipo de Belbin (2010) identifica nueve roles distintos que los individuos pueden asumir en un equipo, agrupados en tres categorías: roles de acción, roles mentales y roles sociales.

Estudios han demostrado que la implementación de equipos equilibrados según los roles de Belbin mejora el rendimiento y la satisfacción de los estudiantes en entornos de aprendizaje colaborativo. Por ejemplo, Aranzabal et al. (2022) encontró que la aplicación de este enfoque en equipos de trabajo universitarios condujo a una mayor eficacia en la resolución de tareas y a una dinámica de grupo más armoniosa. Asimismo, investigaciones previas han señalado que la claridad en los roles dentro del equipo contribuye significativamente al éxito del trabajo colaborativo, al reducir conflictos y mejorar la coordinación (Van de Water et al., 2008).

En resumen, la aplicación del Aprendizaje Cooperativo y Transversal a través de la formación de equipos equilibrados según los roles de Belbin ofrece una estrategia pedagógica robusta que no solo mejora el rendimiento académico de los estudiantes, sino que también los prepara para enfrentar los desafíos de un mundo profesional caracterizado por la colaboración y la diversidad de perspectivas.

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE INNOVACIÓN

3.1.1. Grado y asignatura implicada

La actividad de innovación docente se desarrolló en la asignatura Teoría de la Inversión, perteneciente al grado en Administración y Dirección de Empresas (ADE) de la Facultad de Economía de la Universitat

de València (UV), durante el segundo cuatrimestre del curso académico 2023-2024. La asignatura Teoría de la Inversión (código 35805), con una carga de 6 ECTS, se ofrece en el segundo y tercer curso del grado, respectivamente. Se trata de una materia obligatoria cuyo propósito es dotar al alumnado de los conocimientos y competencias necesarios para evaluar proyectos de inversión productiva en entornos de riesgo.

La experiencia se aplicó en el Grupo GG, impartido en valenciano en horario de tarde. Este grupo está conformado principalmente por estudiantes que trabajan o que, por diversas razones, no pudieron matricularse en los grupos de mañana ni en el grupo de castellano de la tarde. El número total de alumnos matriculados fue de 73, de los cuales aproximadamente un 75% correspondía a primeras matrículas, mientras que el resto se distribuía entre segundas y hasta quintas matrículas.

3.1.2. Fases de la actividad de innovación

Fase 1. Test de conocimiento sobre sostenibilidad

Se diseñó una encuesta inicial sobre sostenibilidad, administrada a través del Aula Virtual antes de comenzar la asignatura. El cuestionario constó de 10 preguntas en escala Likert de 1 a 5, donde 1 representaba totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo. Las preguntas se orientaron a evaluar el nivel de conocimiento, sensibilización y preparación del alumnado en torno a la integración de la sostenibilidad en la gestión financiera y empresarial. Entre los temas abordados se incluyeron:

- el conocimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS);
- la comprensión de los criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ASG);
- la percepción del papel de los mercados financieros en la transición hacia una economía sostenible;
- la importancia de incorporar los riesgos climáticos en la gestión financiera;
- la consideración de los criterios ASG junto con los de rentabilidad, riesgo y liquidez;

- el conocimiento de productos financieros sostenibles y principios de inversión responsable;
- y la visión estratégica de la dirección financiera respecto a la creación de valor sostenible y la integración de los ODS en las decisiones corporativas.

Para reforzar este aprendizaje, al finalizar el Tema 1 se dedicó una sesión específica a la introducción de las Finanzas Sostenibles, en la que se abordaron de forma explícita los contenidos evaluados en la encuesta. Asimismo, a lo largo de la asignatura se integraron casos prácticos y noticias de actualidad en cada tema, vinculados a la sostenibilidad, con el fin de consolidar progresivamente los conocimientos adquiridos.

Finalmente, una vez completado el programa, los estudiantes realizaron nuevamente la encuesta de sostenibilidad, lo que permitió comparar los resultados iniciales y finales, y valorar la mejora en las puntuaciones medias obtenidas.

Fase 2. Valoración de proyecto de inversión integrando los criterios de sostenibilidad

Como parte del objetivo planteado en esta actividad de innovación docente se asignó un trabajo de grupo que puntuaba como parte de la evaluación continua de la asignatura Teoría de la Inversión. Dicho trabajo se compuso de dos actividades: 1) un examen de los temas 1 al 5, con una ponderación máxima de 1 punto, y el trabajo en equipo, también valorado con un máximo de 1 punto. Se les ofrecieron dos modalidades de trabajo:

- *Modelo 1*: análisis comparativo de la rentabilidad y otros indicadores entre empresas cotizadas sostenibles y no sostenibles.
- *Modelo 2*: valoración de proyectos de inversión productivos sostenibles.

Fase 3. Formación de grupos según test de Belbin

Para la conformación de los grupos se utilizó el test de Belbin, con el fin de crear equipos equilibrados en función de los roles identificados en cada estudiante. Este test se compone de una serie de preguntas

diseñadas para evaluar habilidades, fortalezas y debilidades individuales, lo que permite asignar a cada participante un rol predominante dentro del equipo. Según la clasificación de Belbin, los nueve roles de equipo se agrupan en tres categorías:

- Roles sociales (coordinador, cohesionador e investigador de recursos), orientados a las personas y enfocados en la cohesión, la coordinación y el contacto con el exterior.
- Roles de acción (impulsor, implementador y finalizador), centrados en el cumplimiento de las tareas asignadas.
- Roles mentales (cerebro, evaluador y especialista), dirigidos al pensamiento, la innovación y la resolución de problemas.

Una de las características de la formación de grupos equilibrado según Belbin, consiste en que ningún individuo puede desempeñar de manera eficaz todos los roles, por lo que resulta fundamental integrar en cada grupo perfiles diversos que garanticen la complementariedad. La presencia de los tres tipos de roles en cada equipo contribuye a maximizar la eficacia en la consecución de los objetivos propuestos.

En la práctica, se habilitó en el Aula Virtual de la asignatura una tarea específica en la que el alumnado debía cumplimentar el test de Belbin. Cada estudiante recibió como resultado sus tres roles predominantes, entre los cuales uno o dos se identificaron como dominantes. A partir de esta información, se realizó la distribución de los grupos, asegurando que cada equipo contara con representación de los roles sociales, de acción y mentales, de modo que se favoreciera tanto la diversidad de perspectivas como la eficiencia en el trabajo colaborativo.

Los objetivos principales de la actividad buscan medir si el conocimiento sobre sostenibilidad se incrementa después de impartir la asignatura, y analizar si la motivación y los resultados académicos mejoran cuando los grupos de trabajo se forman de manera eficiente mediante el test de Belbin, en comparación con los equipos con-formados libremente por afinidad entre los estudiantes.

4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la encuesta inicial y en la encuesta final:

TABLA 1. *Resultados encuesta sobre sostenibilidad*

	N.º respuestas enviadas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Encuesta INICIAL	49	3,3	3,8	2,4	3,8	3,5	2,6	2,7	3,0	3,8	3,8
Encuesta FINAL	35	4,1	4,4	3,4	4,1	4,1	3,8	3,7	3,7	4,1	4,3

Nota: P1-P10 se refiere a las preguntas 1 a 10 de la encuesta. Los resultados son las medias aritméticas obtenidas en cada una de las preguntas (en la escala de Likert 1 a 5).

Fuente: elaboración propia

El análisis de los resultados de la encuesta sobre sostenibilidad muestra una evolución positiva en prácticamente todas las cuestiones planteadas, reflejando una mejora significativa en el nivel de conocimiento y sensibilización del alumnado. En términos generales, las medias de las respuestas experimentaron un incremento entre la encuesta inicial y la final. Mientras que en la encuesta inicial los valores se situaban en un rango aproximado de 2,4 a 3,8 puntos, en la encuesta final las medias oscilaron entre 3,4 y 4,4 puntos.

Este avance evidencia que los estudiantes no solo incrementaron su conocimiento sobre finanzas sostenibles y criterios ASG, sino que también desarrollaron una mayor percepción de la relevancia de estos aspectos en la gestión empresarial y financiera. Las mejoras más destacadas se aprecian en las preguntas relacionadas con instrumentos y marcos de referencia específicos: la Pregunta 3 (conocimiento de finanzas sostenibles y ratings ASG) pasó de una media de 2,4 a 3,4, lo que supone un incremento notable en un ámbito técnico que inicialmente resultaba menos familiar para los alumnos. De forma similar, la Pregunta 6 (conocimiento de productos financieros sostenibles) aumentó de 2,6 a 3,8, y la Pregunta 7 (conocimiento de los Principios de Inversión Responsable) lo hizo de 2,7 a 3,7. Estos datos reflejan un aprendizaje

significativo en relación con herramientas y prácticas concretas vinculadas a la sostenibilidad financiera.

Por otro lado, las preguntas que en la encuesta inicial ya partían de medias más altas, evidenciando una sensibilización previa del alumnado —como la Pregunta 2, relativa al papel de los mercados financieros, o la Pregunta 4, sobre la incorporación de los riesgos climáticos— también mostraron una mejora, aunque de menor magnitud, alcanzando valores próximos a 4,0–4,4 en la encuesta final. Este resultado confirma que las actitudes favorables hacia la sostenibilidad que ya existían entre los estudiantes se consolidaron y fortalecieron a lo largo del curso.

En cuanto a los resultados del test de Belbin para la formación de equipos de trabajo a cada participante se le asignaron los tres roles predominantes identificados, de los cuales uno o dos resultaron dominantes y prevalecieron en la distribución de equipos. Con base en estos resultados, los alumnos fueron organizados en grupos procurando que en cada uno estuvieran representados los tres tipos de roles definidos por Belbin: de acción, sociales y mentales.

En total, completaron el test 48 estudiantes, conformándose ocho grupos de trabajo con seis integrantes cada uno. Posteriormente, se publicaron las listas con los grupos y se informó a los estudiantes que debían ponerse en contacto entre sí para llevar a cabo el proyecto.

Transcurrido un tiempo, algunos estudiantes notificaron no haber recibido respuesta de sus compañeros asignados a través del test de Belbin y solicitaron la posibilidad de organizar grupos por afinidad. Se autorizó esta opción y, finalmente, se conformaron seis grupos siguiendo la metodología Belbin y dos grupos adicionales formados por afinidad entre compañeros. Estos últimos fueron considerados como grupos de control, con el fin de contrastar si los equipos estructurados con base en la técnica de Belbin mostraban mayor eficiencia, elaboraban trabajos de mayor calidad y obtenían mejores calificaciones.

La evaluación de la actividad se realizó mediante la siguiente rúbrica:

TABLA 2. Rúbrica de evaluación

Criterio	Descripción	Máx. puntos
1. Comprensión y contextualización del tema	Presentación clara del sector o empresa. Explicación del contexto de sostenibilidad y conexión razonada con los ODS.	1,5
2. Análisis técnico y aplicación financiera	Modalidad 1: Análisis riguroso de indicadores (ROA, ROE, EBITDA, etc.) y comparación clara entre empresas sostenibles y no sostenibles. Modalidad 2: Evaluación del proyecto mediante los instrumentos financieros clásicos (VAN, TIR, FNC, etc.).	2,5
3. Uso de datos y herramientas	Organización y claridad en el archivo Excel, gráficos bien contruidos, consistencia entre datos y conclusiones.	1,5
4. Análisis crítico y conclusiones	Diagnóstico razonado y argumentado sobre el impacto de la sostenibilidad en la rentabilidad, con reflexiones fundamentadas.	2

TABLA 2. (Continuación). Rúbrica evaluación

Criterio	Descripción	Máx. puntos
5. Presentación y estructura del informe escrito	Cumplimiento de las normas de formato, estructura coherente (portada, índice, desarrollo), redacción académica, y bibliografía en formato APA (7ª ed.).	1
6. Trabajo en equipo y aportaciones propias	Calidad general del trabajo, coordinación entre integrantes, originalidad o incorporación de apartados adicionales relevantes.	1,5

Fuente: elaboración propia

El objetivo de la rúbrica es evaluar si existe una correspondencia entre el resultado del trabajo en equipo y la nota final del examen de la asignatura, es decir, si los resultados son mejores, tanto en el trabajo como en el examen final, formando equipos eficientes versus “equipos libres”. En la Tabla 3 se muestran los resultados del trabajo en grupo y los resultados obtenidos por los miembros del equipo en el examen final.

El análisis de los resultados obtenidos permite extraer varias conclusiones relevantes acerca de la relación entre el trabajo en grupo, las calificaciones individuales en el examen y el papel desempeñado por la conformación de los equipos mediante el test de Belbin.

TABLA 3. Resultados por grupo de trabajo

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8
Partic.	6	6	5	2	6	5	4	5
Nota Trabajo	3,0	3,0	3,0	5,5	6,5	8,0	9,0	9,5
Media Examen	5,3	5,0	4,5	5,2	4,4	4,3	5,7	5,0
Desv. Est.	1,8	1,4	1,1	3,2	0,9	1,0	2,0	1,1
Nota Máx.	7,2	6,4	5,6	7,5	5,6	6,2	8,5	6,8
Nota Mín.	3,1	3,3	3,1	2,9	2,8	3,5	3,9	4,0
No Pres.	1	2	1	0	0	1	0	0
Notable	1	0	0	1	0	0	1	0
Aprob.	2	2	2	0	2	1	1	2
Susp.	2	2	2	1	4	3	2	3
Obs.	No Belbin				No Belbin			

Nota: Partic. = número de participantes; Desv. Est. = desviación estándar; No Pres. = no presentado; Aprob. = aprobado; Susp. = suspenso; Obs. = observaciones.

Fuente: elaboración propia

En primer lugar, no se observa una relación clara entre la nota obtenida en el trabajo y la mejora de los resultados individuales en la prueba final. Algunos grupos con calificaciones muy altas en el trabajo (como los grupos 6 y 8, con 8 y 9,5 respectivamente) presentan medias modestas en el examen (4,3 y 5,0), acompañadas de un número elevado de suspensos. Por el contrario, otros grupos con valoraciones más bajas en el trabajo (como el grupo 1, con un 3) logran medias similares o incluso superiores en el examen. Estos datos sugieren que el rendimiento grupal no asegura necesariamente una mejora en el rendimiento individual, lo cual coincide con estudios previos que señalan la complejidad de trasladar dinámicas colaborativas al rendimiento académico individual (Johnson & Johnson, 2014).

En cuanto a las notas máximas y mínimas, se aprecia una importante dispersión interna. Incluso en aquellos grupos con trabajos sobresalientes, se registran simultáneamente calificaciones altas y suspensos, lo que refleja que la calidad del trabajo en grupo no garantiza una homogeneidad en los logros personales. La desviación estándar observada en varios casos confirma esta variabilidad entre los estudiantes de un mismo grupo.

Respecto al uso del test de Belbin en la formación de grupos, los resultados no muestran un efecto concluyente sobre las medias de examen ni sobre la reducción de suspensos. Sin embargo, en algunos equipos formados con este criterio se alcanzaron notas máximas más elevadas (como el grupo 7, con un 8,5), lo que podría indicar un aprovechamiento diferencial de las dinámicas colaborativas por parte de ciertos perfiles individuales. Este hallazgo conecta con la literatura que reconoce la utilidad del modelo de roles de equipo para fomentar la complementariedad, pero también sus limitaciones en contextos educativos donde la motivación y el compromiso resultan determinantes (Belbin, 2010; Kimpton & Maynard, 2023).

En síntesis, los resultados ponen de manifiesto que tanto el trabajo grupal como el uso del test de Belbin contribuyen a la adquisición de competencias relacionadas con la colaboración y la organización, pero no se traducen de manera directa en una mejora significativa del rendimiento académico individual, al menos en lo que respecta a los resultados obtenidos en la prueba final.

Cabe destacar que, del total de 73 alumnos matriculados en la asignatura, únicamente 39 realizaron el trabajo en grupo, lo que representa algo más de la mitad. Además, algunos grupos perdieron integrantes durante la elaboración del trabajo, llegando incluso un grupo a contar únicamente con dos participantes. Esta circunstancia se explica porque la evaluación continua puede recuperarse tanto en la primera como en la segunda convocatoria mediante el examen final. En consecuencia, muchos estudiantes optaron por centrarse exclusivamente en preparar dicha prueba, ya que únicamente con el examen final era posible obtener la máxima calificación (un 10) sin necesidad de realizar la evaluación continua.

Los resultados muestran que la actividad de trabajo en grupo ha sido percibida por los estudiantes como una carga excesiva en relación con su peso en la evaluación, ya que únicamente suponía 1 punto sobre 10 en la calificación final. La formación de grupos mediante el test de Belbin no resultó del todo eficiente: la falta de cohesión, motivación e implicación entre los integrantes, que en muchos casos no se conocían previamente ni disponían de canales fluidos de comunicación, impidió generar sinergias positivas. Como consecuencia, los grupos no lograron

ser más eficientes ni aprovechar los potenciales beneficios del trabajo colaborativo, incluso algunos abandonaron la actividad antes del final.

Este resultado se vincula directamente con los objetivos planteados en la actividad de innovación docente, que buscaban fomentar el trabajo en equipo y contrastar si el modelo de Belbin contribuía a un mejor desempeño académico. Si bien se avanzó en el desarrollo de competencias de organización y cooperación, los resultados sugieren que el impacto académico fue limitado, especialmente por el bajo peso de la actividad en la evaluación y el momento del curso en el que se implementó.

Para la mejora de la implementación de esta actividad, podrían obtenerse mejores resultados si se incrementara el peso del trabajo en la evaluación final, si la evaluación continua no fuera recuperable exclusivamente con el examen, o si la actividad se programara en fases más tempranas del cuatrimestre, evitando la saturación del periodo final. Asimismo, resultaría conveniente contrastar estos resultados con otros grupos de la asignatura —por ejemplo, los de turno de mañana, que suelen concentrar un mayor rendimiento académico— y realizar un seguimiento longitudinal para valorar tendencias más sólidas.

5.CONCLUSIONES

La actividad de innovación docente desarrollada en la asignatura Teoría de la Inversión ha permitido incorporar las finanzas sostenibles en el temario y evaluar su impacto en los conocimientos del alumnado. Los resultados de la encuesta sobre sostenibilidad, aplicada al inicio y al final del curso, muestran una mejora significativa en las medias de prácticamente todas las preguntas. Esto evidencia que la exposición a contenidos específicos, el análisis de casos prácticos y la discusión de noticias relacionadas a lo largo de la asignatura contribuyeron de manera positiva a la adquisición de competencias en este ámbito. Dicho hallazgo confirma la importancia de integrar de forma transversal la sostenibilidad en la docencia de finanzas, favoreciendo no solo la comprensión conceptual, sino también la sensibilización del alumnado frente a los desafíos ambientales, sociales y de gobernanza, y promoviendo una mayor conciencia sobre la responsabilidad social y ambiental en la toma de decisiones financieras.

Por otra parte, la dinámica de trabajo en grupo diseñada a partir del test de Belbin no alcanzó los resultados esperados. Aunque la metodología buscaba fomentar la colaboración y el aprendizaje activo mediante la complementariedad de roles, los estudiantes percibieron la actividad como una carga desproporcionada en relación con su ponderación en la calificación final. Asimismo, la falta de cohesión, motivación y canales de comunicación efectivos entre los integrantes de los grupos redujo el potencial de sinergias positivas, derivando en entregas que en numerosos casos reflejaban un esfuerzo mínimo. Esta situación se vio agravada por la programación temporal de la actividad al final del cuatrimestre, en un periodo caracterizado por la saturación académica, la acumulación de entregas y la preparación de exámenes finales, limitando así la implicación de los estudiantes en el desarrollo de competencias colaborativas.

En consecuencia, se recomienda mantener y reforzar la inclusión de las finanzas sostenibles en el temario, potenciando la conexión entre teoría y práctica. Asimismo, resulta necesario replantear el diseño de la evaluación continua: incrementar el peso de la actividad grupal en la calificación, evitar que su recuperación dependa exclusivamente del examen final y programar su realización en fases más tempranas del curso, evitando así la saturación del periodo final. Finalmente, se sugiere contrastar estos resultados con los obtenidos en otros grupos y cursos académicos, así como incorporar mecanismos de seguimiento y retroalimentación continua, con el fin de disponer de una visión longitudinal que permita ajustar las estrategias docentes y maximizar el impacto de este tipo de iniciativas sobre el aprendizaje, la motivación y el desarrollo integral del alumnado.

6. AGRADECIMIENTOS/APOYOS

Los autores agradecen el apoyo obtenido, en convocatoria pública, a través del proyecto de innovación docente (UV-SFPIE_PIEC-3325492) concedido por el Servei de Formació Permanent i Innovació Educativa del Vicerectorat d'Innovació i Transferència (Universitat de València) para el curso académico 2024/2025.

7. REFERENCIAS

- Aranzabal, A., Epelde, E. y Artetxe, M. (2022). Team formation on the basis of Belbin's roles to enhance students' performance in project based learning. *Education for Chemical Engineers*, 38, 22-37. <https://doi.org/10.1016/J.ECE.2021.09.001>
- Belbin, R. M. (2010). Team roles at work (2nd ed.). Routledge.
- Bendoly, E., Donohue, K., y Schultz, K. L. (2015). Behavior in operations management: Assessing recent findings and revisiting old assumptions. *Journal of Operations Management*, 36(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.10.001>
- Van de Water, H., Ahaus, K., y Rozier, R. (2008). Team role balance and performance in project groups. *Journal of Management Development*, 27(5):499-512. <https://doi.org/10.1108/02621710810871817>
- Eccles, R. G., Ioannou, I., y Serafeim, G. (2014). The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. *Management Science*, 60(11), 2835–2857. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1984>
- Kimpton, C., y Maynard, N. (2023). Teamwork Skills Development In Engineering Education: A Holistic Approach. *European Society for Engineering Education*. <https://doi.org/10.21427/E569-T245>
- Johnson, D. W., y Johnson, R. T. (2014). Cooperative learning in 21st century. *Anales de Psicología*, 30(3), 841–851. <https://doi.org/10.6018/analesps.30.3.201241>
- Lozano, R., Ceulemans, K., Alonso-Almeida, M., Huisingh, D., Lozano, F. J., Waas, T., Lambrechts, W., Lukman, R., y Hugé, J. (2017). A review of commitment and implementation of sustainable development in higher education: Results from a worldwide survey. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.048>
- Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://bit.ly/3qUu9QI>
- Succi, C., y Canovi, M. (2020). Soft skills to enhance graduate employability: Comparing students and employers' perceptions. *Studies in Higher Education*, 45(9), 1834–1847. <https://doi.org/10.1080/03075079.2019.1585420>
- UNESCO. (2020). Educación para el desarrollo sostenible: hoja de ruta. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://bit.ly/3uXy7YK>
- Wick, A., Withycombe, L., y Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6(2), 203–218. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>

DEL BOSQUE A LA COMPETITIVIDAD: INTEGRACIÓN DE CRITERIOS ESG EN LA ESTRATEGIA INDUSTRIAL DE LA REGIÓN DE LA MALINCHE

JULIA ISABEL RODRÍGUEZ MORALES

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

ALEJANDRA GONZÁLEZ PÉREZ

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

ALEJANDRA CAMPOS VILLATORO

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

LILIANA PÉREZ ESPINOSA

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

1. INTRODUCCIÓN

La región de la Malinche, Matlalcuéytl o Matlalcueitl está situada en el eje neovolcánico transversal de México. Vargas (1984) menciona que su ubicación se sitúa entre las coordenadas 19° 06' 30" y 19° 20' de latitud norte y entre 97° 55' 30" y 98° 10' de longitud oeste; además de que es un volcán inactivo, cuya altura alcanza los 4,461 metros sobre el nivel del mar, alberga una diversidad biológica significativa y proporciona servicios ecosistémicos fundamentales para las comunidades y organizaciones productivas que operan en sus alrededores. Vargas (1997, citado en Rodríguez-Morales, et al. 2024) mencionan que la Malinche abarca un total de 14 municipios: diez en Tlaxcala (San Juan Ixtenco, Chiautempan, Huamantla, Teolocholco, Zitlatepec, Tzompantepec, Mezatecochco, Acuamantalá, Contla y San Pablo del Monte) y cuatro en Puebla (Amozoc, Puebla, Acajete y Tepatlaxco de Hidalgo). Es importante considerar que en esta zona la deforestación, el cambio de uso de suelo y las presiones antropogénicas han comprometido la sostenibilidad del ecosistema, generando riesgos ambientales, sociales y económicos para la región.

En este contexto, las organizaciones productivas enfrentan un panorama empresarial en transformación, donde la sostenibilidad representa una opción ética y una necesidad estratégica para garantizar la competitividad y permanencia en los mercados globales. Los criterios ESG (siglas de las palabras en inglés Environmental, Social and Governance; en español Ambiental, Social y Gobernanza) evalúan el desempeño ambiental, social y de gobernanza de las empresas, se han consolidado como el marco de referencia internacional para medir y gestionar la sostenibilidad corporativa (Oliver M., 2024). Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2020), las empresas que integran criterios ESG en su estrategia empresarial experimentan una reducción de riesgos operacionales, mejoran su reputación corporativa y acceden a nuevas oportunidades de financiamiento.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por los Estados miembros de las Naciones Unidas en 2015, establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad para todos (Naciones Unidas, 2015). En particular, los ODS 13 (Acción por el clima), ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres) y ODS 12 (Producción y consumo responsables) están directamente relacionados con las acciones de reforestación y gestión sostenible de recursos naturales, ya que Un bosque restaurado captura carbono (ODS 13), protege biodiversidad y suelos (ODS 15), y asegura el flujo sostenible de recursos para la actividad económica (ODS 12). La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2022) define el desarrollo industrial sostenible como un modelo que promueve la industrialización inclusiva y sostenible, generando crecimiento económico mientras minimiza el impacto ambiental y maximiza el bienestar social.

Este trabajo presenta información para que las empresas ubicadas en la región de la Malinche desarrollen acciones que les ayude a tener una ventaja competitiva diferenciadora, a través de la implementación de estrategias de reforestación alineadas con los criterios ESG, los ODS de la Agenda 2030 y los principios del desarrollo industrial sostenible de la ONUDI. Esta ventaja competitiva se podrá traducir en beneficios ambientales directos, y en mejoras tangibles en la eficiencia operacional; así como en acceso a mercados verdes, atracción de inversión responsable y fortalecimiento de su interacción social.

2. OBJETIVO GENERAL

- Describir cómo la participación de las organizaciones productivas de la región de La Malinche en programas de reforestación puede constituirse en una estrategia de ventaja competitiva industrial a través del cumplimiento de criterios ESG, contribuyendo simultáneamente a los ODS de la Agenda 2030 y al desarrollo industrial sostenible propuesto por la ONUDI.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo-descriptivo basado en la revisión sistemática de literatura científica, informes institucionales de organismos internacionales y estudios de caso de empresas que han implementado exitosamente estrategias ESG vinculadas a la reforestación y conservación de ecosistemas. Se implementó un diseño de investigación documental que integra la revisión teórica de conceptos fundamentales relacionados con criterios ESG, desarrollo sostenible y ventaja competitiva.

Las fuentes consultadas incluyen artículos científicos publicados en revistas indexadas, con un periodo de cobertura prioritario de 2015 a 2024. Adicionalmente, se revisaron documentos oficiales de organismos internacionales como la ONUDI, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la OCDE y el Foro Económico Mundial. Se incorporaron también estudios de caso documentados en informes de sostenibilidad corporativa elaborados bajo estándares GRI (siglas de las palabras en inglés Global Reporting Initiative). Los criterios de inclusión para la selección de fuentes fueron: Relevancia temática directa con criterios ESG, ODS, desarrollo industrial sostenible o ventaja competitiva y publicación por instituciones académicas o internacionales reconocidas. El análisis de la información se realizó mediante la técnica de síntesis temática, identificando patrones recurrentes, convergencias conceptuales y evidencias empíricas que sustentan la relación entre acciones de reforestación, cumplimiento de criterios ESG y generación de ventajas competitivas.

4. RESULTADOS

4.1 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS FUNDAMENTALES

4.1.1. Criterios ESG

Los criterios ESG representan un conjunto de estándares para evaluar el comportamiento corporativo en tres dimensiones fundamentales. El componente ambiental (Environmental) examina cómo una organización gestiona su impacto en el medio ambiente, incluyendo emisiones de gases de efecto invernadero, uso de recursos naturales, gestión de residuos y conservación de la biodiversidad. El componente social (Social) evalúa las relaciones de la empresa con empleados, proveedores, clientes y comunidades, considerando aspectos como condiciones laborales, derechos humanos, diversidad e inclusión. El componente de gobernanza (Governance) analiza las estructuras de liderazgo, prácticas éticas, transparencia y mecanismos de rendición de cuentas (Gillan, S. L. *et al.*, 2021; Henisz, W., Koller, T., *et al.*, 2019). El concepto surgió de los debates sobre responsabilidad social corporativa en la década de 1950 y cobró relevancia tras la crisis financiera de 2008. A principios del siglo XXI, las presiones derivadas del cambio climático, la escasez de recursos y la desigualdad han impulsado a empresas y gobiernos a adoptar prácticas más sostenibles. El riesgo climático se percibe cada vez más como riesgo de inversión, por lo que en el Acuerdo de París de 2015 se motivó a la acción internacional. Se menciona que el desempeño ambiental, social y de gobernanza (ESG) de una empresa está estrechamente vinculado con su nivel de desarrollo verde y sostenible. Es así que el promover el desarrollo económico de las empresas con miras a la sostenibilidad se ha convertido gradualmente en un tema de interés para los países de todo el mundo (Brožek, J., 2025).

El enfoque ESG se apoya en la perspectiva de la economía ecológica, que concibe a la economía como un sistema abierto, y sitúa a la gestión estratégica sostenible como principio rector. Para que este enfoque se pueda implementar, es necesario un viraje de paradigma. Los esquemas financieros clásicos asumen de manera tácita, un marco neoclásico de sistema cerrado. En este enfoque, la teoría financiera comienza a

replantear dichos modelos bajo la idea de que la empresa y sus herramientas de valoración constituyen un subsistema que co-evoluciona con la economía, la sociedad y el medio ambiente. La expansión de nociones como finanzas sostenibles, inversión sustentable, criterios ESG e inversión socialmente responsable evidencia que la academia financiera está cuestionando el paradigma neoclásico dominante y reconociendo el valor del capital ecológico y social (Gregory *et al.*, 2021).

Es importante considerar casos como el de la Union Europea (UE), donde los aspectos ambientales de la gestión forestal están bien establecidos, mientras que las dimensiones sociales y de gobernanza se están desarrollando mediante instrumentos de desarrollo rural, diálogo con partes interesadas y cooperación internacional dentro del proceso Forest Europe. El ESG no reemplaza los enfoques tradicionales de gestión forestal sostenible, proporcionan un marco coherente para el análisis, reporte e implementación de sus objetivos. Esto permite un mejor monitoreo, comparación e integración de las acciones de política forestal de los Estados miembros de la UE. En este contexto, la gestión forestal sostenible sigue siendo la base para el desarrollo a largo plazo de la bioeconomía forestal. Combina objetivos ambientales, sociales, económicos y de conservación de la biodiversidad, y su implementación cuenta con el respaldo de sistemas de certificación independientes y un marco legal reconocido. Los bosques, que cubren un tercio del territorio de la UE, son vitales para la mitigación climática y los servicios ecosistémicos. El cambio climático amenaza la resiliencia forestal, impulsando inversiones en adaptación. Sin embargo, los bosques no son competencia compartida de la UE; en cambio, la silvicultura se apoya indirectamente. Al integrar cuestiones ambientales, sociales y de gobernanza, se proporciona un marco holístico para la inversión forestal sostenible. En este sentido, el ESG es el "lenguaje universal" de la política forestal moderna (Brožek, J., 2025).

4.1.2. Desarrollo Industrial Sostenible

La ONUDI (2022) define el desarrollo industrial sostenible como el proceso mediante el cual la industrialización promueve el crecimiento económico inclusivo mientras minimiza los impactos ambientales negativos y fomenta la equidad social. De acuerdo con la UNIDO (2014),

el Desarrollo Industrial Sostenible e Inclusivo (DISI), plantea un modelo industrial donde el progreso económico no se concentra en unos pocos, sino que se distribuye ampliamente entre la población, al tiempo que se respetan los límites ecológicos del planeta. En términos prácticos, esto significa que las fábricas deben modernizarse incorporando procesos productivos menos contaminantes y generando puestos de trabajo dignos, bien remunerados y con condiciones laborales adecuadas para los trabajadores. El desarrollo industrial sostenible se sustenta en tres pilares: prosperidad económica compartida, sostenibilidad ambiental e innovación tecnológica responsable (UNIDO, 2020).

El desarrollo industrial sostenible se ha vuelto indispensable para enfrentar los problemas que aquejan al mundo contemporáneo. Requiere una reconversión profunda del sector manufacturero que haga posible expandir la economía sin dejar a nadie atrás y sin destruir los ecosistemas de los cuales dependemos. Este paradigma implica la transición hacia modelos de economía circular, la adopción de tecnologías limpias, la eficiencia energética y de recursos; así como la integración de criterios sociales en las cadenas de valor industriales. La ONUDI enfatiza que este proceso es ambientalmente necesario, y económicamente ventajoso, ya que la eficiencia de recursos puede reducir costos operativos entre 10% y 40% en sectores manufactureros (ONUDI, 2019).

4.1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) - Agenda 2030

Los 17 ODS constituyen un llamado universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030 (Naciones Unidas, 2015). Estos objetivos son interconectados e indivisibles, equilibrando las tres dimensiones del desarrollo sostenible: económica, social y ambiental. Para las empresas, los ODS representan no solo responsabilidades éticas, sino también oportunidades de mercado. La Comisión de Negocios y Desarrollo Sostenible estimó que la consecución de los ODS podría generar oportunidades de negocio por valor de 12 billones de dólares anuales para 2030 (Business & Sustainable Development Commission, 2017).

El desarrollo sostenible representa un enfoque integral que busca armonizar los distintos componentes de cualquier organización: su

dimensión económica, social, productiva y ambiental, garantizando que los recursos actuales estén disponibles también para quienes vendrán después de nosotros. Esto solo puede lograrse si llevamos un control riguroso y sistemático, tanto temporal como geográfico, de elementos clave como los recursos naturales, el estado del medio ambiente, las dinámicas poblacionales, los niveles de contaminación y la producción agrícola e industrial, prestando especial atención a cómo todos estos factores se relacionan e influyen entre sí (Todos I., 2023). Considerando esto, las acciones de reforestación se alinean principalmente con el ODS 13 (Acción por el clima), el cual está centrado en la acción climática, encuentra en la reforestación uno de sus aliados más poderosos porque los bosques actúan como verdaderos secuestradores de carbono atmosférico. La reforestación, a diferencia de muchas otras acciones climáticas técnicamente complejas, es visualmente poderosa y fácil de comunicar, ya que se puede fotografiar, medir árboles, mostrar antes y después, involucrar empleados y comunidades en jornadas de plantación. Esta tangibilidad hace que los programas de reforestación sean extraordinariamente efectivos para construir narrativas corporativas de liderazgo climático que resuenan con stakeholders diversos, desde inversionistas hasta consumidores finales, pasando por reguladores y medios de comunicación. En un contexto donde el greenwashing está bajo escrutinio intenso y los consumidores son cada vez más escépticos de afirmaciones ambientales vacías, poder llevar a clientes, inversionistas o reguladores a caminar por un bosque que tu empresa ayudó a restaurar tiene un poder de convicción que ningún reporte de sostenibilidad puede igualar (González del Río, M. P., 2025).

También contribuye el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), el cual habla sobre la protección, la restauración y promoción para el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques y detener la pérdida de biodiversidad. que busca proteger la vida de ecosistemas terrestres, tiene en la reforestación su estrategia más tangible de implementación. No se trata únicamente de plantar árboles por plantar; se considera el restaurar hábitats completos que son hogar de especies endémicas, muchas de ellas amenazadas o en peligro de extinción. la Malinche alberga fauna como el gorrión serrano, el conejo

teporingo y diversas especies de salamandras que deben ser cuidadas, por estar en peligro de extinción. Cuando permitimos que el bosque se degrade, estamos perdiendo árboles y eliminando patrimonio biológico irremplazable. La reforestación con especies nativas reconstruye estas redes ecológicas complejas, reconecta corredores biológicos fragmentados por la agricultura y los asentamientos humanos, y detiene la erosión del suelo que convierte tierras fértiles en páramos improductivos (Aguilera, F., & Suárez, S., 2023).

Adicionalmente, estas acciones apoyan el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), ya que los bosques regulan los ciclos hidrológicos, manteniendo quizás la relación más inmediata y tangible con la reforestación en contextos como el de la Malinche, donde las empresas y comunidades dependen críticamente del agua que el bosque capta, filtra y regula: los árboles interceptan la lluvia con sus copas, ralentizando el escurrimiento superficial y favoreciendo que el agua se infiltre en el suelo para recargar los acuíferos de los que se alimentan los manantiales y pozos. Así mismo, el ODS 12 (Producción y consumo responsables), promueve la gestión sostenible de recursos naturales. sobre producción y consumo responsables. Este reconoce que nuestros patrones actuales de producción industrial y consumo están agotando recursos naturales a tasas que el planeta no puede sostener. La reforestación encarna el principio de producción responsable porque obliga a las empresas a reconocer que su operación depende de servicios ecosistémicos agua limpia, aire puro, clima estable, suelos fértiles, que no son infinitos ni gratuitos, aunque tradicionalmente los hayamos tratado como tales. Por ejemplo, cuando una empresa textil de Tlaxcala invierte en reforestar las cuencas que proveen el agua para sus procesos industriales, está internalizando una externalidad que antes simplemente ignoraba. De esta manera se está gestionando responsablemente un recurso del cual depende su viabilidad a largo plazo. (Galiatsatos, N., 2020; Cárdenas, C., 2019).

4.1.4. Ventaja Competitiva Industrial

Para definir a la ventaja competitiva retomaremos a Porter M., (1985) donde mencionó que es la capacidad de una organización para crear valor superior para sus clientes y para sí misma en relación con sus

competidores. Él también identificó dos fuentes fundamentales de ventaja competitiva: liderazgo en costos y diferenciación. En el contexto contemporáneo, la sostenibilidad ambiental se ha incorporado como una tercera fuente de ventaja competitiva, denominada "ventaja competitiva sostenible" (Hart S. L., 1995). La ventaja competitiva surge de la innovación y el cambio continuo. Las empresas superan a sus rivales cuando descubren nuevas formas de competir o mejores maneras de operar dentro de los marcos existentes. La innovación, entendida ampliamente, incluye desde nuevas tecnologías hasta métodos novedosos de organización, diseño de productos o enfoques de mercado, y frecuentemente emerge al identificar necesidades desatendidas de los clientes o segmentos de mercado ignorados. Esta ventaja abarca todo el sistema de valor, desde el conjunto de actividades involucradas en la creación y uso de un producto y se fortalece mediante el intercambio estrecho con proveedores, distribuidores y clientes (Porter, M., 2007).

Es importante considerar que ninguna ventaja competitiva es permanente por sí misma; requiere mejoramiento incesante ya que prácticamente cualquier ventaja puede ser imitada. Las ventajas más duraderas dependen de recursos humanos calificados, competencias técnicas internas e inversiones continuas en conocimientos especializados. Las estrategias basadas en calidad superior, innovación constante y servicio excepcional tienden a ser más sostenibles que aquellas fundamentadas únicamente en costos, las cuales pueden ser fácilmente replicadas. Mantener la ventaja exige adoptar estrategias con enfoque internacional que contemplen: vender globalmente como parte integral del negocio (no como un complemento), establecer marcas y canales de distribución propios a nivel mundial, analizar y aprovechar ventajas locales en diferentes países, y coordinar e integrar actividades internacionalmente para obtener economías de escala, capitalizar el conocimiento global y atender efectivamente a clientes internacionales. Se debe considerar que operar en varios países no constituye una estrategia mundial; solo la integración y coordinación estratégica de estas operaciones genera ventajas competitivas verdaderamente sostenibles que se suman a las del país de origen (Porter, M., 2007).

Las empresas que integran criterios ESG en su estrategia pueden desarrollar ventajas competitivas a través de múltiples mecanismos: reducción de costos operativos mediante eficiencia energética y de recursos, acceso a mercados premium que valoran productos sostenibles, fortalecimiento de la reputación corporativa, atracción y retención de talento, reducción de riesgos regulatorios y operacionales, y acceso preferencial a capital financiero. Según Eccles R.G., *et al.* (2014), las empresas con sólidas prácticas de sostenibilidad superan significativamente a sus pares en términos de desempeño financiero a largo plazo.

4.2. BENEFICIOS DE LA REFORESTACIÓN PARA EL DESEMPEÑO ESG

4.2.1. Beneficios Ambientales (E)

Las acciones de reforestación en la región de la Malinche generan múltiples beneficios ambientales cuantificables que fortalecen sustancialmente el pilar ambiental de los criterios ESG. La captura y almacenamiento de carbono atmosférico constituye el beneficio más evidente y medible, permitiendo a las empresas compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero y avanzar hacia metas de neutralidad climática que pueden ser contabilizadas en inventarios corporativos bajo estándares internacionalmente reconocidos como el Greenhouse Gas Protocol (World Business Council for Sustainable Development, & World Resources Institute, 2001). La reforestación contribuye simultáneamente a la conservación y restauración de la biodiversidad, aspecto cada vez más valorado en evaluaciones ESG, especialmente considerando que la Malinche alberga especies endémicas y funciona como corredor biológico para fauna silvestre cuya protección puede ser reportada como contribución directa a metas de conservación (Challenger A. & Soberón J., 2008).

Los bosques restaurados mejoran significativamente la calidad del agua mediante procesos naturales de filtración y purificación, reducen drásticamente la erosión del suelo al estabilizar las capas superficiales con sus sistemas radiculares, y regulan los microclimas locales moderando temperaturas extremas y patrones de precipitación, beneficios que impactan positivamente en la resiliencia operativa de empresas

dependientes de recursos hídricos, estabilidad climática o integridad del suelo para sus operaciones (Oliva, J. D., 2022). Estos servicios ecosistémicos representan externalidades positivas para el ambiente, y activos estratégicos que las empresas pueden valorar, reportar y comunicar como parte integral de su desempeño ambiental, diferenciándose en mercados donde inversionistas y consumidores demandan cada vez mayor transparencia y acción concreta frente a la crisis climática y la pérdida de biodiversidad (Eccles R.G., et al., 2014).

La reforestación también contribuye a la conservación de la biodiversidad, un aspecto cada vez más valorado en las evaluaciones ESG. La Malinche alberga especies endémicas y en peligro de extinción, cuya protección puede ser reportada como contribución a metas de conservación de biodiversidad. Adicionalmente, los bosques mejoran la calidad del agua mediante la filtración natural, reducen la erosión del suelo y regulan el microclima local, beneficios que impactan positivamente en la resiliencia operativa de las empresas dependientes de recursos hídricos o agrícolas.

4.2.2. Beneficios Sociales (S)

El componente social de los criterios ESG se fortalece significativamente mediante programas de reforestación que involucran a comunidades locales. La creación de empleos verdes, el desarrollo de capacidades técnicas en gestión forestal y la mejora de las relaciones comunitarias son beneficios directamente valorados en evaluaciones ESG. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2018), los empleos verdes en restauración de ecosistemas tienden a ser más estables y mejor remunerados que empleos informales en sectores extractivos. Las empresas que implementan programas de reforestación participativa demuestran su compromiso con el desarrollo local, fortaleciendo su licencia social para operar. La licencia social, entendida como la aceptación continua de las operaciones empresariales por parte de las comunidades locales, se ha consolidado como un factor crítico de éxito, especialmente en sectores industriales con alto impacto territorial (Prno J. & Slocombe, D. S., 2012). Los conflictos socioambientales pueden

generar costos operacionales significativos, incluyendo paros de producción, litigios y daño reputacional.

4.2.3. Beneficios de Gobernanza (G)

La implementación de programas de reforestación requiere estructuras de gobernanza robustas, incluyendo sistemas de monitoreo, verificación y reporte transparente de resultados. Estos mecanismos fortalecen el componente de gobernanza de los criterios ESG al demostrar capacidad de gestión de proyectos complejos, rendición de cuentas y alineación entre discurso corporativo y acciones concretas. La implementación de programas de reforestación fortalece sustancialmente el componente de gobernanza de los criterios ESG al requerir estructuras institucionales robustas y transparentes. Estos proyectos demandan sistemas rigurosos de planificación, monitoreo continuo y reporte verificable ante múltiples stakeholders, impulsando la adopción de estándares internacionales como los de la Global Reporting Initiative que mejoran la credibilidad y comparabilidad del desempeño corporativo (Tellez, J. P. A., & Piñeros, R. A., 2021). La reforestación demuestra la capacidad de alinear discurso con acciones concretas, reduciendo riesgos de greenwashing y fortaleciendo la integridad institucional (Hahn R. & Kühnen M., 2013). Además, estos programas exigen mecanismos de participación multi-stakeholder que incluyen consultas comunitarias y acuerdos con ejidatarios, desarrollando competencias organizacionales en gestión de relaciones complejas y construcción de consensos, habilidades fundamentales donde la licencia social determina la viabilidad operacional (Owen J. R. & Kemp M., 2013; Prno J. & Slocombe D. S., 2012).

4.3. GENERACIÓN DE VENTAJA COMPETITIVA A TRAVÉS DE CRITERIOS ESG

El acceso a financiamiento verde representa una de las ventajas competitivas más tangibles para empresas que integran criterios ESG en sus operaciones. El mercado global de bonos verdes ha experimentado un crecimiento exponencial, reflejando el incremento en la asignación de capital de inversionistas institucionales, incluyendo fondos de pensiones, aseguradoras y fondos de inversión hacia empresas con sólido desempeño en sostenibilidad (Daroshka, V., *et al.*, 2023). En México,

instituciones como el Banco Interamericano de Desarrollo, Nacional Financiera y el Banco Nacional de Comercio Exterior han desarrollado productos financieros específicos con tasas preferenciales para proyectos con componentes ambientales, facilitando el acceso a capital en condiciones ventajosas para empresas comprometidas con la sostenibilidad. Simultáneamente, la diferenciación en mercados internacionales se ha vuelto crítica, particularmente considerando que la Unión Europea ha implementado regulaciones de diligencia debida que exigen a las empresas identificar y remediar impactos adversos ambientales y sociales en sus cadenas de valor (Blach, J., 2023). Las organizaciones capaces de demostrar prácticas sostenibles certificadas, incluyendo reforestación y compensación de carbono, acceden a mercados premium donde los consumidores muestran creciente disposición a modificar sus hábitos de consumo por productos ambientalmente responsables (Nielsen, 2016).

La implementación de estrategias ESG genera también beneficios operacionales directos mediante la reducción de costos y la gestión efectiva de riesgos climáticos. La reforestación contribuye a la regulación del microclima local, la conservación de cuencas hidrográficas que aseguran disponibilidad hídrica a largo plazo, y cuando se combina con mejoras en eficiencia energética, puede reducir significativamente el consumo operacional, logrando retornos sobre la inversión sustanciales a través de eficiencias operacionales y acceso a nuevos mercados (Wang, N., 2024). El Task Force on Climate-related Financial Disclosures ha establecido que los riesgos climáticos constituyen riesgos financieros materiales que deben ser gestionados y divulgados, y en regiones como la Malinche, donde las empresas enfrentan mayor frecuencia de sequías, eventos de precipitación extrema y cambios en disponibilidad de agua, la inversión en resiliencia ecosistémica protege simultáneamente la resiliencia operacional empresarial (Board, F. S., 2017). La reforestación estabiliza suelos reduciendo riesgos de deslizamientos sobre infraestructura industrial, mientras la regulación hidrológica disminuye tanto riesgos de inundaciones como de sequías prolongadas, beneficios de adaptación climática cada vez más valorados por aseguradoras que ajustan primas según exposición a riesgos climáticos, convirtiendo la

sostenibilidad ambiental en una estrategia de gestión de riesgos financieramente prudente.

4.4. ALINEACIÓN CON ODS Y DESARROLLO INDUSTRIAL SOSTENIBLE

La participación en programas de reforestación permite a las empresas de alrededor de la Malinche, contribuir directamente a múltiples ODS, generando narrativas corporativas coherentes y verificables sobre su contribución al desarrollo sostenible. Esta alineación facilita el cumplimiento de requisitos de reporte de sostenibilidad y mejora la percepción de stakeholders clave. El marco del desarrollo industrial sostenible de la ONUDI proporciona metodologías específicas para que las empresas industriales integren la sostenibilidad en sus modelos de negocio. La ONUDI (2022) ha desarrollado herramientas como el Resource Efficient and Cleaner Production (RECP), que ha demostrado generar ahorros en costos de producción mediante la optimización de recursos. La reforestación se integra naturalmente en este enfoque al contribuir a la gestión sostenible de recursos naturales que sustentan las operaciones industriales.

4.5. CASOS DE ÉXITO Y EVIDENCIA EMPÍRICA

Diversos estudios de caso internacionales demuestran los beneficios tangibles de integrar acciones de reforestación en estrategias ESG corporativas. En América Latina, empresas como Natura Cosméticos han desarrollado modelos de negocio basados en la conservación de biodiversidad amazónica. Natura S.A. es la mayor multinacional brasileña de cosméticos y, desde 2020, integra el cuarto grupo más grande del mundo en el segmento de belleza. La compañía se posiciona como una empresa comprometida con la responsabilidad social, habiendo establecido su "Compromiso con el Clima" que logró una producción 100% carbono neutral; además de participar en diversos proyectos socioambientales que se integran a las propuestas de valor de la empresa. Este compromiso se refleja en destacadas posiciones en rankings que categorizan empresas según criterios de Gobernanza Ambiental, Social y Corporativa (ESG): la última versión del Merco Responsabilidad ESG Brasil 2020 colocó a Natura en primer lugar, por delante de gigantes como Grupo Boticário y Avon; el Índice de Sustentabilidad

Empresarial de la bolsa B3 de 2022 la ubicó en quinto lugar y primera del sector cosmético; y la organización B Lab la reconoció en el ranking Best For The World por tres iniciativas distintas que promueven desde gestión de residuos hasta políticas de diversidad e inclusión. Como empresa que cotiza en bolsa, Natura divulga trimestralmente sus Demostraciones de Resultados, incluyendo información sobre incentivos fiscales de carácter diversificado, tanto beneficios "generalizados" disponibles para cualquier empresa en determinada localización como incentivos más específicos vinculados únicamente a las actividades operacionales de Natura, lo cual permite analizar las conexiones entre su gobernanza corporativa y los beneficios fiscales recibidos, abriendo precedente para evaluar cómo una empresa altamente calificada en índices ESG comunica al público la concesión de estos beneficios y ejerce buenas políticas de transparencia en esta comunicación (Salzedas, L.F. y Gonzales, A., 2023).

En México, Grupo BIMBO lidera en responsabilidad ESG en México. Este resultado refleja un compromiso sostenido con la responsabilidad corporativa que se evidencia claramente en su informe anual, donde integra aspectos ESG como sustentabilidad, ética y programas sociales, entre otros elementos que muestran la incorporación efectiva de principios ambientales, sociales y de gobierno corporativo en su estrategia empresarial. La experiencia de Grupo Bimbo ilustra que para las organizaciones, incorporar criterios ESG en su gestión no solo incrementa el reconocimiento, reputación, valoración y posicionamiento de marca, sino que también fortalece el sentido de pertenencia de los trabajadores hacia la organización y facilita la contribución al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por las Naciones Unidas, generando así un círculo virtuoso de beneficios tanto internos como externos que trascienden la mera filantropía para convertirse en ventajas competitivas tangibles y sostenibles en el tiempo (Morales, A. B., 2024).

5. DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación plantean importantes reflexiones sobre el rol del sector privado en la sostenibilidad ambiental y el desarrollo territorial. La propuesta de vincular acciones de reforestación con

ventaja competitiva industrial desafía paradigmas tradicionales que concebían la protección ambiental como un costo de cumplimiento regulatorio, reposicionándola como una fuente de diferenciación estratégica y creación de valor.

5.1. DESAFÍOS EN LA IMPLEMENTACIÓN

No obstante, los beneficios documentados, la implementación efectiva de programas de reforestación empresarial enfrenta desafíos significativos. Primero, existe una brecha de conocimiento técnico entre las empresas industriales y la gestión forestal, requiriendo alianzas con instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales y autoridades ambientales. Segundo, los beneficios económicos de la reforestación tienden a materializarse en horizontes temporales medios y largos, lo cual puede entrar en conflicto con lógicas de rendimiento financiero trimestral. Tercero, la fragmentación de la propiedad de la tierra en la región de la Malinche, con múltiples ejidos y pequeños propietarios, complica la implementación de programas de restauración a escala de paisaje.

5.2. NECESIDAD DE MARCOS INSTITUCIONALES FACILITADORES

La generación de ventajas competitivas a través de acciones de sostenibilidad requiere marcos institucionales que reconozcan, certifiquen y valoren estos esfuerzos. México ha avanzado en esta dirección con instrumentos específicos de Reforestación; sin embargo aún existen oportunidades de mejora para la articulación de políticas ambientales e industriales. La creación de incentivos fiscales para inversiones en capital natural, el desarrollo de mercados de carbono locales y la simplificación de procedimientos de certificación ambiental podrían acelerar la adopción empresarial de estas prácticas.

5.3 INTEGRACIÓN EN ESTRATEGIAS EMPRESARIALES HOLÍSTICAS

La reforestación debe entenderse como un componente de estrategias ESG integrales. Las empresas que obtendrán mayores beneficios serán aquellas que vinculen sus programas de reforestación con iniciativas de eficiencia energética, economía circular, innovación en productos sostenibles y desarrollo de capital humano. Esta integración requiere un

cambio cultural organizacional, donde la sostenibilidad impregne todos los niveles de decisión empresarial, desde la alta dirección hasta las operaciones cotidianas.

5.4. COLABORACIÓN MULTISECTORIAL

La complejidad de los desafíos ambientales de La Malinche excede la capacidad de acción individual de cualquier empresa o institución. La generación de impactos transformadores requiere colaboración multi-sectorial entre empresas, gobiernos municipales y estatales, instituciones académicas, organizaciones de la sociedad civil y comunidades locales. Los modelos de gobernanza colaborativa, como los consejos de cuenca o los comités de gestión territorial, pueden proporcionar espacios para la coordinación de esfuerzos y la maximización de sinergias.

6. CONCLUSIONES

La evidencia presentada demuestra que las organizaciones productivas ubicadas en la región de la Malinche pueden desarrollar ventajas competitivas sostenibles y diferenciadas mediante la implementación de programas de reforestación alineados con criterios ESG, los ODS de la Agenda 2030 y los principios del desarrollo industrial sostenible de la ONUDI. Esta propuesta constituye un ejercicio de responsabilidad social corporativa como parte de una estrategia empresarial integral que genera valor económico, ambiental y social simultáneamente.

Los criterios ESG han dejado de ser consideraciones periféricas para convertirse en factores determinantes de la valoración empresarial, el acceso a financiamiento, la competitividad en mercados internacionales y la resiliencia operacional a largo plazo. La reforestación de la Malinche representa una oportunidad concreta y geográficamente situada para que las empresas locales fortalezcan su desempeño en las tres dimensiones ESG: ambiental, mediante la captura de carbono y conservación de biodiversidad; social, a través del desarrollo comunitario y fortalecimiento de la licencia social; y de gobernanza, mediante la implementación de sistemas robustos de monitoreo y reporte.

La convergencia entre imperativo ambiental y oportunidad empresarial es cada vez más evidente. Las empresas que anticipen esta transformación, integrando la sostenibilidad en el núcleo de su estrategia competitiva, estarán mejor posicionadas para prosperar en un contexto de mercados globales crecientemente exigentes, regulaciones ambientales más estrictas y expectativas sociales en evolución. La reforestación de la Malinche es una contribución al bien común; y una inversión estratégica en la competitividad y permanencia empresarial.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dra. Ma. Lilia Cedillo Ramírez, Rectora de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y al Dr. Ygnacio Martínez Laguna, Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado, por su liderazgo y compromiso institucional con la investigación en sostenibilidad y desarrollo regional. Su visión estratégica ha sido fundamental para impulsar proyectos que vinculan la academia con las necesidades ambientales y productivas de nuestro entorno. Extendemos también nuestro reconocimiento a las autoridades de la Facultad de Ingeniería por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo. Finalmente, valoramos y agradecemos el apoyo del Mtro. Odilón Carvajal Paredes, quién encabeza importantes iniciativas de reforestación en la Región de la Malinche; además de los conocimientos ancestrales de las comunidades que han habitado históricamente la región de la Malinche, cuyas prácticas tradicionales de manejo forestal contienen lecciones invaluables para la sostenibilidad contemporánea, así como el esfuerzo continuo de organizaciones civiles, instituciones académicas y autoridades ambientales dedicadas a la conservación de este ecosistema vital.

8. REFERENCIAS

Aguilera, F., & Suárez, S. (2023). Ciudadanía ambiental. *Material docente para contribuir al logro del ODS 15: vida de ecosistemas terrestres*. Universidad de Jaén. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10953.1/20038>

- Blach, J. (2023). Proposal for a Directive on Corporate Sustainability Due Diligence. In *Nachhaltigkeit im Privatrecht* (pp. 167-192). Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.
- Board, F. S. (2017). Task force on climate-related financial disclosures. *Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-Related Financial Disclosures*.
- Business & Sustainable Development Commission (2017). Better business better world—the report of the Business & Sustainable Development Commission. Disponible en: http://report.businesscommission.org/uploads/BetterBiz-BetterWorld_170215_012417.pdf.
- Brożek, J., Kożuch, A., Wieruszewski, M., Ankudo-Jankowska, A., & Adamowicz, K. (2025). Environmental, Social, and Governance (ESG) Clustering of EU Forest Policies in the Context of the 2030 New Forest Strategy. *Sustainability*, 17(17), 7925.
- Cárdenas, C. (2019). Corresponsabilidad, sustentabilidad hídrica y Objetivo de Desarrollo Sustentable (ODS) 6. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1(12).
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En J. Sarukhán (Ed.), *Capital natural de México*, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad (pp. 87-108). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Daroshka, V., Aleksandrov, I., Trushkin, V., Chekhovskikh, I., Ilina, V., & Ol, E. (2023). Climate bonds and their role in the development of ESG-finance banking practice: Global and Russian experiences. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 431, p. 07021). EDP Sciences.
- Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. *Management science*, 60(11), 2835-2857.
- Galiatsatos, N., Donoghue, D. N., Watt, P., Bholanath, P., Pickering, J., Hansen, M. C., & Mahmood, A. R. (2020). An assessment of global forest change datasets for national forest monitoring and reporting. *Remote Sensing*, 12(11), 1790.
- Gillan, S. L., Koch, A., & Starks, L. T. (2021). Firms and social responsibility: A review of ESG and CSR research in corporate finance. *Journal of Corporate Finance*, 66, 101889.
- González del Río, M. P. (2025). ODS 13 Acción por el clima. *SIBIUAS Revista de la Dirección General de Bibliotecas*, (5), 56-62.
- Gregory, R. P., Stead, J. G., & Stead, E. (2021). The global pricing of environmental, social, and governance (ESG) criteria. *Journal of sustainable finance & investment*, 11(4), 310-329.

- Hahn, R., & Kühnen, M. (2013). Determinants of sustainability reporting: A review of results, trends, theory, and opportunities in an expanding field of research. *Journal of cleaner production*, 59, 5-21.
- Hart, S. L. (1995). A natural-resource-based view of the firm. *Academy of management review*, 20(4), 986-1014.
- Henisz, W., Koller, T., & Nuttall, R. (2019). Five ways that ESG creates value. *McKinsey Quarterly*, 4, 1-12.
- Morales, A. B., Pérez, G., Galván, K., & Conraud, E. (2024). Retos en la generación de información financiera con criterios ASG. *Jóvenes en la Ciencia*, 28, 1–8. <https://doi.org/10.15174/jc.2024.4524>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución A/RES/70/1. *Naciones Unidas*.
- Nielsen, (2016). The sustainability imperative. New insights on consumer expectations. *Nielsen*.
- Oliver Yébenes, M. Climate change, ESG criteria and recent regulation: challenges and opportunities. *Eurasian Econ Rev* 14, 87–120 (2024). <https://doi.org/10.1007/s40822-023-00251-x>
- Oliva, J. D. (2022). La protección internacional de los bosques y la Agenda 2030. *Derecho Internacional, los ODS y la Comunidad Internacional*, 471-494.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2020). ESG investing: Practices, progress and challenges. *OECD Paris*.
- Owen, J. R., & Kemp, D. (2013). Social licence and mining: A critical perspective. *Resources policy*, 38(1), 29-35.
- Porter, M. E. (1985). Competitive advantage: creating and sustaining superior performance/Michael E. Porter (z-lib. org). pdf, 557.
- Porter, M. (2007). La ventaja competitiva de las naciones. *Harvard business review*, 85(11), 69-95.
- Prno, J., & Slocombe, D. S. (2012). Exploring the origins of ‘social license to operate’ in the mining sector: Perspectives from governance and sustainability theories. *Resources policy*, 37(3), 346-357.
- Rodríguez-Morales, et al. (2024). La relación entre deforestación y el estrés hídrico y su implicación en la sostenibilidad industrial. En Vázquez O., et al. (Ed.), *La emergencia climática, el estrés hídrico y el desarrollo económico regional Análisis y alternativas de solución alrededor de la Malinche* (pp. 516-532) Montiel y Soriano Editores.

- Salzedas, L.F. y Gonzales, A. (2023). Beneficios fiscales y gobernanza corporativa: Cómo una empresa líder en ESG en Brasil destaca y reconoce los incentivos: un análisis de Natura SA. *Redeca, Revista Electrónica del Departamento de Ciencias Contables y del Departamento de Ciencias Actuariales y Métodos Cuantitativos*, 10, e62165-e62165.
- Téllez, J. P. A., & Piñeros, R. A. (2021). Evolución del reporte en sostenibilidad en Latinoamérica bajo los lineamientos del GRI (Global Reporting Initiative). *Signos-Investigación en sistemas de gestión*, 11(2), 63-82.
- Todos, I. (2023). Sustainable business development from the environmental, social and governance criteria perspective. *Economica*, 3(4), 122. DOI: <https://doi.org/10.53486/econ.2022.122.007>
- United Nations Industrial Development Organization. (2020). Inclusive and sustainable industrial development: The fight against COVID-19. UNIDO Policy Brief.
- UNIDO, 2014. Desarrollo Industrial Sostenible e Inclusivo Creando una prosperidad compartida. Recuperado de: <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO%20and%20SDGs%20SP.pdf>
- UNIDO (2022). *Industrial development report 2022: The future of industrialization in a post-pandemic world*. UNIDO. *Industrial Development Report 2022: The Future of Industrialization in a Post-Pandemic World*. UN.
- Wang, N., Pan, H., Feng, Y., & Du, S. (2024). How do ESG practices create value for businesses? Research review and prospects. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 15(5), 1155-1177.
- World Business Council for Sustainable Development, & World Resources Institute. (2001). The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard. World Business Council for Sustainable Development.

MAPPING THE INTELLECTUAL LANDSCAPE OF SUPPLY CHAIN RESILIENCE: CLIMATE CHANGE VS. SUSTAINABILITY

KARL-HEINZ ARVIND ERMISCH
Universidad Europea de Canarias

1. INTRODUCTION

Supply chain resilience (SCR) has become a critical aspect of supply chain management. It is defined as a supply chain's ability to prepare for, respond to, and recover from unexpected disturbances (Christopher & Peck, 2004; Ponomarov & Holcomb, 2009). Over the past two decades, supply chain resilience has experienced significant changes due to the growing complexity and vulnerability of global supply networks. Practices like just-in-time production and global outsourcing have improved efficiency but have also increased susceptibility to disruptions (Ivanov & Dolgui, 2020; Queiroz et al., 2022).

The COVID-19 pandemic showed the importance of supply chain resilience (SCR), revealing vulnerabilities in highly optimized systems and affecting nearly all Fortune 1000 firms (Chowdhury et al., 2021; Ivanov, 2020; Eggert & Hartmann, 2022). This crisis led to a surge in SCR studies, with one bibliometric analysis noting a 62% increase in publications post-2020 (Ribeiro & Barbosa-Póvoa, 2018). The pandemic emphasized existing strategies that enhance resilience, such as flexible sourcing and maintaining buffer inventories. It also brought attention to the importance of digital technologies (Ivanov & Dolgui, 2022; Queiroz et al., 2022). Companies with higher levels of agility and visibility demonstrated greater resilience (Paul & Chowdhury, 2020; Eggert & Hartmann, 2022).

The literature on SCR has shifted from early empirical studies that focused on structured frameworks and calls for clear metrics (Hohenstein et al., 2015; Kamalahmadi & Mellat-Parast, 2016) to data-driven modeling by the late 2010s, reflecting new risks and methods (Ali & Gölgeci, 2019; Golan et al., 2020).

1.1. CLIMATE CHANGE AND SUPPLY CHAIN RISK

Climate change presents a significant risk to supply chains, as the increase in frequency and severity of extreme weather events causes widespread disruptions (Sun et al., 2024; Ghadge et al., 2020; Dasaklis & Pappis, 2013). Disasters arising from climate change have the potential to create extensive spillover effects, with events in one region affecting distant levels of global supply chains (Er Kara et al., 2021; Cui et al., 2024; Nnaji et al., 2024). Forecasts indicate a considerable reduction in global GDP due to the impacts of climate change (Swiss Re, 2021).

Experts call for climate adaptation strategies such as diversifying suppliers, reinforcing logistics infrastructure, and planning contingency sourcing (Ghadge et al., 2020; Ivanov & Dolgui, 2022). Integrating climate risk assessments into supply chain management and collaborating with local communities is vital (Dasaklis & Pappis, 2013; Craighead et al., 2020). SCR literature on climate change often discusses "climate-resilient supply chains" and focuses on external natural hazards affecting supply continuity.

1.2. SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (SSCM)

SSCM, like SCR, has become vital by combining environmental and social responsibility with traditional objectives (Seuring & Müller, 2008; Linton et al., 2007). SSCM encompasses practices like reducing greenhouse gas emissions, enforcing fair labour practices, adopting circular economy principles, and ensuring transparency (Negri et al., 2021; Govindan et al., 2013). These initiatives are driven by regulatory pressures, consumer and investor expectations, and long-term economic viability (Sarkis, 2021; Bag et al., 2023).

Companies with well-established sustainability programs often develop stronger supplier relationships, improve visibility, and encourage

innovation (Eggert & Hartmann, 2022; Carissimi et al., 2023). Thus, for example, investing in supplier development for ethical sourcing can lead to better collaboration and information exchange during disruptions. Furthermore, optimizing resource utilization and reducing waste can enhance resilience by mitigating reliance on scarce inputs (Dubey et al., 2015). During the COVID-19 pandemic, firms with advanced sustainability initiatives displayed greater agility and resilience (Eggert & Hartmann, 2022). This evidence emphasizes the premise that "sustainability is a key to resilience" (Sarkis, 2021; Carissimi et al., 2023), prompting many organizations to integrate sustainability and resilience strategies.

1.3. CLIMATE-CHANGE SCR AND SUSTAINABILITY

Achieving SCR and SSCM together is complex despite some intuitive synergies. Sustainable practices can improve resilience by mitigating vulnerabilities and enhancing adaptive capacity. Sourcing locally, driven by sustainability principles, can diminish exposure to global disruptions (Jabbarzadeh et al., 2018). Circular economy strategies can decrease reliance on virgin materials, thereby offering alternative supply options (Dubey et al., 2015). Research specifically examines "resilient and sustainable supply chains" to optimize both aspects (Zavala-Alcázar et al., 2020; Jabbarzadeh et al., 2018). Studies indicate that it is feasible to design supply networks that minimize environmental impact while sustaining robust resilience (Jabbarzadeh et al., 2018).

Scholars point out trade-offs between sustainability and resilience. While sustainability focuses on efficiency and waste reduction (e.g., lean inventories), resilience emphasizes redundancy and buffers (Negri et al., 2021; López-Castro & Solano-Charris, 2021). While having additional inventory or backup suppliers increases resilience, it may also lead to higher costs, increased waste, and a greater environmental impact; faster shipments enhance resilience but can require energy-intensive transport, which may conflict with sustainability goals. This trade-off between efficiency and redundancy is fundamental (Negri et al., 2021). Research linking SCR and sustainability is fragmented, needing integrative efforts (Negri et al., 2021). Addressing this gap requires an integrated approach as well as multi-criteria decision tools (López-

Castro & Solano-Charris, 2021). Carissimi et al. (2023) found that companies often struggle to excel in both areas simultaneously. The literature suggests that while synergy is possible, it requires deliberate strategies, innovation, and investment.

1.4. BIBLIOMETRIC CONTEXT

Given the growing research volume, bibliometric analysis is a valuable method to map these knowledge domains (Zupic & Čater, 2015). It uses quantitative techniques like citation analysis, co-citation mapping, and keyword co-occurrence to identify influential works, authors, journals, and emergent themes (Ekanayake et al., 2021). This approach is particularly useful for assessing research evolution and interconnectivity. Bibliometric analyses have been applied to SSCM (Syed Jamludin et al, 2024; Amofa et al., 2023; Abd-Razak et al., 2023) and SCR (Kumar et al., 2024; Ekanayake et al., 2021; Castillo, 2023) to reveal intellectual structures and future research directions.

Bibliometric analysis of SCR in climate change and sustainability allows for the comparison of these fields to determine if they share an intellectual base or are distinct. Techniques such as co-citation and bibliographic coupling identify common foundational works, while keyword analysis highlights research priorities like "climate adaptation" and "circular economy." This method objectively maps the research landscape, managing large volumes of publications and providing insights into the structure and dynamics of these areas.

2. OBJECTIVES

Both climate change and sustainability are central to supply chain management, each generating substantial SCR literature. The "SCR & Climate Change" and "SCR & Sustainability" streams have developed separately, with limited integration. The climate change-focused literature addresses external hazards and adaptation (Le & Tran, 2025; Ghadge et al., 2020; Er Kara et al., 2021), while the sustainability-focused literature integrates SCR within the broader field of corporate responsibility (Sarkis, 2021; Negri et al., 2021). There has been no comprehensive

comparison of these research fields to identify areas of convergence, divergence, and opportunities for mutual learning. This gap is significant as companies face dual pressures to decarbonize and ensure durability (Ivanov & Dolgui, 2022; Queiroz et al., 2022). A comparative perspective can highlight similarities or differences in resilience strategies across these contexts, which may lead to a more cohesive approach where supply chains are both resilient and sustainable.

This study conducts a comparative bibliometric analysis of supply chain resilience research in the contexts of climate change and sustainability. The aim is to map and analyse the intellectual landscapes of both areas, identifying intersections and gaps. The specific objectives are to:

- (1) Identify influential publications, authors, and journals in supply chain resilience research related to climate change and sustainability, highlighting key literature in each domain;
- (2) Examine and contrast major research themes (topics, keywords) in the two areas and analyse their evolution over time, identifying shifts in focus or emerging subtopics;
- (3) Assess the extent of overlap between climate-change-focused and sustainability-focused resilience research and identify under-explored or disconnected areas;
- (4) Propose future research directions that integrate climate adaptation and sustainability considerations in building supply chain resilience; and
- (5) Provide insights for practitioners and policymakers on balancing resilience and sustainability goals.

By achieving these objectives, this study offers a thorough overview of how SCR is addressed under both climate change and sustainability frameworks. This will address the increasing need for greater integration of sustainability and resilience research agendas (Negri et al., 2021; López-Castro & Solano-Charris, 2021). The comparative bibliometric approach contributes both academically, by filling a meta-analysis gap, and practically, for organizations navigating climate risks and sustainability mandates. This study aims to map the state of research on supply chain resilience within the contexts of climate change and sustainability, thereby setting the stage for a discussion on how insights from both

streams can be synthesized for more resilient and sustainable supply chain strategies.

3. METHODOLOGY

This study employed a bibliometric analysis to explore supply chain resilience (SCR) research within the contexts of climate change and sustainability.

We used Scopus as the primary data source due to its comprehensive interdisciplinary coverage and reliable indexing. Two distinct keyword queries were executed: (1) SCR and Climate Change: "supply chain resilience" AND "climate change" (57 documents retrieved); and (2) SCR and Sustainability: "supply chain resilience" AND "sustainability" (364 documents retrieved).

Searches were conducted in April 2025, covering publications from 2015 to April 2025, without restrictions on language, document type, or subject area. The 2015 start year captures the notable expansion of SCR research in these areas over the past decade. While some overlap between the datasets was expected, all relevant publications were retained for comparative analysis.

Full bibliographic metadata, including title, authors, publication year, journal, abstract, keywords, and cited references, were exported from Scopus. This comprehensive export was crucial for subsequent citation and co-citation analyses. The two datasets were saved in a VOSviewer-compatible format. Minor data cleaning, such as identifying duplicate records, was performed to ensure data quality and consistency.

VOSviewer (version 1.6.20) was chosen for conducting all bibliometric analyses and visualizations (van Eck & Waltman, 2010). This tool is highly regarded for its capability to manage extensive datasets and produce insightful network visualizations. It is frequently recommended for co-authorship, co-citation, and co-occurrence analyses due to its intuitive interface and robust clustering algorithms (Donthu et al., 2021; Zupic & Čater, 2015). Additionally, its compatibility with Scopus export files and integrated features for mapping authors, keywords, and

citations rendered it particularly suitable for our research objectives (Ekanayake et al., 2021; Amofa et al., 2023).

We conducted a series of bibliometric analyses on each dataset (SCR + Climate Change and SCR + Sustainability), performing analyses separately before comparing the results:

- (1) Co-authorship analysis to examine collaboration networks to identify key authors and research groups in each domain, revealing influential authors and collaboration structures (e.g., distinct author clusters focused on climate versus sustainability);
- (2) Keyword co-occurrence analysis to uncover major research themes by analysing keyword co-occurrences. Networks built from author-provided keywords (with a minimum frequency threshold) showed thematic groupings. VOSviewer's overlay visualization feature was used to study thematic evolution over time, color-coding keywords by average publication year to observe topic emergence (e.g., "circular economy" or "COVID-19" appearing later in sustainability research);
- (3) Citation analysis to identify highly cited publications, pinpointing the most influential papers and illustrating knowledge flow; and
- (4) Bibliographic coupling to assess research focus similarity by linking documents that share one or more references. This method clusters contemporary papers drawing on similar prior literature, indicating current sub-topics or research fronts (e.g., "climate risk assessment models" vs. "green supply chain resilience frameworks").

A comparative analysis of the two bibliometric landscapes was conducted to identify convergence and divergence in research. This process involved examining influential authors, core research themes, and notable gaps or under-explored areas, such as the prominence of "policy and regulatory aspects" in one network but not the other. Thematic evolution was also compared to determine if one field was advancing or lagging on certain emerging topics. VOSviewer's visualization capabilities were

used to interpret these results, facilitating the mapping and comparison of the intellectual structure of SCR research in both contexts.

While measures were taken to ensure methodological rigor, several limitations should be acknowledged.

Relying exclusively on Scopus entails the possibility of omitting pertinent publications from other databases, such as Web of Science (Mongeon & Paul-Hus, 2016). Scopus was chosen for its broad coverage and comprehensive metadata; however, future research could benefit from incorporating multiple databases. The specific search terms used ("supply chain resilience" in conjunction with "climate change" or "sustainability") may exclude relevant studies employing different terminology (e.g., "climate risk management" without mentioning "supply chain resilience"). This approach ensures relevance to our comparison but may not encompass all tangentially related literature.

Publications from earlier years (2015–2022) had more opportunity to accrue citations, which might bias influence metrics (Donthu et al., 2021). To address this, we supplemented citation analysis with keyword and coupling analyses, which are less susceptible to the effects of time lag.

4. RESULTS

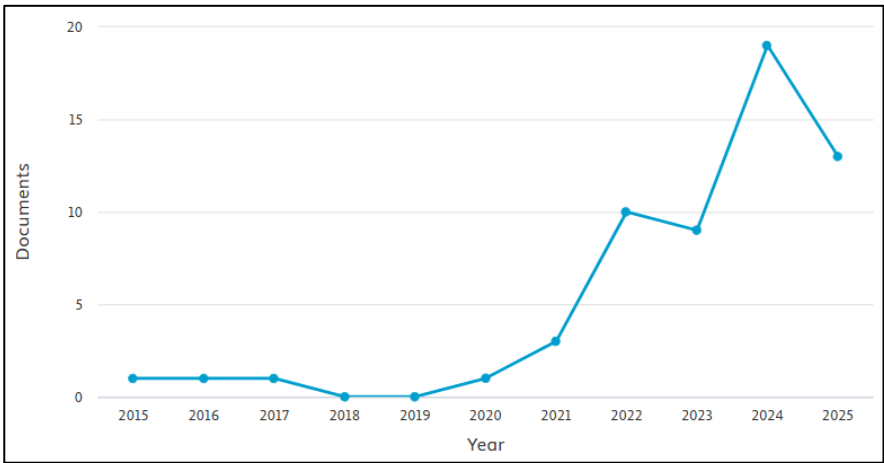
This study analysed publication trends, co-authorship patterns, citation impacts, bibliographic coupling, and keyword co-occurrence for supply chain resilience (SCR) research in the contexts of climate change (SCR+CC) and sustainability (SCR+SUST)

4.1. PUBLICATION TRENDS

Research on SCR+CC showed steady growth from 2015 to 2025, with a notable increase after 2020, reaching 15–20 papers annually by 2023 (Figure 1). In contrast, SCR+SUST research expanded much more rapidly, producing dozens of publications annually by the late 2010s and peaking at over 100 documents per year in 2020–2023 (Figure 2). This indicates that the intersection of SCR and sustainability has attracted a significantly larger research community and gained earlier momentum. Both fields

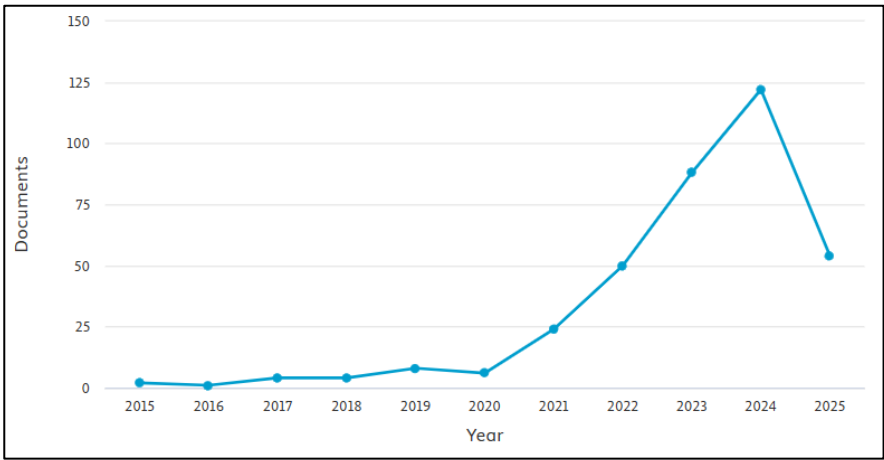
experienced inflection points around 2020–2021, reflecting heightened scholarly attention to SCR likely due to recent global disruptions.

FIGURE 1. *SCR and climate change. Documents per year*



Source: Scopus

FIGURE 2. *SCR and sustainability. Documents per year*

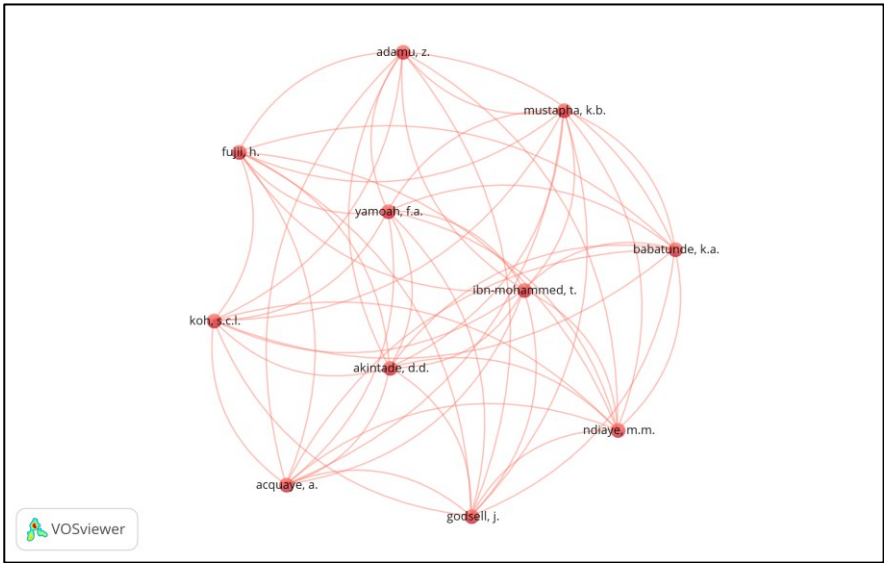


Source: Scopus

4.2. CO-AUTHORSHIP PATTERNS

The SCR+CC co-authorship network (Figure 3), including authors with at least two publications, is relatively small and clustered, suggesting that a limited number of key researchers, such as Constantin Blome and Surajit Bag, drive this area and often collaborate closely. This points to an emerging network where most output is concentrated among a small community.

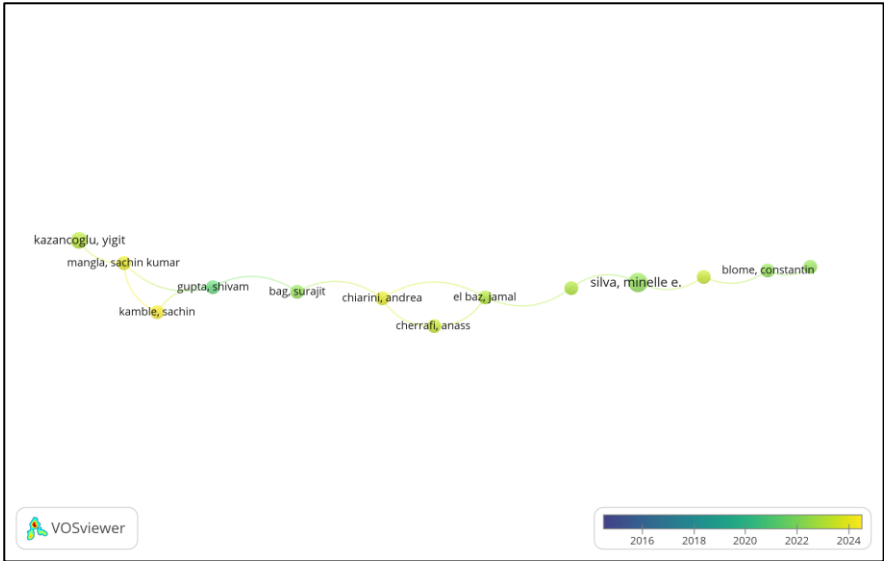
FIGURE 3. SCR and climate change. Co-authorship, authors, minimum documents per author 2



Source: VOSviewer

Conversely, the SCR+SUST co-authorship network (Figure 4) is considerably larger and more complex, reflecting the greater size and maturity of this field. It features multiple distinct collaboration clusters, indicating diverse research groups and geographical collaborations. No single author dominates; instead, numerous contributors have their own networks, with some interlinkages suggesting cross-collaboration. In essence, SCR+SUST involves a broader and more collaborative scholarly community than SCR+CC.

FIGURE 4. SCR and sustainability. Co-authorship, authors, minimum documents per author 2



4.3. CITATION AND SOURCE ANALYSIS

SCR+CC publications are highly concentrated (Table 1), with "Resources, Conservation and Recycling" accounting for an outsized share of total citations (615), likely due to one or two landmark articles. Other top journals, like "Annual Review of Public Health" (39 citations) and "Journal of Cleaner Production" (36 citations), lag far behind. This suggests that influential SCR+CC papers appear in environmental management and public policy outlets rather than mainstream supply chain journals.

TABLE 1. SCR and climate change. Citation, source, minimum documents per source 1

Source	Citations
Resources, Conservation and Recycling	615
Annual Review of Public Health	39
Journal of Cleaner Production	36
Journal of Agriculture and Food Research	32
Computers and Chemical Engineering	30
Cleaner Production Letters	26
International Journal of Production Economics	26

International Journal of Safety and Security Engineering	22
Heliyon	21
Sustainability (Switzerland)	17
Resources, Conservation and Recycling	615

Source: Own work

The SCR+SUST literature is distributed across multiple high-quality journals (Table 2). The "International Journal of Production Research" has 1,220 citations, indicating strong engagement from the operations management community. "Resources, Conservation and Recycling" with 783 citations also holds significance, spanning climate change and sustainability topics. Other important journals include "Sustainability (Switzerland)" with 595 citations, "Business Strategy and the Environment" with 512 citations, and "Supply Chain Management: An International Journal" with 424 citations, showing academic involvement across business strategy and specialized supply chain management fields. Lower-ranked sources in the SCR+SUST list have citation counts comparable to or exceeding most SCR+CC sources, indicating impact across various scholarly platforms.

TABLE 2. SCR and sustainability. Citation, source, minimum documents per source 4

Source	Citations
International journal of production research	1220
Resources, conservation and recycling	783
Sustainability (Switzerland)	595
Business strategy and the environment	512
Supply chain management	424
Sustainable production and consumption	366
Computers and industrial engineering	310
Journal of cleaner production	290
Operations management research	236
Annals of operations research	92
International journal of production research	1220

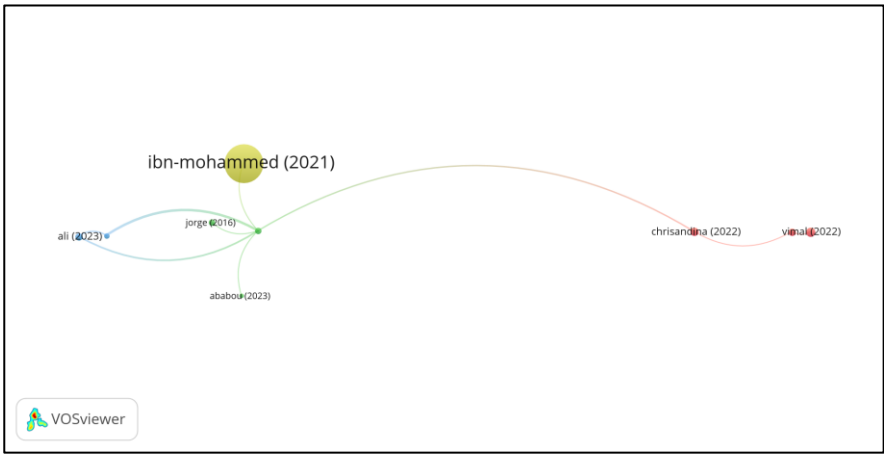
Source: Own work

4.4. BIBLIOGRAPHIC COUPLING

Bibliographic coupling reveals how publications cluster based on shared references.

The SCR+CC bibliographic coupling map (Figure 5) is relatively compact, showing that the climate change-related SCR literature is organized around a limited number of reference clusters. Two main clusters emerge: one likely centering on climate change adaptation and risk management frameworks (e.g., Intergovernmental Panel on Climate Change reports, seminal climate adaptation studies), and another revolving around broader supply chain resilience frameworks applied to climate disruptions (e.g., classic SCR theories by Christopher, Sheffi, Ponomarov). This convergence points to an emerging field where a few seminal works provide the intellectual foundation for most new studies.

FIGURE 5. SCR and climate change. Bibliographic coupling, documents, minimum citations 10

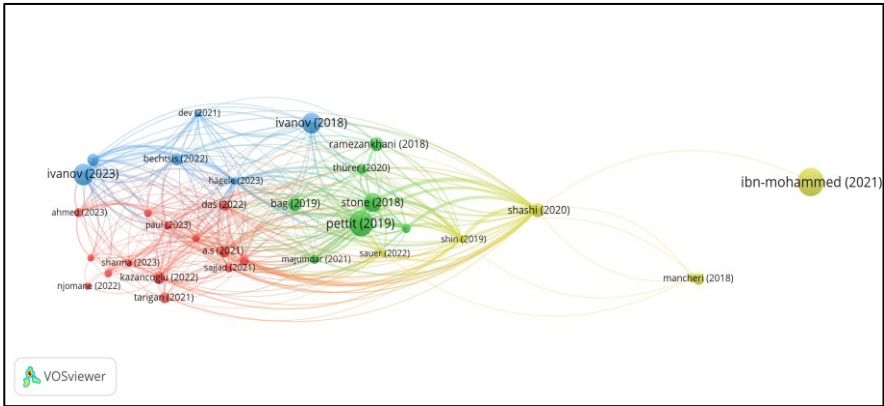


Source: VOSviewer

The SCR+SUST bibliographic coupling network (Figure 6) is larger with several clearly delineated clusters, reflecting a more diversified set of research themes. Each cluster corresponds to a group of papers citing a distinctive set of references, indicating multiple underlying scholarly conversations. Examples include clusters focusing on sustainable supply chain strategy and performance, environmental sustainability and

risk, social sustainability and resilience, and optimization approaches. This diversity underscores a higher level of maturity and specialization, with researchers exploring various angles of sustainable supply chain resilience in parallel.

FIGURE 6. SCR and sustainability. Bibliographic coupling, documents, minimum citations 10



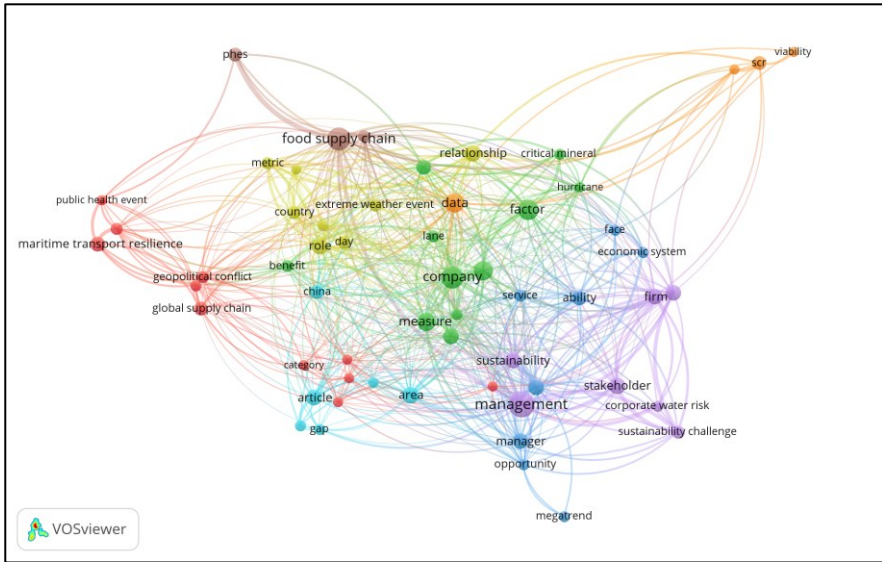
Source: VOSviewer

4.5. TERM AND KEYWORD CO-OCCURRENCE MAPS

Abstract term co-occurrence provides insight into dominant themes. The SCR+CC abstract term network (Figure 7) is strongly centred on climate-induced disruptions and resilience responses. Terms like "climate change," "extreme weather," "natural disasters," and "climate risk" prominently co-occur with "supply chain resilience." This literature consistently frames SCR in the context of specific climate hazards and their impacts, discussing "adaptation," "mitigation," "vulnerability," and "disruption." The network appears focused, suggesting a cohesive thematic emphasis on coping with and preparing for climate risks in supply chains.

The SCR+SUST abstract term network (Figure 8) exhibits a broader array of interlinked themes. "Sustainability" is a central node alongside "supply chain resilience." Terms related to "performance," "efficiency," "management," "environmental impact," "carbon," and "social sustainability" are common.

FIGURE 7. SCR and climate change. Co-occurrence of terms, based on abstract field, with a minimum of 5 occurrences

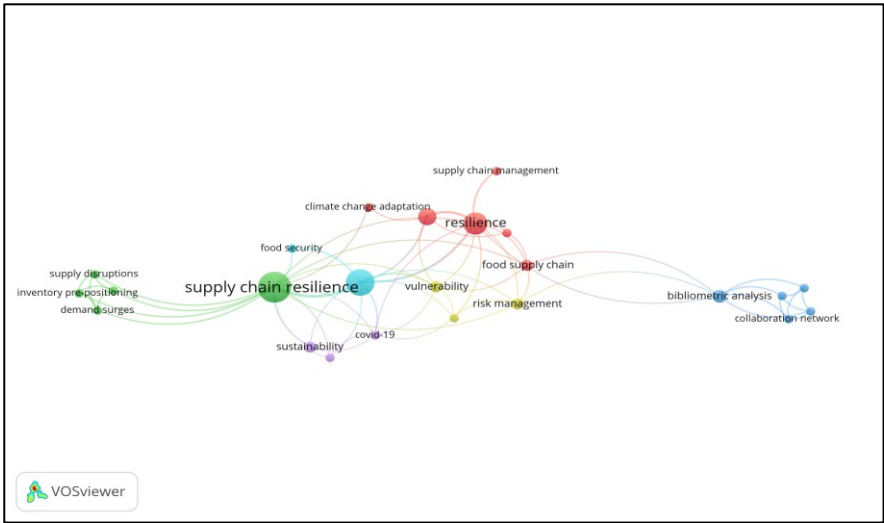


Source: VOSviewer

"Risk" remains important but is often paired with qualifiers like "operational risk" and considered alongside sustainability goals. Terms like "circular economy," "green procurement," "CSR," and "innovation" also appear, reflecting that resilience is often situated within broader sustainable supply chain initiatives. This breadth indicates that SCR+SUST abstracts link resilience not only to risk and recovery but also to sustaining long-term performance, environmental standards, and social responsibilities.

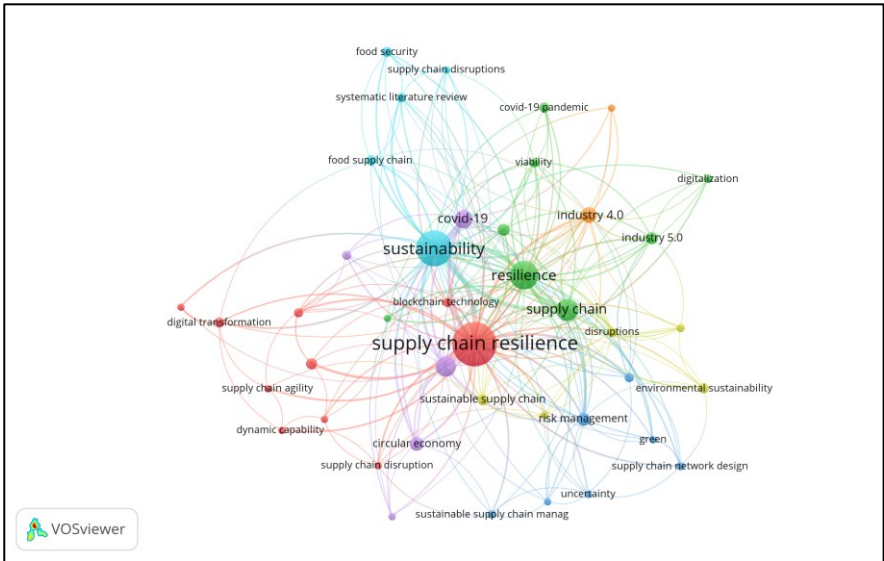
In the SCR+CC dataset, author keyword co-occurrence (Figure 9) is dominated by explicit references to climate and resilience, such as "supply chain resilience," "climate change," and "climate resilience." Other common keywords include "disaster management," "climate adaptation," "risk assessment," and "vulnerability," sometimes with specific contexts like "agri-food supply chain" or "extreme weather events." The tight clustering of these keywords confirms a narrow focus on resilience against climate change or disaster risk.

FIGURE 9. SCR and climate change. Co-occurrence of keywords, based on author words, minimum co-occurrence of 2



Source: VOSviewer

FIGURE 10. SCR and sustainability. Co-occurrence of keywords, based on author words, minimum co-occurrence of 5



Source: VOSviewer

5. DISCUSSION AND IMPLICATIONS

The comparative bibliometric analysis reveals that supply chain resilience (SCR) research linked to climate change has surged in recent years, while the sustainability-oriented literature is more established but evolving. For instance, Castillo (2023) notes a 62% increase in resilience publications after 2020, highlighting significant post-pandemic interest in SCR. Similarly, Negri et al. (2021) observe that sustainable supply chain concepts have been established for a longer period, whereas resilience is still relatively new and sometimes conflicts with efficiency objectives. Citation networks illustrate this: climate-focused SCR studies frequently reference environmental science and engineering sources, while sustainability-focused SCR draws from management and policy journals. Co-authorship maps also indicate distinct knowledge communities. These differences suggest complementary focuses—climate research emphasizes risk mitigation and adaptation, while sustainability research prioritizes ecological performance and long-term viability (Negri et al., 2021). Collectively, the bibliometric results underscore multidisciplinary opportunities (e.g., integrating engineering, ecology, and management) and point to targeted actions by stakeholder groups below.

Implications for Researchers

Researchers should leverage these insights to pursue high-impact, applied studies. The increase in climate-related SCR literature (Castillo, 2023) indicates opportunities to explore new disruptions such as extreme weather and sea-level rise and to evaluate resilience strategies in these contexts. In the sustainability domain, the established field of green and circular supply chains offers research prospects for integrating resilience and sustainability objectives. According to Negri et al. (2021), there is uncertainty about how to achieve both efficiency (sustainability) and effectiveness (resilience); future studies could elucidate combined practices, such as how resource-efficient processes can mitigate shocks. Collaboration is essential: bibliometric co-authorship clusters demonstrate that prominent climate-SCR research typically involves engineering and environmental science, whereas sustainability-

SCR research includes management and policy experts. Researchers can use these networks to form interdisciplinary teams. For instance, Castillo (2023) recommends combining SCR with ecology and engineering knowledge to build a comprehensive theory of resilience. In practice, scholars might analyse real supply chains to test how adaptive capabilities (visibility, flexibility, leadership) improve resilience (as identified by Bag et al., 2024) or perform action research with firms to implement integrated climate–sustainability frameworks. In summary, the bibliometric gaps suggest that applied, cross-disciplinary projects (linking data on climate impacts, supply chain design, and sustainability metrics) would meet both academic and practical needs.

Implications for Practitioners

Supply chain managers and professionals can draw actionable guidance from these trends. The climate focused SCR literature emphasizes proactive risk management: for example, Bag et al. (2024) find that building resilience (or “endurance”) hinges on capabilities like adaptive leadership, visibility, flexibility, collaboration, and redundancy. Practitioners should therefore invest in these areas. Specifically, companies can enhance visibility across multi-tier supplier networks (mapping first and second tier links) to identify climate-related vulnerabilities, as recommended by industry reports. They should diversify sourcing and inventory (redundancy) and cultivate agility through flexible contracts and rapid re-planning. The bibliometric analysis also suggests a link between sustainability and resilience: sustainable practices (e.g., low-carbon procurement, green logistics) often serve the dual purpose of reducing carbon footprint and mitigating disruption (Ghadge et al., 2020). For example, shifting to greener transport modes can both lower emissions and open alternative routing options during floods or storms. In practice, managers might form cross-functional teams combining risk, sustainability, and operations experts to design such strategies. Practitioners should monitor academic trends in both domains and engage with leading authors and journals to discover best practices. Integrating resilience initiatives, such as adaptive processes, contingency plans, and supplier

collaboration, with sustainability goals can protect supply chains against climate events while meeting stakeholder expectations.

Implications for Policymakers

Policymakers have a significant role in developing resilient and sustainable supply chains. The analysis indicates that government and industry focus on environmental supply chains is increasing. Fang et al. (2022) predict that regulators around the world will increasingly enforce green and low-carbon supply chain policies, with research likely to follow this trend. Policymakers could consider integrating supply chain resilience into climate adaptation and sustainability regulations. For example, requiring climate-risk disclosure throughout supply chains or offering incentives like tax breaks or grants for firms investing in resilient, low-carbon infrastructure may encourage the adoption of best practices identified in existing literature. The bibliometric results also highlight the importance of cross-sector collaboration: Castillo (2023) notes the potential benefits of combining supply chain resilience with other fields, such as ecology, to develop a comprehensive global approach. Policymakers can support this by funding interdisciplinary research and establishing public-private task forces on supply chain resilience. Additionally, regulations that promote supply chain mapping (so companies know their suppliers' climate exposure) and encourage supplier diversity can pre-empt the disruptions documented in climate risk studies. Research from SCR+Climate and SCR+Sustainability indicates that policies should address environmental risks and promote sustainable practices simultaneously. For example, resilience standards could be aligned with the Paris Agreement and UN SDGs. By directing resources and oversight towards these integrated goals, policymakers can assist industries in developing supply chains that are both low-impact and resilient against climate shocks.

6. CONCLUSIONS

A comparative bibliometric analysis of supply chain resilience (SCR) literature (2015–April 2025) reveals a surge in publications post-2020. Using Scopus-indexed articles and VOSviewer network analysis, the

study identifies distinct thematic clusters: climate change-focused research emphasizes disaster risk management and infrastructure vulnerabilities, while sustainability-focused studies highlight circular economy practices and social responsibility. Limited overlap in co-authorship and citation networks suggests fragmentation between these domains.

For researchers, the field of supply chain resilience and sustainability is mature, but climate-oriented resilience is emerging. Integration lacks conceptual coherence, requiring unified frameworks that blend efficiency, social impact, and adaptability. Interdisciplinary collaborations and longitudinal studies are vital to explore how green practices enhance resilience.

As for practitioners, resilience must align with sustainability. Strategies include diversification, digital monitoring, and sustainable innovations like renewable energy and green procurement, which reduce carbon footprints and offer sourcing alternatives during disruptions. Alignment with UN Sustainable Development Goals (SDGs) and multi-stakeholder initiatives is key.

In terms of policymaking, integrated frameworks should bridge climate adaptation and sustainable supply chains. Incentives, updated infrastructure, circular economy support, and mandated climate-risk disclosures can drive progress. Coordinated policies, such as national adaptation plans for critical supply chains, enhance resilience.

Connecting SCR, sustainability, and climate agendas is urgent. Integrating these domains is essential for efficient, equitable, and robust supply chains, critical to achieving global climate and development goals.

7. REFERENCES

- Abd-Razak, N., Hassan, M. M., & Sharif, A. (2023). Mapping the trends of sustainable supply chain management research. *Frontiers in Sustainability*, 4, 1129046. <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1129046>
- Ali, I., & Gölgeci, I. (2019). Where is supply chain resilience research heading? A systematic and co-occurrence analysis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 49(8), 793-815. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2019-0038>

- Ali, I., & Gölgeci, I. (2021). Managing climate risks through social capital in agrifood supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 26(1), 1–16. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2020-0124>
- Ambulkar, S., Blackhurst, J., & Grawe, S. (2015). Firm's resilience to supply chain disruptions: Scale development and empirical examination. *Journal of Operations Management*, 33–34, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.11.002>
- Amofa, B., Oke, A., & Morrison, Z. (2023). Mapping the trends of sustainable supply chain management research: A bibliometric analysis of peer-reviewed articles. *Frontiers in Sustainability*, 4, 1129046. <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1129046>
- Bag, S., Rahman, M. S., & Chiarini, A. (2024). Building sustainable supply chain resilience: Insights from a mixed-method study. *Business Strategy and the Environment*, 34(2), 2103–2127. <https://doi.org/10.1002/bse.4071>
- Bag, S., Rahman, M. S., Rogers, H., Srivastava, G., & Pretorius, J. H. C. (2023). Climate change adaptation and disaster risk reduction in the garment industry supply chain network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 171, 103031. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103031>
- Carissimi, M. C., Creazza, A., & Colicchia, C. (2023). Crossing the chasm: Investigating the relationship between sustainability and resilience in supply chain management. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 7, 100098. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2023.100098>
- Castillo, C. (2023). Is there a theory of supply chain resilience? A bibliometric analysis of the literature. *International Journal of Operations & Production Management*, 43(1), 22–47. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-02-2022-0136>
- Chowdhury, P., Paul, S. K., Kaiser, S., & Moktadir, M. A. (2021). COVID-19 pandemic related supply chain studies: A review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 148, 102271. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102271>
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Craighead, C. W., Ketchen Jr, D. J., & Darby, J. L. (2020). Pandemics and supply chain management research: Toward a theoretical toolbox. *Decision Sciences*, 51(4), 838–866. <https://doi.org/10.1111/deci.12468>
- Dasaklis, T. K., & Pappis, C. P. (2013). Supply chain management in view of climate change: An overview of possible impacts and the road ahead. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(4), 1124–1138. <https://doi.org/10.3926/jiem.883>

- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Dubey, R., Gunasekaran, A., & Childe, S. J. (2015). The design of a responsive sustainable supply chain network under uncertainty. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80, 427–445.
<https://doi.org/10.1007/s00170-015-6967-8>
- Eggert, J., & Hartmann, J. (2022). Sustainable supply chain management – A key to resilience in the global pandemic. *Supply Chain Management: An International Journal*, 28(3), 486–507. <https://doi.org/10.1108/SCM-10-2021-0463>
- Ekanayake, E. M. A. C., Shen, G. Q., & Kumaraswamy, M. (2021). Supply chain resilience: Mapping the knowledge domains through a bibliometric approach. *Built Environment Project and Asset Management*, 11(4), 705–721. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-03-2020-0040>
- Er Kara, M., Ghadge, A., & Bititci, U. S. (2021). Modelling the impact of climate change risk on supply chain performance. *International Journal of Production Research*, 59(24), 7317–7335.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1849844>
- Fang, H., Fang, F., Hu, Q., & Wan, Y. (2022). Supply chain management: A review and bibliometric analysis. *Processes*, 10(9), 1681.
<https://doi.org/10.3390/pr10091681>
- Ghadge, A., Wurtmann, H., & Seuring, S. (2020). Managing climate change risks in global supply chains: A review and research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(1), 44–64.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1629670>
- Golan, M. S., Jernegan, L. H., & Linkov, I. (2020). Trends and applications of resilience analytics in supply chain modeling: systematic literature review in the context of the COVID-19 pandemic. *Environment Systems and Decisions*, 40(2), 222–243. <https://doi.org/10.1007/s10669-020-09777-w>
- Govindan, K., Khodaverdi, R., & Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*, 47, 345–354.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.014>
- Hohenstein, N.-O., Feisel, E., Hartmann, E., & Giunipero, L. (2015). Research on the phenomenon of supply chain resilience: A systematic review and paths for further investigation. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45(1/2), 90–117.
<https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2013-0128>

- Ivanov, D. (2020). Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 136, 101922. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101922>
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak. *International journal of production research*, 58(10), 2904-2915. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1750727>
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2022). Stress testing supply chains and creating viable ecosystems. *Operations Management Research*, 15(1), 475-486. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00194-z>
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Sabouhi, F. (2018). Resilient and sustainable supply chain design: sustainability analysis under disruption risks. *International Journal of Production Research*, 56(17), 5945-5968. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1461950>
- Kamalahmadi, M., & Mellat-Parast, M. (2016). A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research. *International Journal of Production Economics*, 171, 116-133. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.023>
- Kumar, A., Singh, R. K., & Singh, D. (2024). Supply chain resilience in developing countries: a bibliometric analysis and future research directions. *Benchmarking: An International Journal*, 31(2), 648-671. <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2023-0112>
- Le, M. H., & Phi Tran, P. (2025). Managing supply chain resilience in climate and disaster-prone environments: A bibliometric analysis. *Climate Resilience*, 3(1), 14-32. <https://doi.org/10.1108/CR-01-2025-0003>
- Linton, J. D., Klassen, R., & Jayaraman, V. (2007). Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1075-1082. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.012>
- López-Castro, L. F., & Solano-Charris, E. L. (2021). Integrating resilience and sustainability criteria in the supply chain network design. A systematic literature review. *Sustainability*, 13(19), 10925. <https://doi.org/10.3390/su131910925>
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213-228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Negri, M., Cagno, E., Colicchia, C., & Sarkis, J. (2021). Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 30(7), 2858-2886. <https://doi.org/10.1002/bse.2776>

- Nnaji, U. O., Benjamin, L. B., Eyo-Udo, N. L., & Etukudoh, E. A. (2024). Strategies for enhancing global supply chain resilience to climate change. *International Journal of Modern Engineering Research*, 6(5), 1141. <https://doi.org/10.51594/ijmer.v6i5.1141>
- Paul, S. K., & Chowdhury, P. (2020). A production recovery plan in manufacturing supply chains for a high-demand product during COVID-19. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 51(2), 104–129. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-04-2020-0127>
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124–143. <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- Queiroz, M. M., Ivanov, D., Dolgui, A., & Fosso Wamba, S. (2022). Impacts of epidemic outbreaks on supply chains: mapping a research agenda amid the COVID-19 pandemic through a structured literature review. *Annals of Operations Research*, 319(1), 1159–1196. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03685-7>
- Ribeiro, J. P., & Barbosa-Povoa, A. (2018). Supply Chain Resilience: Definitions and quantitative modelling approaches—A literature review. *Computers & industrial engineering*, 115, 109–122. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.006>
- Sarkis, J. (2021). Supply chain sustainability: Learning from the COVID-19 pandemic. *International Journal of Operations & Production Management*, 41(1), 63–73. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0568>
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>
- Sun, Y., Zhu, S., Wang, D., Duan, J., Lu, H., Yin, H., Tan, C., Zhang, L., Zhao, M., Cai, W., Wang, Y., Hu, Y., Tao, S., & Guan, D. (2024). Global supply chains amplify economic costs of future extreme heat risk. *Nature*, 627, 797–804. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07147-z>
- Swiss Re Institute. (2021). *The economics of climate change: No action not an option*. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>
- Syed Jamaludin, S. Z. H., Mustapa, M., Mohamad Ramly, Z., & Muhammad, N. A. (2024). Resilience strategies in sustainable supply chain management: bibliometric analysis and future research directions. *Built Environment Journal*, 21(2), 204–223. <https://doi.org/10.24191/bej.v21i2.976>

- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Zavala-Alcívar, A., Verdecho, M. J., & Alfaro-Saiz, J. J. (2020). A conceptual framework to manage resilience and increase sustainability in the supply chain. *Sustainability*, 12(16), 6300. <https://doi.org/10.3390/su12166300>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

SECCIÓN IV.

AGRICULTURA, AGUA
Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

BACILLUS SPP. COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA UNA AGRICULTURA RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

MACARENA SOLA MONTILLA

*Departamento de Microbiología
Universidad de Jaén*

JULIA MANETSBERGER

*Departamento de Microbiología,
Universidad de Jaén*

NATACHA CABALLERO GÓMEZ

*Departamento de Microbiología,
Universidad de Jaén*

NABIL BENOMAR

*Departamento de Microbiología,
Universidad de Jaén*

HIKMATE ABRIQUEL

*Departamento de Microbiología,
Universidad de Jaén*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GÉNERO *BACILLUS*

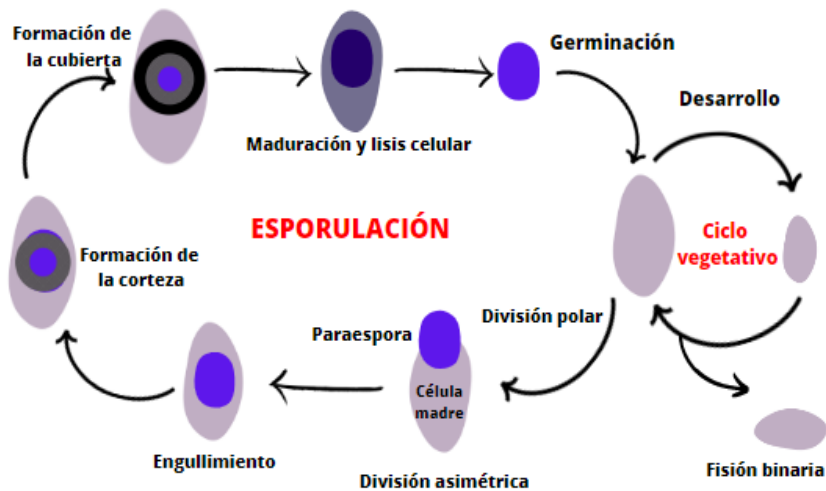
Las bacterias pertenecientes al género *Bacillus* son bacterias Gram-positivas productoras de endosporas resistentes. Este género fue descrito por primera vez por Ferdinand Cohn en 1872. El crecimiento de estas bacterias es aerobio y en algunas ocasiones anaerobio facultativo teniendo morfología bacilar y movilidad flagelar (Villarreal-Delgado, M et ál., 2018).

Los representantes del género *Bacillus* se encuentran ampliamente distribuidos en todo tipo de ambientes y ecosistemas, desde hábitats acuáticos hasta extremófilos. No obstante, el suelo se considera el principal

reservorio de estos seres vivos ya que la mayoría son organismos saprófitos (Villarreal-Delgado, M et ál., 2018).

Las esporas producidas por estas bacterias les confieren a estas la capacidad de sobrevivir en diferentes ecosistemas durante un largo periodo de tiempo. Cuando las bacterias se encuentran expuestas a ambientes o situaciones extremas, como puede ser la falta de nutrientes, son capaces de esporular y entrar en latencia. Cuando las esporas germinan y pierden la latencia son mucho más sensibles y fáciles de ser destruidas (Setlow 2014). Muchas de las esporas de las especies del género *Bacillus* son las causantes del deterioro en alimentos, intoxicaciones alimentarias e incluso patologías en humanos (Setlow,P., Johnson E.A 2012). Otras esporas en cambio, pueden ser una importante amenaza bioterrorista como las de *Bacillus anthracis*. Por ese motivo, es de mucho interés estudiar los mecanismos de resistencia de esas esporas y como acabar con ellas (Setlow 2014).

FIGURA 1. Representación del proceso de esporulación en el género *Bacillus*. La esporulación en *Bacillus* spp. inicia cuando la bacteria enfrenta condiciones de estrés (falta de nutrientes, cambios de pH, temperatura o salinidad). Ocurre entonces una división celular asimétrica que genera la célula madre y la preespora. La preespora es engullida, madura formando corteza y cubierta protectora, y finalmente la célula madre muere por lisis liberando la espora resistente. (Villarreal-Delgado, M et ál., 2018).



Fuente: Elaboración propia

1.2. USO DE *BACILLUS* SPP. EN LA AGRICULTURA

El cambio climático progresivo y la contaminación ambiental están intensificando la búsqueda de nuevas vías para contrarrestar sus efectos (Dobrzyński, J et ál., 2022). En el campo de la agricultura, por ejemplo, cada vez son más las diferentes alternativas que se aplican para reemplazar aquellos medios o vías que conducen a la contaminación o que simplemente tienen efectos nocivos para el ser humano.

Los fertilizantes, insecticidas y distintos tratamientos químicos aplicados en la agricultura actúan de forma efectiva en los cultivos, sin embargo, a largo plazo pueden causar efectos no deseados tanto en los propios cultivos como en los humanos o seres vivos que los consuman. Esta es una de las razones de peso que empujan a que en la actualidad se están buscando alternativas a ese uso de químicos, pero de una forma más respetuosa para el medio ambiente (Ongena, M., Jacques, P 2008).

Uno de los proyectos actuales que está en marcha para conseguir un sistema alimentario justo, saludable y respetuoso con el medio ambiente es “The Farm to Fork Strategy” - El plan de la Unión Europea para crear un sistema alimentario justo, saludable y respetuoso con el medio ambiente, rediseñando toda la cadena de valor alimentaria para hacerla sostenible desde la producción hasta el consumo (<https://bit.ly/3KiEGpp>). Este proyecto es parte del “European Green Deal” de la Unión Europea, y expone la necesidad de reestructurar los sistemas alimentarios para reducir el impacto ambiental, mejorar la salud pública y aumentar la transparencia en la cadena de suministros de alimentos. Así, una de las medidas propuestas aborda la reducción del uso de pesticidas y fertilizantes químicos, promoviendo así una agricultura más ecológica y mejorando la calidad de los alimentos (<https://bit.ly/3KiEGpp>).

Asimismo, el uso masificado de productos químicos para controlar las enfermedades de las plantas ha provocado una alteración en el equilibrio ecológico de los microorganismos edáficos. Esta situación conduce al desarrollo de cepas resistentes a patógenos, la contaminación de aguas y riesgos para la salud (Meena, K. R et ál., 2015).

Una estrategia prometedora para refutar esta situación es el uso de *Bacillus* spp. en la agricultura. *Bacillus* spp. son bacterias Gram positivas formadoras de esporas ampliamente distribuidas en diferentes condiciones ambientales. Muchas de las especies de este género de bacterias se usan como biofertilizantes, biopesticidas e incluso bioinsecticidas. Además, muchas de las bacterias de este género son no patógenas, por lo que se están usando de forma cada vez mayor en la industria alimenticia (Zerihun T. Dame et ál., 2021).

No obstante, estas bacterias son usadas en otros campos como puede ser la biotecnología para producir alimentos transgénicos o en la industria alimenticia. La gran variabilidad de sus posibles usos reside entre otras cosas en la producción de metabolitos secundarios bioactivos (Zerihun, T et ál., 2021).

A algunos de estos *Bacillus* se les denomina rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) (Gray, E.J., Smith, D.L 2005). Estas bacterias colonizan la zona radicular de la planta e impulsa su crecimiento además de activar los mecanismos de defensa de la planta contra fitopatógenos. *Bacillus* spp. mejora el crecimiento de los cultivos mediante la solubilización de fósforo (P) y potasio (K), la fijación de nitrógeno, la producción de fitohormonas o la formación de biopelículas (Khan, A. R et ál., 2022).

Estas bacterias, al ser microorganismos naturales, son respetuosas con el medio ambiente y además de mejorar el crecimiento de los cultivos, les puede conferir resistencia a enfermedades y mejorar la fertilidad del suelo favoreciendo así la agricultura sostenible (Khan, A. R et ál., 2022).

Además de la capacidad insecticida innata que poseen, la incorporación de genes de toxinas a cultivos transgénicos aumenta esa resistencia frente a insectos y las posibles plagas que puedan causar. Estas bacterias, por añadidura, mejoran la tolerancia frente a estreses bióticos y abióticos (Zerihun T. Dame et ál., 2021).

El número de especies de *Bacillus* identificadas como posibles agentes de biocontrol aumenta progresivamente. Estas bacterias PGPR protegen a la planta de diferentes enfermedades mediante la producción de antibióticos, compuestos orgánicos y biopelículas (Khan, A. R et ál., 2022).

1.2.1. *Bacillus* spp. como antagonistas de patógenos

Los fitopatógenos, independientemente de su naturaleza, suponen una amenaza para la seguridad alimentaria a nivel mundial pues no solo son una fuente de enfermedades y daños a la salud, sino también una fuente de pérdida económica. El uso de *Bacillus* spp. en la agricultura ha permitido que numerosas especies vegetales sean capaces de resistir a muchos de sus patógenos (Beneduzi, A et ál., 2012).

Uno de los principales problemas para los cultivos son los patógenos fúngicos. Estas bacterias luchan contra estos patógenos a través de enzimas líticas y metabolitos secundarios. *Bacillus* spp. tienen distintos mecanismos de acción contra ellos, principalmente lo que hace es: inducir la muerte celular, inhibir el crecimiento de las hifas, competir por el espacio y los nutrientes, producir metabolitos secundarios que inhiben su crecimiento y desarrollo e incluso promover la inmunidad del huésped. Por ello, muchos *Bacillus* spp. son usados como agentes de biocontrol para combatir a los hongos productores de micotoxinas (Islam, M et ál., 2016).

Aunque plantas e insectos pueden mantener relaciones de beneficio mutuo, no siempre es así. La mayoría de los insectos causan distintas patologías y daños a los cultivos provocando grandes pérdidas. Por este motivo, se empezaron a utilizar los insecticidas químicos, un remedio eficaz para acabar con las plagas, pero con un fuerte impacto ambiental. Esto condujo a la búsqueda de distintos métodos naturales para acabar con ellas (Aniruddha, S et ál., 2021).

De todos los *Bacillus* spp. con capacidad insecticida, el más usado hoy en día es *B. thuringiensis*. Se obtienen cultivos transgénicos resistentes a insectos gracias a la adición de genes de esta cepa que producen toxinas. La principal toxina producida es la toxina *Cry* además de las proteínas Vips (proteínas vegetativas insecticidas). Con el uso de estas bacterias no se consigue solo eliminar plagas sino también los posibles patógenos que estos puedan transportar (Zerihun, T et ál., 2021).

Los principales productos inhibidores de patógenos incluyen los productos antimicrobianos donde encontramos: péptidos antimicrobianos sintetizados ribosomalmente (bacteriocinas), péptidos sintetizados no ribosomalmente

(NRP) y policétidos (PK). Los péptidos NRP son los mejores antimicrobianos característicos de bacilos endófitos (Lopes, R et ál., 2018).

1.2.2. *Bacillus* spp. como bacterias endófitas

Las bacterias endófitas son aquellas que habitan durante al menos una parte de su ciclo de vida en el interior de las plantas o cultivos sin causarles daño estableciendo una relación simbiótica y jugando un importante papel en el desarrollo crecimiento y diversificación de las plantas (Hardoim, P et ál., 2015).

Varias especies endófitas de *Bacillus* spp. han surgido como alternativa a las prácticas usuales de manejo de los cultivos para lograr un mayor rendimiento. Brindan una gran cantidad de beneficios entre los que cabe destacar (i) protección contra fitopatógenos, insectos y nematodos, (ii) proporcionar resistencia y (iii) promover el crecimiento de la planta sin causar ningún daño al medio ambiente (Lopes, R et ál., 2018).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evidenciar las virtudes del uso de *Bacillus* spp. en la agricultura comercial en los últimos años como consecuencia de sus idóneas cualidades fisiológicas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las especies de *Bacillus* spp. utilizadas con más frecuencia en la agricultura comercial.
- Describir y establecer las ventajas que tiene el uso de organismos formadores de esporas en el ámbito de la agricultura mercantil.
- Exponer ejemplos de los diferentes usos de *Bacillus* spp. en la agricultura.

3. RESULTADOS

3.1 BACILLUS THURINGENSIS

Bacillus thuringiensis es una bacteria Gram positiva formadora de esporas. Esta bacteria destaca por la capacidad que tiene de producir proteínas cristalinas (Cry).

La creciente demanda de alimentos libres de pesticidas químicos ha empujado al empleo de *Bacillus thuringiensis* (Bt) a ser el principal y más exitoso microorganismo utilizado en el control biológico (Melo, A. L et ál., 2016). Además de todas las características o propiedades que pueda tener, parte de su éxito en la agricultura comercial se debe a que esta cepa es respetuosa con el medio ambiente (Kumar, P et ál., 2021).

Bt además tiene actividad contra nematodos, ácaros y garrapatas y efectos antagónicos contra otras bacterias y hongos patógenos de plantas y animales. Igualmente, esta bacteria cuenta con la capacidad de biorremediación de metales pesados y actividad anticancerígena gracias a las parasporinas (Jouzani, G. S et ál., 2017). Bt es un bioinsecticida altamente específico del huésped lo cual permite reducir efectos secundarios negativos a otros organismos (Jain et ál., 2016).

Bt produce una serie de toxinas que son inclusiones paraesporales - denominado Cry - generado durante el proceso de esporulación. Es en esa toxina donde reside la actividad pesticida de *Bacillus thuringiensis*. Lo que se hace en la agricultura es conseguir la expresión de las proteínas Cry en los distintos cultivos para que produzcan dicha toxina y sean capaces de actuar contra los diferentes invertebrados que afectan a las plantaciones (Jouzani, G. S et ál., 2017). Principalmente esta toxina afecta a dípteros, coleópteros y lepidópteros (Kumar, P et ál., 2021) aunque también existen investigaciones donde se afirma su actividad sobre himenópteros y nematodos (Domínguez-Arrizabalga et ál., 2020).

Esta toxina afecta a las diferentes células de los insectos provocando la aparición de poros en sus membranas (Heckel, D. G 2020). Esos poros provocan la parálisis del intestino y por consecuencia la muerte del insecto (Kumar, P et ál., 2021).

No obstante, durante la fase vegetativa de crecimiento también producen proteínas insecticidas: Vips (proteínas insecticidas vegetativas). Esas proteínas tienen actividad insecticida siendo otra alternativa al uso de insecticidas químicos. Actualmente se han descrito 15 proteínas Vip1, 20 proteínas Vip2, 101 proteínas Vip3 y una proteína Vip4. Las proteínas Vip1 y 2, siendo estas las más extendidas y estudiadas, actúan como toxinas binarias contra algunos coleópteros y hemípteros a diferencia de Vip3 que es efectivo contra lepidópteros. No obstante, no se ha encontrado ningún insecto diana para Vip4 (Chakroun, M et ál., 2016).

3.2. BACILLUS LICHENIFORMIS

Bacillus licheniformis es una bacteria Gram-positiva formadora de esporas cuyo principal hábitat es el suelo. Al igual que otros *Bacillus* spp., esta cepa produce una serie de compuestos que son empleados en agricultura, biomedicina, farmacéutica, alimentación y gestión ambiental (Hehe, H et ál., 2023).

Además de su extendido uso como probiótico, *B. licheniformis* se está abriendo paso en diferentes campos de la biotecnología como puede ser la manipulación genética o la producción de biocombustibles (Muras, A et ál., 2021). Esta cepa tiene una gran capacidad de producción de enzimas, por lo que ha sido explotada en los últimos años con el fin de producir por ejemplo α -amilasa. Una de las ventajas de estas enzimas es su termoestabilidad, permitiendo su uso de forma más eficiente (Hehe, H et ál., 2023).

Bacillus licheniformis cuenta con un doble motor para la eliminación del nitrógeno. Por un lado, usa parte de ese nitrógeno para su propio crecimiento y por otro, convierte el nitrógeno inorgánico en nitrógeno gaseoso por desnitrificación. Debido a esta capacidad, esta bacteria es una buena candidata para la eliminación biológica del nitrógeno del agua. No solo puede mejorar la calidad del agua, sino que puede actuar como biorremediador del suelo (Hehe H, et ál., 2022).

Un estudio realizado con *Bacillus licheniformis* NCCP-59 demostró que esta cepa tiene la capacidad de mejorar la germinación de semillas de arroz además de proteger a la planta del níquel y sus efectos. Por

tanto, *Bacillus licheniformis* puede usarse para la fitorremediación de aquellos suelos contaminados con Ni (Jamil, M et ál., 2014).

3.3. BACILLUS SUBTILIS

Al igual que el resto de *Bacillus* spp., *B. subtilis* es una bacteria Gram-positiva formadora de endosporas. *Bacillus subtilis* desarrolla un papel fundamental en la industria ya que actúa como una fábrica de células microbianas que producen enzimas, antibióticos, vitaminas y proteínas. Del mismo modo, esta cepa es empleada en alimentos, piensos y productos cosméticos, químicos y farmacéuticos (Subhasmita, M et ál., 2022). De entre las principales vitaminas que produce cabe destacar: vitamina B2, vitamina K, ácido hialurónico y N-acetilglucosamina.

Esta cepa es un probiótico, por ello se usa como aditivo para mejorar el tránsito intestinal en animales, además de promover el crecimiento y proteger frente a enfermedades (Lee, N et ál., 2019). Actúa a través de endosporas que, cuando entran en contacto con las enzimas del tracto intestinal, se reactivan y colaboran con la degradación de hidratos de carbono. Además, produce unos polipéptidos que actúan contra patógenos intestinales. Por tanto, *Bacillus subtilis* mejora la microbiota y la salud intestinal. Se ha demostrado que su uso en el alimento de ganado lechero mejora la producción de leche y proteínas (Su, Y et ál., 2020).

Para un favorable crecimiento de los cultivos, no solo hay que mejorar mecanismos de desarrollo sino velar por el estado del suelo y las aguas que lo bañan. Por esa razón, *B. subtilis* puede ser empleado para la biorremediación del agua y prevención de patologías en organismos acuáticos (Wang, G et ál., 2020).

Esta alta resistencia al estrés abiótico se debe a la organización genómica y a las capacidades metabólicas de *B. subtilis* (Subhasmita, M et ál., 2022). Esta bacteria cuenta con cuantiosos genes para promover el crecimiento de las plantas y controlar a la vez el impacto del estrés abiótico (Leontidou, K et ál., 2020).

Del mismo modo, *B. subtilis* es una PGPR (rizobacterias promotoras del crecimiento de plantas) formadora de biopelículas que ayudan a las plantas a absorber nutrientes. Además, regula los procesos físico-

químicos de la planta huésped mediante la producción de compuestos orgánicos volátiles (COV). *Bacillus subtilis* es usado también en la tierra de cultivo para reducir la liberación de nitrógeno y amoníaco. Además, permite que el suelo en su presencia adquiera la aireación adecuada para mantener el ecosistema (Subhasmita, M et ál., 2022).

3.4. BACILLUS PUMILUS

Bacillus pumilus habita en un amplio abanico de ambientes siendo además una bacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPB). Ese fomento del desarrollo lo produce al sintetizar fitohormonas, sideróforos, IAA (ácido indol acético), solubilizando el fosfato y alterando la microbiota nativa del suelo. Es crucial destacar que *Bacillus pumilus* es capaz de fijar N₂ atmosférico reduciéndolo a amoníaco a través de la producción de nitrogenasa (Sajid Masood, X et ál., 2020).

Gracias a todos esos mecanismos de impulso del crecimiento, este bacilo consigue en la planta aumentar la longitud radicular, así como el área de su superficie, el número de nudos y el contenido en clorofila. Muchos de esos crecimientos se deben a que *Bacillus pumilus* es capaz de activar los genes de crecimiento de las diferentes partes de la planta (Dobrzyński, J et ál., 2022).

En relación con los estreses, *B. pumilus* ayuda a combatir los ROS (radicales libres de oxígeno) del estrés oxidativo y además permite el crecimiento de los cultivos en ambientes expuestos a alta salinidad y metales pesados (Cd y B) (Kumar, A et ál., 2021).

3.5. LYSINIBACILLUS SPHAERICUS

Lysinibacillus sphaericus, anteriormente conocido como *Bacillus sphaericus*, es una bacteria Gram positiva formadora de esporas, siendo estas endosporas terminales. La peculiaridad de este grupo recae en su capacidad de usar el acetato como fuente de carbono y su posesión de lisina y ácido aspártico en el peptidoglicano de la pared celular (Hernández-Santana, A et ál., 2022). Esta última característica es la responsable de que esta bacteria se reasignase como *Lysinibacillus sphaericus* (Berry, C 2012).

Las primeras bacterias descritas con actividad insecticida datan de 1965 y *Lysinibacillus sphaericus* es una de ellas. Con el objetivo de acabar con plagas en los cultivos o con diferentes invertebrados que afectan a las plantas han surgido en los últimos años diferentes estudios sobre *Lysinibacillus sphaericus* como una posible solución. Dichos estudios han confirmado que los mosquitos son su principal objetivo, aunque puedan afectar a otros invertebrados. *Lysinibacillus sphaericus* no solo afecta a las larvas, sino que también tiene la capacidad de reducir la puesta de huevos e incluso la muerte de mosquitos adultos como es el caso de *Culex quinquefasciatus* (Berry, C 2012).

Algunas cepas tienen actividad larvicida lo cual ha permitido su uso en programas de control de enfermedades como la malaria, la fiebre amarilla, el dengue o el virus del Nilo Occidental ya que todos ellos tienen a insectos, en concreto mosquitos como vectores (Hernández-Santana, A et ál., 2022). Las diferentes toxinas liberadas por esta bacteria son eficaces contra las larvas no solo de mosquitos sino también de *Chrironomus riparius*, *Blattella germanica* e *Spodoptera litura* (Berry, C 2012).

Las cepas más tóxicas producen durante la esporulación una toxina binaria compuesta por las proteínas BinA y BinB. La acción conjunta de ambas permite la entrada al intestino medio y la posterior lisis celular. Además, en las cepas de alta y baja toxicidad se producen toxinas Mtx1, Mtx2 y Mtx3 (Lozano, L.C et ál., 2013). Al igual que *B. thuringiensis*, *B. sphaericus* produce proteínas Vip1 y 2 (Chakroun, M et ál., 2016).

Por añadidura, *L. sphaericus* es usado en la biorremediación. Es capaz de reducir metales pesados propios de suelos metalíferos, pero también de vertederos industriales (Lozano, L.C et ál., 2013).

3.6. BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS

Bacillus amyloliquefaciens (BA) es un candidato prometedor como bacteria para el crecimiento vegetal (PGPB) sin efectos nocivos. BA tiene la capacidad de mejorar la disponibilidad de nutrientes propios del suelo como pueden ser el nitrógeno, fósforo y potasio además de la producción de sideróforos (Luo, L et ál., 2022).

Los sideróforos son unos metabolitos secundarios que eliminan el hierro (Fe) del ambiente y lo entregan a las células (Kramer, J et ál., 2020). El Fe es un metal imprescindible para las plantas ya que es el cofactor de muchas enzimas por lo que no pueden crecer en suelos donde el Fe esté ausente. Es aquí donde los sideróforos juegan un papel crucial. Estos compuestos pueden quelar Fe^{3+} y producir los complejos solubles (complejo Fe-fitosideróforo) para ser absorbidos por la planta o unir el hierro disponible en el suelo para que no esté disponible para los diferentes patógenos que afectan a las plantas (Luo, L et ál., 2022)

Además de mejorar la fijación de N_2 , BA puede degradar N orgánico (amonificación), promoviendo el crecimiento de la planta. Esta capacidad junto con la de producir compuestos orgánicos volátiles (COV) y hormonas, conducen al desarrollo y crecimiento de las células vegetales y raíces.

Produciendo sustancias como COV, lipopéptidos y policétidos, esta bacteria mejora la resistencia de las plantas frente al estrés biótico causado por patógenos del suelo a través de la competencia de nichos y nutrientes (Jamail, H et ál., 2018). En este sentido, BA coloniza los nichos ecológicos similares a los de los fitopatógenos (Luo, L et ál., 2022).

El estrés abiótico como la sequía, la salinidad o la presencia de metales pesados puede ser perjudicial para el desarrollo y calidad de los cultivos. BA otorga tolerancia a los cultivos frente a estos estreses provocando cambios genéticos, químicos o físicos (Shahzad, R et ál., 2019).

Otro tipo de estrés es el estrés oxidativo causado por la producción de ROS (radicales libres de oxígeno), que es muy perjudicial para los cultivos. No obstante, sus daños se pueden ver reducidos gracias a *Bacillus amyloliquefaciens* ya que estimula notablemente el sistema antioxidante de la planta (Luo, L et ál., 2022).

3.7 BACILLUS MEGATERIUM

Bacillus megaterium es una bacteria edáfica Gram positiva, aerobia formadora de esporas. Esta cepa posee una serie de características que la convierten en un organismo industrial idóneo como puede ser su capacidad de utilizar diferentes fuentes de carbono e incluso crecer en un amplio rango de temperatura (3°C - 45°C). Esta bacteria es promotora

del crecimiento de plantas (PGPB) además de ser útil como cepa bio-control contra fitopatógenos (Goswami, G et ál., 2018).

Algunos estudios han demostrado que *B. megaterium* tiene un gran potencial para conferir resistencia al estrés salino y estrés por presencia de metales pesados favoreciendo la germinación. (Nascimento F.X et ál., 2020). En concreto, se ha estudiado la resistencia a boro (B), plomo (pb) y cadmio (Cd) (Esringü, A et ál., 2014).

3.8. PERIBACILLUS SIMPLEX

Peribacillus simplex es una bacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPB) que no solo mejora el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, sino que activa los mecanismos de defensa de los mismos. *Peribacillus simplex* promueve la producción fitohormonas, como el ácido indol acético (AII), la principal auxina de las plantas involucrada en la división celular (Erturk et ál., 2010) (Manetsberger et ál., 2023) (Schwartz et ál., 2013). Al igual que otras bacterias de este género, *P. simplex* produce sideróforos, promoviendo así la movilización de hierro. Esa movilización de hierro, junto con la solubilización de fosfato y zinc, mejora el crecimiento de la planta (Mushtaq y Alwutayd, 2025) (Schwartz et ál., 2013). Asimismo, los EPS que produce *Peribacillus simplex* protege a los diferentes cultivos de diferentes estreses como puede ser la escasez de agua (Karimi et ál., 2024).

Otra característica es su capacidad de biorremediar suelos contaminados con metales pesados, como puede ser el Pb. Así, *P. simplex* es capaz de secuestrar iones metálicos a través de procesos como la bioacumulación, biotransformación o biolixiviación (Chamekh et ál., 2022). Hay evidencias además de que *P. simplex* reduce las concentraciones de cadmio, níquel y cobalto entre otros, algo vital para evitar que estos metales pesados terminan llegando a los alimentos (Manetsberger et ál., 2023).

Cultivos ampliamente utilizados, como el tomate y la soja, pueden servir de hospedadores a nematodos con carácter patógeno. *P. simplex* tiene actividad nematocida ya que reduce la fuente nutricional al competir por los nichos ecológicos además de producir ácido láctico (también posee actividad nematocida) (Kang et ál., 2020) (Zoubi et ál.,

2025). Además de los nematodos, las plantas deben de hacer frente a los hongos. Aunque se ha demostrado que algunos hongos como *A. calcoaceticus* actúan en sinergia con *P. simplex*, aumentando los componentes nutricionales del cultivo, muchos de ellos pueden causar daño a los cultivos (Mushtaq y Alwutayd, 2025). Ese antagonismo fúngico que presenta *P. simplex* es de gran utilidad para los cultivos. Esta bacteria produce fitoesfingosina, un compuesto que es capaz de producir apoptosis en hongos (Kang et ál., 2020) (Zoubi et ál., 2025).

En agricultura, *Peribacillus simplex* contribuye a la eliminación de nitrato, nitrito y amonio del suelo, lo que protege a las plantas frente a la toxicidad, conserva la fertilidad del suelo, previene la contaminación de las aguas y ayuda a reducir la emisión de gases de efecto invernadero entre otros. Además, existen evidencias de que esta bacteria es capaz de eliminar los pesticidas químicos que contaminan el suelo (Manetsberger et ál., 2023).

4. CONCLUSIONES

En resumen, la literatura demuestra claramente el potencial inigualable de *Bacillus* spp. como agentes sostenibles en la agricultura. En primer lugar, su empleo constituye una alternativa sostenible al uso de compuestos químicos convencionales, permitiendo reducir significativamente la aplicación de pesticidas, insecticidas y fertilizantes sintéticos en los sistemas de cultivo.

Diversas cepas del género *Bacillus* presentan actividad como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), contribuyendo al desarrollo radicular y aéreo de las plantas, así como a una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes. De manera complementaria, miembros de *Bacillus* spp. son capaces de inducir resistencia sistémica en los cultivos frente a insectos fitófagos y fitopatógenos fúngicos, lo que refuerza la protección de las plantas contra estrés biótico.

Adicionalmente, *Bacillus* spp. intervienen en la mejora de la calidad del suelo, incrementando su fertilidad y optimizando la disponibilidad de nutrientes esenciales; este efecto, sumado a su implicación en procesos de biorremediación, les confiere un valor añadido en la recuperación y mantenimiento de ecosistemas agrícolas.

Por otro lado, estas bacterias se encuentran reconocidas como agentes de control biológico de interés estratégico, debido a su capacidad de competir eficazmente contra microorganismos patógenos y a su versatilidad funcional en el agroecosistema. Finalmente, es importante subrayar su alta resistencia a condiciones de estrés abiótico (salinidad, variaciones de pH, temperaturas extremas o limitación de nutrientes), lo que asegura su viabilidad y desempeño en entornos agrícolas diversos y en condiciones ambientales adversas.

Este trabajo forma parte de un proyecto Fin de Grado del grado de Biología (2023, Macarena Sola Montilla).

5. REFERENCIAS

- Banerjee, G., Ray, AK. (2017). The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries. *Research in veterinary science*, vol (115),1-534. doi: 10.1016/j.rvsc.2017.01.016. pmid: 28157611
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcón, R., Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of experimental botany*, 56(417), 1761–1778. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri197>
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and molecular biology*, 35(4 (suppl)), 1044–1051. <https://doi.org/10.1590/s1415-47572012000600020>
- Berry, C. (2012). The bacterium, *Lysinibacillus sphaericus*, as an insect pathogen. *Journal of invertebrate pathology*, 109(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.11.008>
- Chakroun, M., Banyuls, N., Bel, Y., Escriche, B., Ferré, J. (2016). Bacterial Vegetative Insecticidal Proteins (Vip) from Entomopathogenic Bacteria. *Microbiology and molecular biology reviews: MMBR*, 80(2), 329–350. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00060-15>
- Chamekh, A., Kharbech, O., Fersi, C., Limam, R. D., Brandt, K. K., Djebali, W., & Chouari, R. (2022). Insights on strain 115 plant growth-promoting bacteria traits and its contribution in lead stress alleviation in pea (*Pisum sativum* L.) plants. *Archives of Microbiology*, 205(1). <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03341-7>
- Dame, Z. T., Rahman, M., & Islam, T. (2021). Bacilli as sources of agrobiotechnology: recent advances and future directions. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 14(2), 246–271. DOI: 10.1080/17518253.2021.1905080

- Djadouni, F., Zohra, M. (2016). Recent advances and beneficial roles of bacillus megaterium in agriculture and otheirs fields. *Journal of Integrated Health Science*. 5. 3160-3173.
- Dobrzyński, J., Jakubowska, Z., Dybek, B. (2022). Potential of *Bacillus pumilus* to directly promote plant growth. *Frontiers in microbiology*, 13, 1069053. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1069053>
- Domínguez-Arrizabalaga, M., Villanueva, M., Escriche, B., Ancín-Azpilicueta, C., Caballero, P. (2020). Insecticidal Activity of *Bacillus thuringiensis* Proteins Against Coleopteran Pests. *Toxins*, 12(7), 430. <https://doi.org/10.3390/toxins12070430>
- Erturk, Y., Ercisli, S., Haznedar, A., & Cakmakci, R. (2010). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on rooting and root growth of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) stem cuttings. *Biological Research*, 43(1). <https://doi.org/10.4067/s0716-97602010000100011>
- Esringü, A., Turan, M., Güneş, A., Rüştü Karaman, M. (2014). Roles de *Bacillus megaterium* en la remediación de boro, plomo y cadmio de suelos contaminados. *Comunicaciones en la ciencia del suelo y análisis de plantas*, 45:13, 17411759, DOI: 10.1080/00103624.2013.875194
- Fenibo Emmanuel O., Ijoma Grace N., Matambo Tonderayi. (2021). Biopesticides in Sustainable Agriculture: A Critical Sustainable Development Driver Governed by Green Chemistry Principles. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, (5), ISSN 2571-581X, DOI:10.3389/fsufs.2021.619058
- Goswami, G., Panda, D., Samanta, R., Boro, R. C., Modi, M. K., Bujarbaruah, K. M., Barooah, M. (2018). *Bacillus megaterium* adapts to acid stress condition through a network of genes: Insight from a genome-wide transcriptome analysis. *Scientific reports*, 8(1), 16105. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34221-0>
- Gray, EJ y Smith, DL. (2005). PGPR intracelular y extracelular: puntos en común y distinciones en los procesos de señalización planta-bacteria. *Biología y bioquímica del suelo*, 37 (3), 395-412.
- Hardoim, P. R., Van Overbeek, L. S., Berg, G., Pirttilä, A. M., Compant, S., Campisano, A., Döring, M., Sessitsch, A. (2015). The Hidden World within Plants: Ecological and Evolutionary Considerations for Defining Functioning of Microbial Endophytes. *Microbiology and molecular biology reviews: MMBR*, 79(3), 293–320. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00050-14>
- Heckel D. G. (2020). How do toxins from *Bacillus thuringiensis* kill insects? An evolutionary perspective. *Archives of insect biochemistry and physiology*, 104(2), e21673. <https://doi.org/10.1002/arch.21673>

- Hehe H., Zhang, Y., Shi, G., Li, Y. (2023). Recent biotechnological advances and future prospective of *Bacillus licheniformis* as microbial cell factories. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*.
https://doi.org/10.1007/s43393-023-00162-7
- Hehe, H., Li, Y., Zhang, L., Ding, Z., Shi, G. (2022). Understanding and application of *Bacillus* nitrogen regulation: A synthetic biology perspective, *Journal of Advanced Research*, ISSN 2090-1232,
https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.09.003
- Hernández-Santana, A., Gómez-Garzón, C., Dussán, J., *Lysinibacillus sphaericus*. (2022). *Trends in Microbiology*, Volume 30, Issue 7, 705-706, ISSN 0966-842X, https://doi.org/10.1016/j.tim.2022.01.018
- Islam, M. T., Laatsch, H., & von Tiedemann, A. (2016). Inhibitory Effects of Macroretrolides from *Streptomyces* spp. On Zoosporogenesis and Motility of Peronosporomycete Zoospores Are Likely Linked with Enhanced ATPase Activity in Mitochondria. *Frontiers in microbiology*, 7, 1824. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01824
- Jain, D., Saharan, V., Pareek, S.(2016). Estado actual de bacillus thuringiensis: proteínas cristalinas insecticidas y cultivos transgénicos. *Avances en estrategias de fitomejoramiento: rasgos de estrés agronómico, abiótico y biótico*. Springer, 657–698. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22518-0_18
- Jamali, H., Sharma, A., Kushwaha, P., Roohi, PLK y Srivastava, AK. (2018). Explotación de estreses abióticos múltiples, actividad antagonica y atributos de promoción del crecimiento vegetal de *Bacillus amyloliquefaciens* AH53 para la producción agrícola sostenible. *Journal Current Microbiology. Application, Sci*, 7 (10), 751-763.
- Jamil, M., Zeb, S., Anees, M., Roohi, A., Ahmed, I., ur Rehman, S., Rha, E. S. (2014). Role of *Bacillus licheniformis* in phytoremediation of nickel contaminated soil cultivated with rice. *International journal of phytoremediation*, 16(6), 554–571.
https://doi.org/10.1080/15226514.2013.798621
- Jouzani, G. S., Valijanian, E., Sharafi, R. (2017). *Bacillus thuringiensis*: a successful insecticide with new environmental features and tidings. *Applied microbiology and biotechnology*, 101(7), 2691–2711.
https://doi.org/10.1007/s00253-017-8175-y
- Kang, W., Chen, L., Wang, Y., Zhu, X., Liu, X., Fan, H., & Duan, Y. (2020). *Bacillus simplex* treatment promotes soybean defence against soybean cyst nematodes: A metabolomics study using GC-MS. *PLoS ONE*, 15(8), e0237194.https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237194
- Karimi, E., Aliloo, A. A., & Mosavi, S. B. (2024). Effect of *Bacillus simplex* as a growth promoting bacterium on some growth characteristic of Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seedling at Different Water Conditions. *Water and Soil*. https://doi.org/10.22034/ws.2024.58833.2542

- Khan, A. R., Mustafa, A., Hyder, S., Valipour, M., Rizvi, Z. F., Gondal, A. S., Yousuf, Z., Iqbal, R., & Daraz, U. (2022). *Bacillus* spp. as Bioagents: Uses and Application for Sustainable Agriculture. *Biology*, 11(12), 1763. <https://doi.org/10.3390/biology11121763>
- Kramer, J., Özkaya, Ö., & Kümmerli, R. (2020). Bacterial siderophores in community and host interactions. *Nature reviews Microbiology*, 18(3), 152–163. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0284-4>
- Kumar, A., Singh, S., Mukherjee, A., Rastogi, R. P., and Verma, J. P. (2021). Salt-tolerant plant growth-promoting *Bacillus pumilus* strain JPVS11 to enhance plant growth attributes of rice and improve soil health under salinity stress. *Microbiological Research*, 242:126616. doi: 10.1016/j.micres.2020.126616
- Kumar, P., Kamle M., Borah, R., Kumar Mahato, D., Sharma., B. (2021). *Bacillus thuringiensis* as microbial biopesticide: uses and applications for sustainable agriculture, *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 98. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00440-3>
- Lee, N. K., Kim, W. S., & Paik, H. D. (2019). *Bacillus* strains as human probiotics: characterization, safety, microbiome, and probiotic carrier. *Food science and biotechnology*, 28(5), 1297–1305. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00691-9>
- Leontidou, K., Genitsaris, S., Papadopoulou, A., Kamou, N., Bosmali, I., Matsi, T., Madesis, P., Vokou, D., Karamanoli, K., Mellidou, I. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria isolated from halophytes and drought-tolerant plants: genomic characterisation and exploration of phyto-beneficial traits. *Scientific Reports*, 10, 14857. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71652-0>
- Lopes, R., Tsui, S., Gonçalves, P. J. R. O., & de Queiroz, M. V. (2018). A look into a multifunctional toolbox: endophytic *Bacillus* species provide broad and underexploited benefits for plants. *World journal of microbiology & biotechnology*, 34(7), 94.
- Lozano, L.C., Dussán, J. (2013). Metal tolerance and larvicidal activity of *Lysinibacillus sphaericus*. *World Journal of Microbiological & Biotechnology*, 29 (8), 1383–1389. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1301-9>
- Luo, L., Zhao, C., Wang, E., Raza, A., Yin, C. (2022). *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: An overview for its mechanisms. *Microbiological research*, 259, 127016. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127016>
- Macdonald, C., Singh, B. (2014). Harnessing plant-microbe interactions for enhancing farm productivity. *Bioengineered*, 5(1), 5–9. <https://doi.org/10.4161/bioe.25320>

- Manetsberger, J., Gómez, N. C., Soria-Rodríguez, C., Benomar, N., & Abriouel, H. (2023). Simply Versatile: The Use of *Peribacillus simplex* in Sustainable Agriculture. *Microorganisms*, 11(10), 2540. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102540>
- Masood, S., Qiang, X., Zhao, Z., & Shen, R. F. (2020). *Bacillus pumilus* promotes the growth and nitrogen uptake of tomato plants under nitrogen fertilization. *Scientia Horticulturae*, 272, 109581. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109581>
- Meena, K. R., Kanwar, S. S. (2015). Lipopeptides as the antifungal and antibacterial agents: applications in food safety and therapeutics. *BioMed research international*, 2015, 473050. <https://doi.org/10.1155/2015/473050>
- Melo, A. L., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2016). *Bacillus thuringiensis*: mechanism of action, resistance, and new applications: a review. *Critical reviews in biotechnology*, 36(2), 317–326. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.960793>.
- Muras, A., Romero, M., Mayer, C., Otero, A. (2021). Biotechnological applications of *Bacillus licheniformis*. *Critical reviews in biotechnology*, 41(4), 609–627. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873239>
- Mushtaq, Z., & Alwutayd, K. M. (2025). Siderophore-producing Bacteria *Bacillus simplex* and *Acinetobacter calcoaceticus* and L-Tryptophan Enhance the Nutritional, Antioxidant Activity and Volatile Compound Profiles of Potatoes. *Potato Research*. <https://doi.org/10.1007/s11540-025-09900-x>
- Ongena M., Jacques P. (2008). Lipopéptidos de *Bacillus*: armas versátiles para el biocontrol de enfermedades de las plantas. *Tendencias en Microbiología*, 16(3),15–125. doi: 10.1016/j.tim.2007.12.009
- Palmieri, D., Ianiri, G., Del Grosso, C., Barone, G., De Curtis, F., Castoria, R., Lima, G. (2022). Avances y Perspectivas en el Uso de Agentes de Biocontrol contra Enfermedades Fúngicas de las Plantas. *Horticultura*, 8(7),577. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070577>
- Sarker, A., Nandi, R., Kim,J., Islam, T.(2021). Remediation of chemical pesticides from contaminated sites through potential microorganisms and their functional enzymes: Prospects and challenges. *Environmental Technology & Innovation*, Volume 23, 101777, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101777>.
- Schwartz, A., Ortiz, I., Maymon, M., Herbold, C., Fujishige, N., Vijanderan, J., Villella, W., Hanamoto, K., Diener, A., Sanders, E., DeMason, D., & Hirsch, A. (2013). *Bacillus simplex*—A Little Known PGPB with Anti-Fungal Activity—Alters Pea Legume Root Architecture and Nodule Morphology When Coinoculated with *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae. *Agronomy*, 3(4), 595–620. <https://doi.org/10.3390/agronomy3040595>

- Setlow P, Johnson EA. (2012). Las esporas y su importancia. *En* Doyle MP, Buchanan R. (ed)., Microbiología de los alimentos, fundamentos y fronteras (4.^a ed., págs. 45–79). ASM Press, Washington, D.C.
- Setlow P. (2014). Germination of spores of *Bacillus* species: what we know and do not know. *Journal of bacteriology*, 196(7), 1297–1305. <https://doi.org/10.1128/JB.01455-13>
- Shahzad, R., Bilal, S., Imran, M., Khan, A. L., Alosaimi, A. A., Al-Shwyeh, H. A., Almahasheer, H., Rehman, S., Lee, I. J. (2019). Amelioration of heavy metal stress by endophytic *Bacillus amyloliquefaciens* RWL-1 in rice by regulating metabolic changes: potential for bacterial bioremediation. *The Biochemical journal*, 476(21), 3385–3400. <https://doi.org/10.1042/BCJ20190606>
- Su, Y., Liu, C., Fang, H., Zhang, D. (2020). *Bacillus subtilis*: a universal cell factory for industry, agriculture, biomaterials and medicine. *Microbial Cell Factories*, 19, 173. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01436-8>
- Subhasmita, M., Radheshyam, Y., Wusirika, R. (2022). *Bacillus subtilis* impact on plant growth, soil health and environment: Dr. Jekyll and Mr. Hyde. *Journal of Applied Microbiology*, 132(5), 3543–3562. <https://doi.org/10.1111/jam.15480>
- Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S. D. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1), 95–130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>
- Wang, G., Ren, Y., Bai, X., Su, Y., & Han, J. (2022). Contributions of Beneficial Microorganisms in Soil Remediation and Quality Improvement of Medicinal Plants. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(23), 3200. <https://doi.org/10.3390/plants11233200>
- X. Nascimento, F., G. Hernández, A., R. Glick, B., J. Rossi, M. (2020). Plant growth-promoting activities and genomic analysis of the stress-resistant *Bacillus megaterium* STB1, a bacterium of agricultural and biotechnological interest. *Biotechnology Reports*, Volume 25, e00406, ISSN 2215-017X, <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00406>.
- Zoubi, B., Hijri, M., Mokri, F., Housseini, A. I., & Qaddoury, A. (2025). Nematicidal and plant growth-promoting rhizobacteria: a sustainable strategy for controlling *Tylenchulus semipenetrans* and enhancing citrus growth. *International Microbiology*. <https://doi.org/10.1007/s10123-025-00652-9>

DEL ECOSISTEMA A LA COMUNIDAD: CONSECUENCIAS SOCIOAMBIENTALES DEL CONSUMO INDUSTRIAL DE AGUA EN LA MALINCHE

ALEJANDRA GONZÁLEZ PÉREZ

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

JULIA ISABEL RODRÍGUEZ MORALES

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

ALEJANDRA CAMPOS VILLATORO

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

LILIANA PÉREZ ESPINOSA

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La disponibilidad de agua dulce a nivel global enfrenta un creciente desafío conocido como estrés hídrico, definido por una demanda de agua superior a la oferta disponible. Este fenómeno representa un obstáculo significativo para el desarrollo sostenible a nivel mundial (UN-Water, 2018). En México, la problemática hídrica se ha intensificado, afectando a grandes segmentos de la población y a la actividad económica. Curiosamente, las regiones con mayor producción de riqueza en el país a menudo coinciden con las zonas de mayor escasez de agua (Olier Sarlat, n.d.; S&P Global Ratings, 2023).

Específicamente en el estado de Puebla, la industria ha sido identificada como un factor clave en la intensificación de la escasez de agua, debido a su elevado consumo. Esta situación es particularmente crítica en áreas ecológicamente sensibles y culturalmente importantes. Por ello, la presente investigación busca analizar la relación entre el consumo industrial

de agua y sus efectos directos en las comunidades que residen en las faldas del Parque Nacional La Malinche, un ecosistema vital en la región.

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1. Estrés hídrico

El estrés hídrico se presenta cuando la cantidad de agua disponible no es suficiente para cubrir las necesidades de una población o cuando la calidad del recurso ya no permite su uso. En el caso del Parque Nacional La Malinche, esta problemática no solo afecta a la biodiversidad que habita en la zona, sino también a las comunidades cercanas que dependen directamente de los servicios ambientales que provee. Investigaciones recientes señalan que la pérdida de cobertura boscosa ha provocado una disminución en los caudales de manantiales y arroyos, lo que pone en riesgo tanto a la flora y fauna local como al abasto de agua de varios municipios aledaños.

En México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2021) advierte sobre que gran parte del territorio tiene una disponibilidad reducida. Esto ha generado presiones sobre los acuíferos, así como cuerpos superficiales. Por sus características fisiográficas junto a la cobertura forestal que favorece la infiltración pluvial, las zonas montañosas desempeñan un papel estratégico en la captación y recarga de agua, como la región del volcán La Malinche. La deforestación, los incendios forestales y la expansión urbana (García et al., 2019) han disminuido de manera importante la capacidad de este ecosistema para retener y regular el agua.

El estrés hídrico es una de las problemáticas ambientales más críticas a nivel global porque afecta directamente en la cantidad y calidad del agua disponible para los seres humanos como para los ecosistemas. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022), más del 40% de la población mundial sufre por el acceso limitado al agua y se prevé que este número crezca en los próximos años por el cambio climático, el aumento de la población y la explotación excesiva de los recursos de agua.

Frente a esta situación, la gestión integral de los recursos hídricos (GIRH) propone que el agua debe administrarse de manera equilibrada,

tomando en cuenta no solo su dimensión ecológica, sino también los aspectos sociales y económicos. Desde esta perspectiva, medidas como la reforestación, la restauración de áreas degradadas y la participación activa de las comunidades resultan fundamentales para revertir el impacto del estrés hídrico. Experiencias en otras zonas del país han demostrado que este tipo de acciones, acompañadas de una gobernanza sólida del agua, pueden mejorar significativamente la disponibilidad del recurso.

Por lo tanto, al construir el marco teórico de esta investigación, se entiende que el problema en la Malinche no se limita únicamente a la falta de agua en términos físicos, sino que está relacionado con un conjunto de factores ambientales, sociales y de gestión. Analizar el tema desde esta visión integral permite sentar bases más sólidas para proponer soluciones enfocadas en conservar el ecosistema, garantizar la sustentabilidad del recurso y asegurar una mejor calidad de vida para las comunidades que dependen de él.

1.2.2. Contexto regional de la Malinche

La Malinche se encuentra entre los estados de Puebla y Tlaxcala. Con una altitud de 4420 metros sobre el nivel del mar, forma parte del eje Neovolcánico Transmexicano y atraviesa una superficie protegida de cerca de 45800 hectáreas como parque nacional.

No solo es un destino turístico popular para aquellos que gustan de practicar senderismo, sino que también es un lugar con un significado cultural y espiritual.

Su clima depende de la altitud y topografía, pero en general varía de entre 5 a 20 grados centígrados. La región recibe una cantidad considerable de precipitación, especialmente durante la temporada de lluvias, que va de junio a septiembre. Esta lluvia es crucial para mantener la vegetación y los cuerpos de agua en la zona.

La variabilidad en las temperaturas y la precipitación influye en la disponibilidad de recursos hídricos y en la salud general de los bosques. (México histórico.com, s.f.)

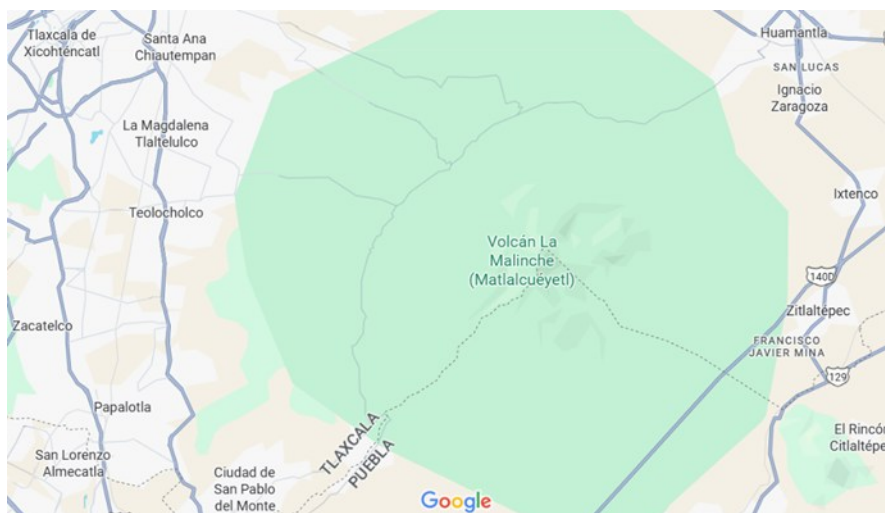
La malinche es pilar hidrológico al encargarse de reabastecer los acuíferos del valle de Puebla y Tlaxcala, estos se dividen en 3 niveles: superior o de calidad, medio, que contiene compuestos sulfurosos y profundo, es decir cerca del basamento geológico. Por esos motivos es calve para captar el agua de lluvias y recargar estos acuíferos.

Particularmente en el municipio de Puebla, la provisión principal de venarios a profundidades de entre 8 y 25 metros, son las corrientes subterráneas de la Malinche, que son cortadas por el dique basáltico de Amalucan, Loreto y Guadalupe, es por esta razón que debemos poner mayor énfasis en la conservación y restauración de áreas forestales con cobertura vegetal cuenca arriba para garantizar la capacidad del suministro. (Actualización del PMDUS, 2016)

Esta formación geológica subterránea que conocemos como acuífero, sabiendo que tiene la capacidad de almacenar y transmitir agua, es la fuente principal de abastecimiento de este líquido vital potable para la población asentada en el Valle Puebla-Tlaxcala, y por ello evidentemente de la Zona Metropolitana, quien, en lugar de cuidar y evitar el desperdicio, provoca todo lo contrario, efectuado grandes extracciones del recurso, tanto para el consumo público, como el industrial y agrícola. CONAGUA en 2014, reporto que el acuífero mostro déficit.

1.2.3. Industrias y Consumo de Agua

En los alrededores de La Malinche encontramos microempresas o pequeñas industrias: textil, curtiduría ligera, alfarería y comercios o servicios. Los municipios con mayor huella hídrica son Chiautempan con un clúster textil con vocación exportadora de mantas, suéteres, cobertores, etc. En San Pablo del Monte encontramos talleres y microindustrias de muebles y sus derivados; en Teolocholco se dedican a la manufactura ligera y confección en micro o pequeñas unidades; Mazatecochco confecciona, maquila y comercializa; por último, Tenancingo es una mezcla agro/floricultural con exportación de flores. (INEGI, DENUE).



Fuente: Mapa zonas involucradas (google.maps,2024)

Según DENUE (Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas), (Censos económicos 2024), estos cuatro municipios comparten matrícula densa de unidades económicas micro/pequeñas.

En la periferia de Puebla (San Miguel Canoa, colonias Altamira Gpe., San Rafael Tapatlaxco, San Felipe Cuauhtenco, etc.) predomina el comercio local, microservicios y talleres, por lo tanto, no muestran evidencia pública de parques industriales.

Consumo de agua por sector

El consumo hídrico no se publica a nivel empresa en México, por lo tanto, se estiman rangos usando intensidades específicas por proceso y se combina con la estructura sectorial local.

Aunque en el DMA (Disponibilidad Media Anual) marca positivo a escala acuífero, la cuenca Atoyac-Zahuapan padece deterioro de calidad por descargas municipales e industriales según la CNDH (Comisión Nacional de Derechos Humanos). Ésta misma acreditó violaciones a derechos por contaminación y ordenó medidas a Puebla y Tlaxcala.

La PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente) (2024) realizó operativos clausurando descargas altamente contaminantes en la cuenca.

Sector	Indicador de intensidad hídrica	Cómo se aplica a la Malinche
Textil (pretratado, teñido, acabado)	10 – 645 L/kg textil terminado.	Aplica para Chiautempan, Mazatecochco, Teolocholco.
Automotriz (ensamble, pintura)	KPI líderes globales: ~1.0 - 1.8 m ³ /vehículo.	Fuera del anillo inmediato de La Malinche, pero dentro de la cuenca, impactando aguas abajo.
Cerámica, azulejo, alfarería	~20 L/m ² de loseta ~60% molienda de agua El uso varía por técnica.	Relevante para San Pablo del Monte y talleres de cerámica cerca.
Químicos (diversos)	El enfriamiento y limpieza concentran consumos.	En la cuenca Atoyac-Zahuapan existe presencia química/petroquímica con efectos en calidad de agua.

Fuente: CONAGUA (2024)

En la actualización de la disponibilidad media anual de agua en acuífero Alto Atoyac de CONAGUA 2024, se muestra disponibilidad y recarga de la siguiente forma:

DMA (Disponibilidad Media Anual) 2024	Recarga total:	Descarga natural comprometida:	Volumen concesionado:
119.295 hm ³ /año. (positiva)	372.350 hm ³ /año	166.217 hm ³ /año	86.838 hm ³ /año.

Fuente: CONAGUA (2024)

La CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) menciona el manejo de micro/pyme del anillo (Chiautempan-San Pablo-Teolocholco-Mazatecochco-Tenancingo) es clave para reducir cargas difusas de DQO/DBO, color y sales, y proteger la recarga.

1.3 Impactos ambientales y sociales

Los ríos Atoyac, Zahuapan y Alseseca conforman parte de una de las cuencas más contaminadas del país, situación que representa un problema ambiental de gran magnitud. Estas corrientes reciben diariamente descargas urbanas, agrícolas e industriales provenientes de sectores como el textil, químico, metalmecánico, automotriz y alimentario (Ibero Puebla, 2020). En este sentido, el río Atoyac recibe aguas residuales de la zona metropolitana de Puebla y de más de 20 municipios, mientras que el Zahuapan, en Tlaxcala, aporta contaminantes urbanos e industriales

hacia el Atoyac. Por su parte, el río Alseseca, que atraviesa la ciudad de Puebla, descarga directamente aguas negras y residuos industriales.

De acuerdo con datos oficiales, el Atoyac vierte 69 toneladas de contaminantes al día, el Alseseca 28 toneladas y el Zahuapan alrededor de 8 toneladas (Agua.org.mx, 2020). Esto evidencia que gran parte del caudal de estas corrientes proviene de aguas residuales no tratadas, convirtiéndolos en ríos altamente tóxicos y en fuentes permanentes de riesgo para la salud pública y el ambiente.

1.3.1. Contaminantes detectados: metales pesados, químicos y colorantes

Diversos estudios han identificado más de cincuenta contaminantes en estos ríos, con especial preocupación por la presencia de metales pesados como plomo, cromo, cadmio, mercurio y arsénico. En algunos puntos del Atoyac, los niveles de mercurio superaron hasta en 400 % los límites permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (La Jornada de Oriente, 2023). Asimismo, se han detectado compuestos orgánicos tóxicos —como solventes, detergentes, hidrocarburos aromáticos y pesticidas—, además de colorantes sintéticos provenientes del sector textil, los cuales alteran la coloración del agua y disminuyen la capacidad de fotosíntesis en los organismos acuáticos.

La presencia de bacterias patógenas, particularmente coliformes fecales y *Escherichia coli*, sobrepasa ampliamente los límites normativos, haciendo que estas aguas sean totalmente inadecuadas para el consumo humano, el riego agrícola o cualquier otro uso productivo. Esta combinación de contaminantes convierte a los ríos Atoyac, Zahuapan y Alseseca en cuerpos de agua con severos riesgos ambientales y epidemiológicos.

1.3.2. Riesgo de contaminación en manantiales y suelos

La problemática no se limita al cauce de los ríos. El agua contaminada fluye hacia la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo), donde los contaminantes se acumulan y posteriormente se utilizan en el distrito de riego del mismo nombre. Esto implica que suelos agrícolas se ven expuestos a la presencia de metales pesados, lo que reduce su fertilidad y pone en riesgo la seguridad alimentaria. Estudios realizados en

comunidades cercanas han documentado concentraciones elevadas de plomo en la sangre de niños, reflejando la gravedad de la exposición ambiental (Presa Manuel Ávila Camacho, 2021).

Los manantiales de La Malinche, que constituyen una de las principales fuentes de agua limpia para comunidades rurales, enfrentan un riesgo indirecto debido a la posible filtración de contaminantes hacia los acuíferos. De no controlarse las descargas industriales, la calidad de este recurso vital podría verse comprometida, afectando tanto a la población como a la productividad agrícola de la región.

1.3.30. Efectos sobre la biodiversidad y los ecosistemas locales

El impacto ambiental de estas descargas afecta a múltiples niveles ecológicos. En los ecosistemas acuáticos, la acumulación de colorantes y metales pesados disminuye el oxígeno disuelto, provocando la muerte de peces, insectos y organismos bentónicos. Por ello, varios tramos del río Atoyac han sido catalogados como “ríos muertos”. En el ámbito terrestre, la infiltración de aguas contaminadas degrada suelos, barrancas y vegetación ribereña, además de comprometer la calidad de los acuíferos.

En el caso de los ecosistemas de alta montaña como La Malinche, la zona núcleo aún mantiene su papel como área de recarga hídrica. Sin embargo, la contaminación aguas abajo amenaza los servicios ecosistémicos de regulación, infiltración y conservación de la biodiversidad (UNAM, Estación Científica La Malinche, 2022). La fauna silvestre, en especial anfibios y aves acuáticas, se encuentra entre los grupos más vulnerables debido a la bioacumulación de metales en sus cadenas tróficas, lo que pone en riesgo la estabilidad ecológica regional a mediano y largo plazo.

1.4. MARCO NORMATIVO Y GESTIÓN DEL AGUA

Podría pensarse que este problema de escases es reciente, sin embargo, no hace mucho se cumplieron 10 años de haberse expedido en México la Ley General de Aguas, la cual contiene las bases para el acceso y uso equitativo sustentable del recurso hídrico. Esta ley surgió debido a la escases y la creciente crisis hídrica del momento.

Dentro de todo lo que aborda, se encuentran aspectos importantes como:

- Uso industrial definido
- Reciclaje interno y cero descargas contaminantes
- Impacto socio hídrico
- Control y prelación de su uso
- Evaluación ambiental

Entrando en detalle sobre algunas de las normas, se señala que es de carácter obligatorio implementar mecanismos de reciclaje interno, buscando cero descargas en las concesiones industriales del recurso. Siguiendo con este tipo de concesiones, aquellas industrias que necesiten un consumo continuo requieren de un dictamen de impacto socio-hídrico y una previa cita.

Esto es especialmente relevante en un contexto de estrés hídrico en la Malinche, donde las industrias deben ser reguladas con rigor para proteger la disponibilidad y calidad del recurso.

1.5. ESTRÉS HÍDRICO Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN

La Malinche funciona como zona de recarga tanto para Puebla como para Tlaxcala, ya que sus bosques regulan humedad infiltran agua a los acuíferos y alimenta manantiales y ríos locales como Atoyac, lo cual son razones principales para el decreto del parque nacional y guía de manejo y así conservar el bosque para proteger la recarga y controlar la erosión. (Atmosfera UNAM, 2006).

1.5.1. Deforestación, incendios y tala

De acuerdo con el monitor de incendios por CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), reportado por Tomás Baños en el Sol de Tlaxcala (2024) los años con picos de incendios implican mayor hidrofobicidad de suelos y reducción temporal de infiltración, lo cual agrava el estrés hídrico estacional.

Por otro lado, la tala ilegal, la extracción de leña y el avance agrícola reducen la intercepción y la infiltración, aumentando escorrentía y erosión, provocando una merma de recarga. Esto debido a la falta de

hojarasca o raíces aumentando la carga de sedimentos y disminuye la carga profunda, obteniendo manantiales más irregulares. (OEM, 2022).

1.5.2. Urbanización

Otra de las razones del estrés hídrico es la expansión urbana, debido a que impermeabiliza suelos y desplaza cobertura vegetal, creando un desbalance en la infiltración y el escurrimiento. (González, et.al.2021)

1.5.3. Cambio climático

De acuerdo con el Cambio Climático en México, encontramos tendencias y proyecciones de aumento de temperatura: $>1-3^{\circ}\text{C}$ para mitad de siglo y precipitación más extrema y variable, como sequías consecutivas y eventos intensos concentrados como por ejemplo inundaciones y derrumbes. (Zambrano, 2021)

Investigadores locales advierten para los ríos Atoyac-Zahuapan que menos lluvia efectiva y pérdida de almacenamiento nival en sierras cercana implican caudales bases más bajos y recarga reducida, haciendo evidente los conflictos por agua. (Grupo Milenio, 2021)

1.6. ALTERNATIVAS Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

Frente al creciente estrés hídrico en México y en particular en zonas de alta presión como La Malinche, resulta indispensable plantear alternativas sostenibles que reduzcan el consumo de agua, mejoren la eficiencia en su uso y fortalezcan los ecosistemas. Estas estrategias se enmarcan en cuatro ejes: tecnologías de tratamiento y reúso industrial, experiencias de economía circular, proyectos de restauración ecológica, y la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH).

1.6.1. Tecnologías de tratamiento y reúso en la industria.

El sector industrial es uno de los principales consumidores de agua y, al mismo tiempo, una fuente relevante de aguas residuales. Sin embargo, diversas innovaciones han demostrado que el tratamiento y reúso puede ser técnica y económicamente viable. Casos como los de Danone en Irapuato y L'Oréal en Xochimilco, implementados con apoyo de la

empresa SUEZ, han logrado recuperar más de 550 m³ diarios de agua, reduciendo significativamente su huella hídrica mediante soluciones circulares (SUEZ, 2021).

A nivel nacional, se promueve un enfoque donde las plantas de tratamiento dejan de concebirse únicamente como sistemas de descontaminación para transformarse en “biofactorías” capaces de generar valor añadido, ya sea mediante la recuperación de nutrientes, la producción de biogás o la reutilización de agua tratada para procesos secundarios (UAEH, 2023). De igual manera, empresas como Químicos Roma (2024) han destacado la importancia de integrar la valorización de lodos y la recuperación de subproductos como parte de una estrategia de economía circular del agua.

Más recientemente, herramientas digitales como H2O Assistant, basada en inteligencia artificial, permiten diagnosticar la calidad de aguas residuales, proponer tratamientos óptimos y calcular el retorno de inversión, lo que representa un incentivo adicional para su adopción en la industria mexicana (Expoknews, 2023).

1.6.2. Experiencias de economía circular

La economía circular aplicada al agua busca cerrar el ciclo hídrico mediante la recuperación, reutilización y regeneración del recurso. La Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México (ANEAS, 2025) plantea un modelo que integra el tratamiento de aguas residuales, la captación de agua de lluvia, y el uso de soluciones basadas en la naturaleza como humedales artificiales. Este enfoque no solo genera beneficios ambientales, sino también económicos, al reducir costos de operación y dependencia de fuentes de agua convencionales.

1.6.3. Proyectos de restauración ecológica en La Malinche

Puebla y Tlaxcala, además de compartir costumbres y tradiciones, también comporten El Parque Nacional La Malinche, un ecosistema clave para la recarga de acuíferos y la regulación climática regional. Sin embargo, está sufriendo un grave deterioro debido a la deforestación, la conversión de terrenos y la presión turística. En este contexto, los proyectos

de reforestación y restauración ecológica se convierten en medidas fundamentales para la mitigación. Diversas iniciativas impulsadas por instituciones académicas como la UNAM (Estación Científica La Malinche) y autoridades ambientales (SEMARNAT, CONANP) han buscado recuperar la cobertura forestal y promover la participación comunitaria en el cuidado del recurso hídrico (SEMARNAT, 2022). Estas acciones son estratégicas para garantizar la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con el agua, como la infiltración y regulación de escorrentías.

1.6.4. Propuestas de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)

Finalmente, la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) ofrece un marco de acción que busca equilibrar el desarrollo económico, el bienestar social y la sostenibilidad ambiental. Este enfoque reconoce la necesidad de gestionar el agua a nivel de cuenca, incorporando la participación de distintos actores, la coordinación interinstitucional y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza (OiEau, 2021; GWP, 2022).

En México, estudios recientes han señalado la importancia de fortalecer los consejos de cuenca y de otorgar mayor capacidad técnica y de decisión a los municipios para garantizar la eficiencia de la GIRH. Experiencias en el noroeste del país muestran tanto avances como limitaciones en la operación de estos organismos, destacando la necesidad de mejorar la gobernanza y el financiamiento sostenible (Martínez et al., 2020; Tecnológico de Monterrey, 2023).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Establecer la relación entre el consumo de agua por parte de la industria y su impacto directo en la vida de las comunidades que se localizan en las faldas del Parque Nacional La Malinche, identificando las principales afectaciones socioambientales.

2.2 OBJETIVO PARTICULAR

- Identificar la percepción y el conocimiento que tienen los habitantes de las comunidades aledañas al Parque Nacional La Malinche sobre la influencia del consumo industrial de agua en su calidad de vida y en la dinámica socioambiental de la región.

3. METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación se basa en un enfoque mixto, combinando el análisis cuantitativo y cualitativo para comprender a fondo la problemática. Es estudio de tipo descriptivo ya que busca describir y caracterizar la situación que se está viviendo en la Malinche y sobre las prácticas actuales y necesidades de las comunidades de la región.

Se realizó una revisión de la literatura para analizar conceptos clave, los cuales se clasificaron y evaluaron de acuerdo con los criterios predefinidos, examinando su aplicación y definiciones en diversos estudios. Este trabajo se desarrolló en ocho secciones: 1) Introducción, 2) Objetivos, 3) Metodología, 4) Resultados, 5) Discusión, 6) Conclusiones, 7) Agradecimientos y 8) Referencias.

4. RESULTADOS

La investigación establece que La Malinche es fundamental para la recarga de acuíferos en el Valle de Puebla-Tlaxcala, pero que este sistema enfrenta un déficit hídrico significativo, evidenciado por un reporte de CONAGUA de 2014 que muestra una descarga superior a la recarga. En la región circundante, prevalecen micro y pequeñas industrias principalmente textiles, de confección y agroindustriales, cuyo consumo hídrico, aunque no se publica de manera individual, se estima que contribuye a la escasez.

Los resultados más alarmantes se observan en el impacto ambiental y social. Los ríos Atoyac, Zahuapan y Alseseca, que atraviesan la cuenca, se encuentran entre los más contaminados del país debido a descargas industriales, urbanas y agrícolas, que vierten toneladas de contaminantes diariamente. Estos contaminantes incluyen metales pesados como

plomo, mercurio y cromo, así como compuestos orgánicos tóxicos, lo que ha llevado a que los niveles de mercurio superen hasta en un 400% lo permitido en algunos puntos.

La contaminación no solo afecta a los ecosistemas acuáticos, provocando la catalogación de tramos enteros como “ríos muertos, sino que también pone en riesgo los suelos agrícolas y la seguridad alimentaria. A nivel social, la investigación documenta un grave problema de salud pública, con estudios que han encontrado concentraciones elevadas de plomo en la sangre de niños en comunidades cercanas a los ríos contaminados. La contaminación de los ríos, por lo tanto, representa un riesgo latente para los manantiales de La Malinche, fuentes de agua limpia cruciales para las comunidades locales.

5. DISCUSIÓN

La presente investigación confirma la preocupación inicial al evidenciar que el estrés hídrico en la región del Parque Nacional La Malinche no es una problemática futura, sino una realidad actual, manifestada en el déficit del acuífero que alimenta al Valle de Puebla y Tlaxcala. Los hallazgos subrayan una correlación directa entre la actividad industrial en la periferia de la montaña y la severa contaminación de las principales cuencas hidrográficas, como el Atoyac-Zahuapan.

La falta de acceso a datos públicos sobre el consumo y descarga de agua por parte de las micro y pequeñas industrias dificulta la rendición de cuentas, lo que perpetúa la problemática. Además, se destaca que la degradación ambiental se traduce en graves consecuencias sociales y de salud pública, un punto crítico que va más allá de la mera escasez; la presencia de metales pesados en los cuerpos de agua se ha vinculado directamente con afectaciones a la salud de las comunidades.

Esto subraya la urgencia de reevaluar las políticas de gestión de recursos hídricos en la región, promoviendo una gobernanza más transparente y la implementación de soluciones que prioricen tanto la salud ambiental como la de las comunidades, para conciliar el desarrollo económico con la sostenibilidad de este ecosistema vital.

6. CONCLUSIONES

El estudio de las industrias en el área de La Malinche reveló que su consumo y crecimiento de agua están directamente relacionados con la intensificación del estrés hídrico a nivel regional. La disponibilidad del agua y la calidad de esta para las comunidades y los ecosistemas que dependen de ella se ven comprometidas no solo por la extracción intensiva de recursos hídricos, sino también por el vertido sin un tratamiento apropiado de aguas residuales. La urgencia de disponer de información precisa y al día acerca del alcance del impacto industrial en la región es evidente en esta circunstancia.

Una de las posibles alternativas puede ser la aplicación de las tecnologías de tratamiento y reúso del agua de las micro y pequeñas industrias locales. Al implementar técnicas de economía circular, el consumo del recurso hídrico se reduciría de forma considerable, así como también los contaminantes que se vierten a los ríos Atoyac y Zahuapan. Además, la promoción de los programas de capacitación y de asistencia técnica a las empresas, honrando sus tradiciones y usos, les permitiría transitar hacia un modelo de producción que conjuntara competitividad y respeto por el ecosistema.

Otra solución importante es el establecimiento de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), las cuales fomentan la coordinación de los actores públicos, industrias y las comunidades. La restauración ecológica de las áreas degradadas en la Malinche, los proyectos de reforestación y la participación social aseguran la capacidad de infiltración del agua y de recarga de los acuíferos; estas acciones y una regulación más estricta sobre el uso hídrico industrial son necesarias para equilibrar el desarrollo económico y la conservación ambiental.

En suma, el futuro de La Malinche o de las comunidades que dependen de sus servicios ecosistémicos dependerá de la capacidad de poner en marcha soluciones integrales que conjuguen innovación tecnológica, políticas públicas efectivas y la participación social. Solo mediante el compromiso compartido será posible revertir la tendencia actual de degradación, asegurar la restauración ecológica y la sustentabilidad hídrica de la región a largo plazo.

7. AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a las autoridades de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) por haber brindado todas las facilidades necesarias para el desarrollo de la presente investigación. Al Dr. Ygnacio Martínez Laguna Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado por su confianza y apoyo incondicional a la investigación, ya que ha sido pieza fundamental para la realización de este trabajo. Asimismo, extendemos nuestra gratitud a la Rectora de nuestra máxima casa de estudios, la Dra. Ma. Lilia Cedillo Ramírez, por su constante impulso y compromiso con la investigación en temas de sostenibilidad y equidad dentro de las organizaciones, lo cual ha sido una fuente de inspiración y motivación para llevar a cabo este proyecto.

8. REFERENCIAS

- Agua.org.mx. (2020). Atoyac, Zahuapan y Alseseca, tres ríos con 105 toneladas de contaminantes diarias. Recuperado de <https://goo.su/gAOK>
- ANEAS. (2025). La economía circular del agua como respuesta a la crisis hídrica en México y América Latina. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento. <https://bit.ly/3INret5>
- Actualización del PMDUS. (2016). Plan Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable. <https://goo.su/3uQCnL>
- Atmosfera UNAM. (2006). Guía Botánica del Parque Nacional Malinche Tlaxcala-Puebla. (1.a ed.). Tipos Futura. <https://goo.su/rjYpr>
- CONAGUA. (2021). Estadísticas del Agua en México, 2021. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <https://goo.su/rzRGF>
- CONAGUA. (2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero alto atoyac (2901), estado de tlaxcala. subdirección general técnica gerencia de aguas subterráneas. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/tlaxcala/DR_2901.pdf
- Expoknews. (2023). IA mexicana revoluciona el reúso del agua. <https://www.expoknews.com/ia-mexicana-revoluciona-reuso-del-agua/>
- García, J., Jiménez, J., & Ramírez, M. (2019). Deforestación, incendios forestales y expansión urbana en La Malinche: un análisis de la degradación ambiental. Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública, 11(2), 1-15. <https://doi.org/10.29252/iacpp.11.2.1>

- González Jose, Aguilar, Adrián (2021) Expansión urbana irregular, cambio de uso del suelo y deterioro ambiental en la periferia norte de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala: el caso del Parque Nacional La Malinche. (2021, julio). ResearchGate. <https://bit.ly/4gJGSII>
- GWP. Global Water Partnership (2022). Emprendiendo Soluciones Hídricas 2022. <https://goo.su/rAxvt>
- Grupo Milenio. (2021). Cuenca del Atoyac empeora ante cambio climático y reducción de lluvias. <https://bit.ly/46LoWCG>
- Ibero Puebla. (2020). Salud ambiental en la Cuenca del Alto Atoyac. Recuperado de <https://repo.iberopuebla.mx/IIMA/saludAmbiental/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.f.). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). INEGI. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/denue/default.html>
- La Jornada de Oriente. (2023). La cuenca del río Atoyac, en emergencia sanitaria. Recuperado de <https://goo.su/BwtXK7>
- Martínez, J., López, R., & Ramírez, M. (2020). Consejos de cuenca y gestión integrada del agua en el noroeste de México. *Revista Gestión y Política Pública*, 29(2), 233–260. <https://www.redalyc.org/journal/4576/457653227009/html/>
- México historico.com. (s.f.). La montaña de La Malinche: Historia y naturaleza en Tlaxcala. <https://bit.ly/3KkFIGW>
- OiEau. (2021). Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH). Office International de l'Eau. <https://goo.su/EniFIKL>
- Olier Sarlat, H. A. (s.f.). Estrés hídrico en México bajo dos enfoques de huella de agua de escasez. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad la Salle*.
- Organización Editorial Mexicana (OEM). (2022). Reporta la Conafor seis incendios forestales en la Malinche. *El Sol de Tlaxcala*. <https://bit.ly/46MgfrY>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2022: Aguas subterráneas: hacer visible el recurso invisible. UNESCO. Recuperado de <https://goo.su/iUCeATm>
- Presa Manuel Ávila Camacho. (2021). Wikipedia. Recuperado el 30 de septiembre de 2025, de <https://goo.su/sRIUk28>
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). (2024, enero 14). PROFEPA impone una Clausura Total Temporal a la empresa Ternium, por no contar con permiso para descargar aguas residuales en el Río Atoyac. Gobierno de México. <https://n9.cl/jqtry>

- Químicos Roma. (2024). Economía circular en el tratamiento de aguas residuales industriales. <https://bit.ly/46Lp9Wu>
- Reporta la Conafor seis incendios forestales en la Malinche. (2024, 23 noviembre). El Sol de Tlaxcala | Noticias Locales, Policiacas, Sobre México, Tlaxcala y el Mundo. <https://goo.su/ILPgk>
- S&P Global Ratings. (2023, 4 de abril). Más estados mexicanos podrían verse afectados por estrés hídrico en 2050.
- SEMARNAT. (2022, agosto). Programa de Acciones de Saneamiento (PAS) 2022 de la SEMARNAT. GOBIERNO DE MÉXICO. <https://n9.cl/195nbd>
- SUEZ. (2021). La economía circular es una inversión rentable para las empresas. Excélsior. <https://bit.ly/3INg7jS>
- Tecnológico de Monterrey. (2023). La gestión integrada del agua en México: Retos para una gobernanza local efectiva. Repositorio TEC. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/635787>
- UAEH. (2023). La economía circular y el tratamiento del agua industrial. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <https://bit.ly/489qgSs>
- UNAM, Estación Científica La Malinche. (2022). Estación Científica La Malinche, 18 años de investigación biológica en el volcán tlaxcalteca. El Sol de Tlaxcala. <https://goo.su/7sHUWgH>
- UN-Water. (2018). Progresos en el nivel de estrés hídrico.
- Zambrano, J. (2021, 9 de agosto). Cuenca del Atoyac empeora ante cambio climático y reducción de lluvias. Grupo Milenio. <https://bit.ly/46LoWCG>

ESTRATEGIAS DESDE LA GERENCIA DE PROYECTOS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS NEGOCIOS RURALES

IVONNE TATIANA MUÑOZ MARTÍNEZ
Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los retos más significativos a nivel mundial, y a la vez, las actividades rurales, especialmente aquellas relacionadas con la producción y comercialización de bienes agropecuarios, tienen un papel clave en los impactos ambientales, por esta razón, es fundamental que los negocios y actividades rurales adopten prácticas sostenibles para reducir estos efectos. En este contexto, la gerencia de proyectos ofrece una estructura metodológica que facilita la implementación de acciones sostenibles de manera clara y eficiente, contribuyendo así a mejorar el desempeño operativo. En ese sentido, es importante entender la relación entre las actividades agropecuarias y el cambio climático y los beneficios de las herramientas en gerencia de proyectos para implementar estrategias de mitigación ambiental, el cual corresponde al propósito de la presente investigación.

1.1. LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

Según la FAO (2021), la agricultura contribuye de manera importante al cambio climático, particularmente por la intensificación de prácticas agrícolas que aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O); estas emisiones son generadas por el uso de fertilizantes, la

gestión del ganado, y el cambio en el uso del suelo, a su vez, el cambio climático afecta negativamente a la agricultura al alterar los patrones de temperatura y precipitación, aumentar la frecuencia de fenómenos extremos como sequías e inundaciones, y modificar la distribución de plagas y enfermedades. Estos impactos comprometen la productividad agrícola, la seguridad alimentaria y los medios de vida rurales, especialmente en las regiones más vulnerables.

Lo anterior evidencia una relación de doble vía entre la agricultura y el cambio climático, impactándose mutuamente, por un lado, la agricultura es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero y, al mismo tiempo, es uno de los sectores más vulnerables a sus efectos (Paricahua, 2021).

Particularmente la agricultura intensiva genera impactos importantes que contribuyen al cambio climático como el uso excesivo de agroquímicos en sus sistemas agrícolas (Reyes-Palomino, 2022), la deforestación para ampliar fronteras agrícolas (Paricahua, 2021), la pérdida de biodiversidad (Reyes-Palomino, 2022), la emisión de gases de efecto invernadero (Monterrosa-Rivas, 2021), entre otros factores. Lo anterior generando como consecuencia efectos en los patrones de lluvia, aumento en la frecuencia de eventos extremos, y modificación de las temperaturas (Monterrosa-Rivas, 2021), contribuyendo así a la desestabilización de la seguridad alimentaria, las pocas garantías de sostenibilidad y la propagación de enfermedades (Reyes-Palomino, 2022).

A su vez, el cambio climático altera las condiciones físicas en las que se desarrollan las actividades agrícolas, ya que esta es una actividad altamente dependiente del entorno ambiental y especialmente sensible a la variabilidad climática. Esto repercute directamente en los rendimientos, las áreas cultivadas y la producción de diversos cultivos. En el futuro cercano, se anticipan modificaciones en las condiciones agroclimáticas y en las condiciones de los suelos, lo que exigirá la adaptación de los sistemas de producción. Aunque el cambio climático representa un desafío significativo, también ofrece oportunidades para introducir cultivos con valor agregado, siempre que las medidas de adaptación estén alineadas con las estrategias nacionales de desarrollo y de lucha contra la pobreza (González et al, 2020).

1.2. LAS METODOLOGÍAS EN GERENCIA DE PROYECTOS COMO OPCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Los procesos de cambio social, el avance tecnológico y los desafíos actuales —como el cambio climático— han dado lugar a nuevas formas de comprender los retos y las herramientas necesarias para abordarlos. En este contexto, los desafíos ambientales, sociales y organizacionales exigen considerar diversos factores al momento de diseñar, planificar, ejecutar y evaluar soluciones, siendo la gerencia de proyectos una opción valiosa para impulsar las transformaciones requeridas (Schulde & Saldes, 2024). Así, esta disciplina permite generar cambios significativos en distintos niveles, desempeñando un rol esencial en la transformación, al facilitar la implementación de innovaciones y la gestión estratégica del cambio (Padilla & Cabot, 2021). Por ello, establecer estrategias para la sostenibilidad ambiental desde la gerencia de proyectos no solo es recomendable, sino una propuesta interesante para enfrentar los retos sociales contemporáneos, ya que, mediante prácticas responsables, la promoción de la conciencia ecológica y el desarrollo de soluciones respetuosas con el entorno, estos proyectos pueden contribuir de manera decisiva a un futuro más equitativo y sostenible (Ramírez et al., 2024).

En este contexto, la gerencia de proyectos ofrece una estructura organizada con valor agregado que facilita la integración de equipos multidisciplinarios para alcanzar los objetivos establecidos. Estas metodologías exigen un compromiso colectivo desde el inicio, orientado a reemplazar prácticas desordenadas e improvisadas por un enfoque riguroso y responsable, basado en una planificación estructurada (Montero et al, 2020).

Por otro lado, la gerencia de proyectos, mediante sus herramientas, permite implementar soluciones efectivas frente a desafíos complejos, orientando a los actores sociales hacia los cambios necesarios. En este marco, su vinculación con el emprendimiento y el fortalecimiento institucional la convierte en una estrategia clave para generar transformaciones de alto impacto en los procesos de intervención. A través de metodologías eficaces, se promueven cambios en ámbitos organizacionales, institucionales, empresariales y sociales, ofreciendo una plataforma

que prepara a los actores sociales para enfrentar diversos retos y renovar enfoques metodológicos y pedagógicos, facilitando así su adaptación a los escenarios futuros (Padilla & Cabot, 2021).

Por esta razón, cualquier conjunto de acciones enmarcado en la planificación por proyectos se convierte en una herramienta de gestión al permitir anticiparse a la realidad desde una perspectiva prospectiva y coordinar esfuerzos colectivos. Sus componentes metodológicos facilitan la identificación de escenarios posibles, el diseño de estrategias frente a oportunidades o riesgos, y el aumento de la eficiencia en la atención de problemáticas sociales, promoviendo soluciones efectivas (Matteo & Gratecol, 2017). En ese sentido, se convierte en una alternativa para operacionalizar las estrategias encaminadas a mitigar los impactos del cambio climático. Particularmente, en el marco de la gerencia de proyectos se encuentran metodologías de tipo tradicional, ágil o híbridas (una combinación de ambas).

Dentro de las metodologías tradicionales, destaca especialmente la desarrollada por el Project Management Institute (PMI®), la cual se formaliza en el Project Management Body of Knowledge (PMBOK®). Este documento establece un marco normativo para la gestión de proyectos, detallando procesos, principios, métodos y prácticas esenciales para una administración eficaz. Su contenido ha ido evolucionando gracias a las contribuciones de profesionales expertos, quienes han participado activamente en su elaboración y se han comprometido con el ejercicio de la dirección de proyectos. Este estándar es el más ampliamente difundido y utilizado como base para el diseño de metodologías y procesos de certificación (Vila Grau & Capuz Rizo, 2022).

Asimismo, tanto el PMBOK como PRINCE2 (otra metodología enmarcada en lo tradicional) se consideran referentes fundamentales en el ámbito de la gestión de proyectos, y son ejemplos representativos del proceso de estandarización en esta área. Ambos modelos fueron concebidos bajo un enfoque predictivo, aunque han sido actualizados para integrarse con metodologías ágiles a través de los enfoques híbridos mencionados más adelante (Vila Grau & Capuz Rizo, 2022).

Un aspecto interesante por mencionar es la estandarización en la gestión de proyectos, la cual ha sido adoptada por diversas organizaciones, bajo la creencia de que esta práctica mejora la probabilidad de éxito de los proyectos. Instituciones como el PMI, la APM (Association for Project Management) y la IPMA (International Project Management Association) sostienen que aplicar estándares en la gestión aporta beneficios tanto para los líderes de proyecto como para los resultados obtenidos (Vila Grau & Capuz Rizo, 2022).

Por otra parte, una de las características más destacadas de las metodologías ágiles es su enfoque flexible, colaborativo y orientado a la entrega continua de valor al cliente, lo que contribuye significativamente a la optimización de los procesos. Además, estas metodologías incorporan principios de sostenibilidad, considerando aspectos sociales, económicos y ambientales. Entre los enfoques ágiles más reconocidos se encuentran *Scrum*, *Kanban*, *Lean*, *XP (Extreme Programming)* y *Crystal* (Schulde & Saldes, 2024), entre otras.

Por último, las metodologías híbridas combinan elementos de los enfoques tradicionales y ágiles, favoreciendo una gestión de proyectos más flexible y dinámica, capaz de adaptarse a la complejidad del entorno y a las demandas cambiantes. Esta integración contribuye a mejorar la eficiencia y aumentar la satisfacción de los involucrados, al tiempo que alinea los proyectos con los objetivos estratégicos de la organización. Además, el uso de enfoques híbridos impulsa una cultura organizacional centrada en la innovación y la mejora continua (Contreras-Gutiérrez et al, 2021; Schulde & Saldes, 2024).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

La presente investigación tuvo por objetivo proporcionar herramientas basadas en la gerencia de proyectos dirigidas a negocios rurales con el fin de propiciar su sostenibilidad ambiental y así contribuir a mitigar el cambio climático generado por las actividades desarrolladas en los territorios correspondientes.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con el fin de dar cumplimiento al objetivo general, a continuación, se indican los objetivos específicos de la investigación:

- Desarrollar un marco metodológico de gerencia de proyectos adaptado a las actividades económicas ejercidas en negocios rurales
- Establecer rutas de acción desde la gerencia de proyectos dirigidas a negocios rurales con el propósito de facilitar la implementación de estrategias que garanticen su sostenibilidad ambiental

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la presente investigación es cualitativa descriptiva, bajo el cual se realizó un análisis documental de metodologías de gerencia de proyectos, incluyendo enfoques tradicionales y ágiles, determinando elementos como ventajas, desventajas y aplicabilidad a negocios rurales de acuerdo a los hallazgos en la revisión de literatura respectiva y a partir de ese análisis se establecieron las metodologías más idóneas para aplicar en estrategias orientadas a mitigar los impactos ambientales en negocios rurales.

Posterior a ello, a través de siete (7) estudios de caso seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, se realizaron entrevistas y observación directa con el fin de analizar las actividades económicas ejercidas y su impacto en la sostenibilidad ambiental de los siguientes sectores económicos en distintos territorios colombianos: comercialización al por menor de productos agrícolas (2 casos), porcicultura (2 casos), caficultura (1 caso), palmicultura (1 caso) y avicultura (1 caso). En cada uno de ellos se identificaron los impactos ambientales más relevantes derivados de las actividades de producción agropecuaria y a partir de la metodología en gerencia de proyectos articuladora seleccionada, se formulan las estrategias que mitigarán los impactos ambientales detectados en el diagnóstico inicial y en algunos casos, se complementan con otras herramientas en gerencia de proyectos, lo anterior como propuesta para los negocios rurales de tal manera que cuenten con una ruta precisa de implementación.

4. RESULTADOS

4.1. METODOLOGÍAS EN GERENCIA DE PROYECTOS

Las metodologías en gerencia de proyectos se pueden clasificar en dos categorías: las de tipo cascada y las ágiles; las metodologías de gestión de proyectos en cascada son el enfoque tradicional de la gestión de proyectos y tienen un enfoque lineal hacia la gestión del proyecto, desglosándolo en secuencias e iniciando una fase sólo hasta que se logra la terminación de la anterior. Las metodologías ágiles por otro lado, son un método que permite resolver los proyectos en pequeñas fases o ciclos, son considerablemente flexibles y están diseñadas para entregar valor en calidad y adaptación al cambio durante la gestión del proyecto. Ser ágil en el desarrollo de proyectos es optimizar el uso de recursos y buscar la mejor forma de llevar a cabo un proyecto aprovechando la experiencia propia y la de los colaboradores (Ollé & Cerezuela, 2018).

El ciclo de vida de un proyecto, como base conceptual dentro de la gerencia de proyectos y herramienta tradicional, está compuesto por fases secuenciales que conectan su inicio con el cierre, permitiendo definir tareas técnicas, entregables, participantes y mecanismos de control en cada etapa (Castillo Abarca et al., 2020). La cantidad y denominación de estas fases varía según las necesidades de gestión, el tipo de proyecto y su área de aplicación (Almaguer Torres, 2021).

Una de las metodologías tradicionales más reconocidas que se basan en el ciclo de vida del proyecto, pero que además incorpora asuntos como los procesos, áreas de conocimiento, herramientas y técnica, es el Project Management Body of Knowledge - PMBOK®, caracterizada por su estructura definida que abarca todas las etapas esenciales en la gestión de proyectos, incluyendo la planificación, ejecución, seguimiento, control y cierre. Este enfoque resulta especialmente útil en iniciativas que involucran múltiples fases y actividades interdependientes, como aquellas orientadas a mejorar la producción, impulsar la comercialización y promover la sostenibilidad. En este contexto, el PMBOK® ofrece un marco sólido que facilita una gestión ordenada y eficaz de cada componente del proyecto (Project Management Institute [PMI], 2021). Entre sus principales beneficios se destacan: la claridad en la

estructura para manejar proyectos complejos, el control eficiente de recursos, tiempos y costos, así como la incorporación de prácticas de gestión de riesgos y mejora continua. Su implementación es recomendable en proyectos con diversas etapas, ya que permite abordar cada aspecto de manera sistemática y coherente.

Por otra parte, la metodología PRINCE2 se basa en cuatro elementos que constituyen los siete principios de gestión, siete temáticas, siete procesos y la necesidad de adaptar el modelo al contexto (Vila Grau & Capuz Rizo, 2020). En su 7ª edición, según PeopleCert (2023), incorpora un enfoque centrado en las personas, simplifica el lenguaje para facilitar su aplicación en diversos contextos, y añade nuevos elementos como la gestión del cambio, la sostenibilidad y el manejo de datos. Esta versión promueve la adaptabilidad, la integración con otras metodologías como Agile y Lean, incluye herramientas digitales y una guía complementaria para entornos potenciados por inteligencia artificial. Esta metodología destaca su enfoque en el control riguroso y en la justificación continua del proyecto a lo largo de todas sus etapas. En aquellos casos donde es necesario aplicar una gestión estricta de los riesgos y asegurar una rendición de cuentas clara.

El enfoque del marco lógico, desarrollado en 1969, dio origen a lo que actualmente se conoce como la matriz de marco lógico (MML); esta herramienta se desarrolla a partir de una matriz con cuatro columnas que contiene la descripción, los indicadores, los medios de verificación y los supuestos y a su vez las cuatro filas que representan los niveles del proyecto: fin, propósito alcanzado, resultados y actividades necesarias (Cárdenas et al, 2022).

Por otro lado, dentro de las metodologías ágiles, una de las más populares es Scrum, la cual se basa en el pensamiento *Lean*, que afirma que el conocimiento viene de la experiencia, y se enfoca en iteraciones incrementales combinando cuatro eventos de inspección de adaptación dentro de un evento llamado sprint (Schwaber & Sutherland, 2020).

Otra metodología utilizada en el marco de la gerencia de proyectos es *Lean Project Management*, que corresponde a un enfoque que aplica los principios del *Lean Thinking* cuyo objetivo es reducir el tiempo

necesario para completar un proyecto, eliminando actividades que no agregan valor, conocidas como "desperdicios". Este enfoque busca maximizar el valor entregado al cliente mediante la mejora continua, la eficiencia en los procesos y la participación activa de todos los involucrados en el proyecto (Ballard & Howell, 2003).

Dentro de las metodologías ágiles se destaca la incursión de *Design Thinking* en el marco de la gerencia de proyectos, considerada innovadora y funcional por su facilidad en transformar ideas creativas en resultados concretos y valiosos. Este enfoque propone tres etapas fundamentales: la exploración, que busca comprender a fondo las necesidades de los usuarios; la generación de ideas, que promueve la colaboración para crear soluciones alineadas con dichos requerimientos; y la validación, que consiste en probar las ideas de manera iterativa para evaluar su efectividad (Rueda et al, 2022). Algunos principios fundamentales del *Design Thinking* destacan que la competitividad empresarial se alcanza mediante la creación de productos con significados renovados y un alto valor agregado. Este enfoque pone énfasis en comprender el valor y propósito de los productos, alineando el proceso de diseño con los objetivos estratégicos de las organizaciones. Además, el diseño se convierte en un punto de integración entre la tecnología, las funciones comerciales y la dimensión humana, promoviendo la innovación a través de la transformación cultural dentro de las empresas (Bareño, 2020).

Por último, la metodología Kanban surge en Japón en la empresa Toyota, y hace referencia a un sistema visual que facilita la coordinación eficiente en los procesos de producción, asegurando que cada componente llegue justo a tiempo en la cadena de montaje, evitando así la sobreproducción y el almacenamiento innecesario. En el contexto de la agilidad de proyectos, Kanban se ha adaptado como una herramienta visual que mejora la organización y ejecución de tareas. Su aplicación se basa en dividir el trabajo en unidades representadas por tarjetas, colocarlas en un tablero, y utilizar columnas que indican el estado de cada tarea dentro del flujo de trabajo, como “pendiente”, “en proceso” y “finalizado” (Laya & Figueroa, 2020).

La tabla 1 evidencia el comparativo de las metodologías en gerencia de proyectos analizadas, así como la descripción de sus ventajas y

desventajas y facilidades de aplicación en negocios rurales, resultado del análisis documental llevado a cabo.

TABLA 1. *Comparativo metodologías en gerencia de proyecto para aplicar en negocios rurales*

Metodología analizada	Descripción	Ventajas	Desventajas	Aplicación en negocios rurales
Ciclo de vida del proyecto	El desarrollo se realiza en fases secuenciales: inicio, planificación, ejecución y cierre, con un enfoque adaptable	Alta adaptabilidad rural, con ajustes por fases y participación activa	Requiere tiempo para su implementación y capacitación inicial para los coordinadores	Adaptables a proyectos de negocios rurales
PMBOK®	Enfoque tradicional que contiene 5 fases: inicio, planificación, ejecución, monitoreo/control y cierre	Enfoque estructurado	Burocrático	Útil para definir objetivos, evaluar riesgos y gestionar stakeholders
PRINCE2	El proyecto contiene fases bien definidas, con control por etapas, roles asignados y una justificación continua del negocio	Clara división de responsabilidades	Requiere formación específica	Ideal si se busca escalar el proyecto a un nivel cooperativo o regional
Marco Lógico	Estructura basada en identificación de problemas, objetivos, indicadores verificables, medios de verificación y supuestos clave	Fomenta claridad de objetivos	No detalla fases de ejecución	Altamente recomendado para identificar problemas
Scrum	Enfoque iterativo e incremental mediante ciclos cortos llamados sprints con una duración de 1 a 4 semanas y validación frecuente de requisitos	Alta adaptabilidad	No apto para proyectos con entregables únicos estables	Ajustado para procesos repetitivos
Lean Project Management	Busca la optimización de recursos, mejora continua de los procesos y la eliminación de desperdicios	Ideal para proyectos con pocos recursos	Requiere cultura de mejora continua y disciplina operativa	Útil para optimizar procesos
Design Thinking	Centrada en el usuario a través de la empatía, la ideación, el prototipado y la prueba	Innovador, humano y contextual	Requiere participación activa y procesos constantes de interacción	Aplicable a negocios rurales de turismo y productos locales

Kanban	Es un enfoque iterativo e incremental que se gestiona visualmente mediante tableros con columnas como "pendiente", "en proceso" y "hecho"	Sencilla, compatible con otras metodologías y útil para identificar problemas en el proceso	Si el equipo no revisa ni ajusta el flujo, puede convertirse en un simple tablero sin mejoras	Útil en el seguimiento de trámites y documentación

Fuente: elaboración propia

Acorde al apartado anterior, y dadas las ventajas que ofrece PMBOK sobre otras metodologías de cara a las necesidades de los negocios rurales, se opta como metodología articuladora para proponer una ruta de acción que indique la implementación de estrategias que mitiguen los impactos ambientales generados de sus actividades económicas. Sin embargo, siguiendo con la tendencia de las ventajas en el uso de metodologías híbridas, en los casos que sean pertinentes y el contexto así lo permita, complementar las acciones de mitigación con otras herramientas de gerencia de proyectos como Kanban, *Scrum* y *Design Thinking*.

4.2. PROPUESTA METODOLÓGICA

La propuesta metodológica que se propone en la presente investigación aborda las etapas de: i) Diagnóstico; ii) Formulación de estrategias y iii) Formulación de proyectos para la implementación de las estrategias.

En la etapa de diagnóstico el énfasis se encuentra en identificar el impacto ambiental generado de las actividades propias de los negocios rurales analizados, lo cual permite identificar los efectos negativos que su operación pueden generar en el entorno natural para así priorizar su abordaje y comprender claramente el origen de los impactos ambientales.

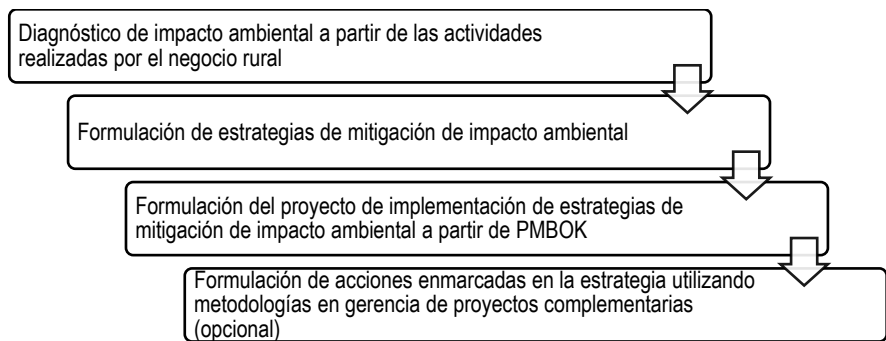
Luego de realizar el diagnóstico del impacto ambiental en el negocio rural, se procede a diseñar estrategias de mitigación orientadas a reducir o eliminar los efectos negativos identificados. Estas acciones buscan fomentar prácticas sostenibles que se integren de manera coherente con las actividades propias del entorno rural. Las estrategias definidas para los negocios rurales se concretan mediante la formulación de un proyecto que permita su implementación efectiva, siguiendo los lineamientos establecidos por la metodología PMBOK®. Este enfoque garantiza una gestión organizada, estructurada y eficiente en cada una de las fases del

proyecto, desde su inicio hasta el cierre. Al aplicar PMBOK®, se asegura una planificación detallada, una ejecución controlada y una supervisión constante de los avances, facilitando así la toma de decisiones informadas. Además, permite identificar riesgos, asignar recursos de manera adecuada y establecer mecanismos de seguimiento que contribuyen al cumplimiento de los objetivos. Por esta razón, el uso de esta metodología fortalece la sostenibilidad y viabilidad de las estrategias propuestas, adaptándolas al contexto rural y promoviendo una gestión orientada a resultados, que en este caso es la mitigación de impacto ambiental.

Para fortalecer la planificación en los negocios rurales, cuando sea necesario y esté debidamente justificado, se incorpora una metodología adicional dentro del marco de la gerencia de proyectos. Esta metodología complementaria permite reforzar el enfoque del proyecto, adaptándolo a las particularidades del entorno rural, donde las condiciones pueden ser más variables y específicas. Su aplicación contribuye a una ejecución más efectiva, alineada con los objetivos estratégicos y operativos del negocio. Además, se promueve una gestión más responsable, considerando aspectos sociales, ambientales y económicos. Tal como se ha evidenciado en experiencias previas, el uso de metodologías híbridas resulta útil para integrar lo mejor de distintos enfoques, ofreciendo flexibilidad y mayor capacidad de respuesta ante los desafíos del contexto.

La figura 1 resume las etapas de la metodología propuesta para implementar estrategias que mitiguen el impacto ambiental en los negocios rurales, basado en los principios de la gerencia de proyectos. Esta metodología busca estructurar acciones concretas que respondan a los desafíos ambientales del entorno rural, asegurando una planificación ordenada, ejecución eficiente y seguimiento continuo. Al integrar herramientas de gestión como metodología estructuradora a través de PMBOK®, se facilita la identificación de riesgos, la asignación adecuada de recursos y la evaluación de resultados. Además, se promueve la sostenibilidad mediante prácticas responsables que se adaptan a las características específicas de cada negocio rural, fortaleciendo su viabilidad y compromiso con el entorno, y por ende con los impactos del cambio climático y viceversa.

FIGURA 1. Metodología propuesta para la implementación de estrategias que mitiguen el impacto ambiental de los negocios rurales basadas en conceptos de gerencia de proyectos



Fuente: elaboración propia

4.3. CASOS ANALIZADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los siete (7) casos analizados describiendo el negocio rural, el impacto ambiental generado por su actividad económica, la estrategia de mitigación de impacto y su ruta de implementación basado en la metodología PMBOK, y en algunos de ellos se complementa con alguna metodología en gerencia de proyectos adicional, siguiendo así la metodología propuesta en el presente trabajo, explicada en el numeral anterior.

El primer caso analizado corresponde a una producción de gallinas ponedoras ubicada en el departamento de Cundinamarca, cuyas problemáticas identificadas fueron la disposición del estiércol de gallina y el manejo inadecuado de aguas residuales. La estrategia de mitigación se plantea a partir de una implementación de disposición de estiércol de gallina convertido en gallinaza, así como una instalación de máquina de tratamiento de lodos para aguas residuales. Como metodología complementaria, se incorpora a la propuesta *Lean Project Management* con el fin de reducir desperdicios, optimizar procesos y maximizar valor, explicados en la tabla 2.

TABLA 2. Ruta de implementación de estrategias para mitigación de impacto ambiental de una producción de gallinas ponedoras en Cundinamarca

Negocio Rural	Gallinas ponedoras

Ubicación	Cundinamarca
Problemática ambiental	Disposición de estiércol de gallina Manejo inadecuado de aguas residuales
Estrategia	Implementación de proceso de gallinaza Instalación de máquina de tratamiento de lodos
Metodología central - PMBOK	Inicio: El proyecto tiene como objetivo transformar el estiércol de gallina en gallinaza como abono orgánico y mejorar el manejo de aguas residuales mediante prácticas sostenibles. Su alcance incluye: la instalación de zonas de compostaje, el sistema de tratamiento de aguas y la capacitación al personal correspondiente. Planificación: Incluye el diseño de áreas de compostaje para gallinaza y la selección de tecnologías para tratar aguas residuales, incluyendo cronograma, recursos, presupuesto e indicadores. Ejecución: Abarca la construcción de zonas de compostaje y la adecuación de sistemas para el tratamiento de aguas residuales. Se desarrollan talleres de capacitación sobre el manejo de gallinaza y uso del abono, junto con pruebas piloto para evaluar la calidad del compost y del agua tratada. Cierre: Se cierra el proyecto, transformado en operación una vez se realiza el monitoreo técnico para asegurar el buen funcionamiento de los sistemas implementados.
Metodología complementaria	Lean Project Management: Aplicado al proceso optimizado de compostaje de estiércol de gallina y su conversión a gallinaza

Fuente: elaboración propia

El segundo caso es un cultivo de café en el departamento de Santander, en el cual se identificó dentro de su proceso de producción el uso de químicos para el control de plagas, provocando la contaminación del suelo y la reducción de las propiedades óptimas para la producción del grano; como estrategia, se plantea desarrollar planes de fertilización, manejo de plagas y enfermedades en estos cultivos mediante productos amigables con el ambiente. En esta oportunidad se propone complementar la estrategia con la metodología Kanban para controlar la implementación de los planes basados en una lista de chequeo.

El tercer caso es el impacto ambiental generado por la comercialización de residuos sólidos en la cadena de distribución de banano en el departamento del Quindío, cuya estrategia se enfoca en la capacitación al personal operativo en prácticas sostenibles ambientalmente a partir del manejo de residuos sólidos. En este caso no se seleccionó una metodología complementaria dado que con la metodología articuladora era suficiente para proponer la ruta de acción.

TABLA 3. Ruta de implementación de estrategias para mitigación de impacto ambiental de un cultivo de café en Santander

Negocio Rural	Cultivo de café
Ubicación	Santander
Problemática ambiental	Contaminación del suelo por el uso de químicos para el control de plagas
Estrategia	Desarrollar planes de fertilización, manejo de plagas y enfermedades en los cultivos de café mediante productos amigables con el ambiente
Metodología central - PMBOK	Inicio: Implementar prácticas agroecológicas para reducir el uso de químicos en el control de plagas en los cultivos de café del negocio rural analizado, mitigando la contaminación del suelo, dado sus efectos negativos. El alcance incluye diagnóstico, capacitación y parcelas demostrativas. Planificación: Incluye el diseño de estrategias de control de plagas sin químicos, planteando cronograma, recursos, presupuesto e indicadores. La estructura incluye diagnóstico, diseño de prácticas, adquisición de insumos biológicos, capacitación, implementación y monitoreo, teniendo presente los riesgos como la resistencia al cambio, la baja efectividad inicial y el clima adverso. Ejecución: La implementación técnica incluye parcelas demostrativas con control biológico y manejo integrado de plagas, complementadas con talleres sobre alternativas al uso de químicos. Se realiza una producción piloto para evaluar la efectividad de las prácticas en la reducción de plagas y mejora del suelo. Cierre: Se lleva a cabo el monitoreo técnico para verificar reducción de plagas y mejora en las calidades del suelo, y se realiza cierre
Metodología complementaria	Kanban: Organización de las actividades de implementación en el tablero visual con columnas: “pendiente”, “en proceso” y “finalizado”, facilitando el seguimiento de prácticas agroecológicas

Fuente: elaboración propia

El cuarto caso es un negocio rural dedicado a la comercialización de productos agrícolas a través de dos plazas de mercado: una ubicada en el departamento de Cundinamarca y otra en La Guajira, las cuales, dentro de las actividades cotidianas de limpieza se genera contaminación del agua por vertimiento de productos de aseo.

Dentro de las estrategias planteadas se contempla la implementación del sistema de recolección de aguas lluvias y recirculación de agua para su mitigación. En este caso tampoco hubo necesidad de complementar la estrategia con otra metodología en gerencia de proyectos.

TABLA 4. Ruta de implementación de estrategias para mitigación de impacto ambiental de una producción de gallinas ponedoras en Cundinamarca

Negocio Rural	Comercialización de banano
Ubicación	Quindío
Problemática ambiental	Generación de residuos sólidos en la cadena de distribución de banano
Estrategia	Capacitación al personal operativo en prácticas sostenibles ambiental-mente a partir del manejo de residuos sólidos
Metodología central - PMBOK	Inicio: Incluye la definición precisa del problema de generación de resi-duos sólidos en la cadena de distribución del banano, la identificación los actores clave tales como productores, distribuidores, autoridades ambientales, entre otros y se establece el objetivo del proyecto orien-tado a implementar prácticas sostenibles que reduzcan los residuos ge-nerados en el proceso. Planificación: Incluye el diagnóstico de generación de residuos, la selec-ción de prácticas sostenibles como reutilización de empaques y com-postaje, el cronograma, presupuesto, indicadores y gestión de riesgos Ejecución: Se implementan prácticas como el uso de empaques biode-gradables, capacitación en manejo de residuos, instalación de puntos de recolección y compostaje Cierre: Finaliza el proyecto con el monitoreo técnico y social del impacto en la reducción de residuos y mejora ambiental.
Metodología comple-mentaria	Ninguna

Fuente: elaboración propia

Para el quinto caso relacionado, el cultivo de palma africana ubicado en el departamento del Norte de Santander, uno de los impactos ambientales más relevantes es el deterioro del suelo por uso de agroquímicos. La estrategia contemplada para su mitigación es: la capacitación en control biológico, uso de compost, y técnicas de conservación de suelo. En esta ocasión tampoco se vio necesario el uso de una metodología adicional que complementara la ruta de acción.

Los dos últimos casos abordados hacen referencia a la porcicultura, la primera de ellas ubicada en Caquetá y la segunda en Cundinamarca, la primera no tiene una gestión adecuada del estiércol de los cerdos y la segunda utiliza fuentes hídricas de nacimientos naturales de agua de la región. La estrategia para una gestión adecuada del estiércol se propone implementar un proceso de transformación eficiente del estiércol en abono orgánico o biol a partir de biodigestores y se utiliza la metodología complementaria de Scrum a través de *sprints* para la implementación de los biodigestores.

TABLA 5. Ruta de implementación de estrategias para mitigación de impacto ambiental de una plaza de comercialización de productos agrícolas en Cundinamarca y La Guajira

Negocio Rural	Comercialización de productos agrícolas
Ubicación	Cundinamarca y La Guajira
Problemática ambiental	Contaminación de agua por vertimiento de productos de aseo con los que se realiza limpieza del lugar.
Estrategia	Implementación del sistema de recolección de aguas lluvias y recirculación de agua
Metodología central - PMBOK	Inicio: Se profundiza en el problema de contaminación del agua por el uso de productos de limpieza en zonas de comercialización agrícola para definir los objetivos del proyecto Planificación: Incluye el diagnóstico, selección de productos biodegradables para realizar la actividad de limpieza, la construcción del sistema de recolección de aguas lluvias y su circulación, incluyendo el cronograma de actividades, presupuesto estimado, los indicadores y la gestión de riesgos. Ejecución: Se implementan prácticas orientadas al uso de productos de limpieza ecológicos, capacitación en manejo responsable de residuos líquidos, instalación de sistemas de recolección y tratamiento. Cierre: Se lleva a cabo el monitoreo del impacto ambiental posterior a la implementación de las soluciones diseñadas
Metodología complementaria	Ninguna

Fuente: elaboración propia

TABLA 6. Ruta de implementación de estrategias para mitigación de impacto ambiental de un cultivo de palma africana en Norte de Santander

Negocio Rural	Cultivo de palma africana
Ubicación	Norte de Santander
Problemática ambiental	Deterioro del suelo por uso de agroquímicos
Estrategia	Capacitación en control biológico, uso de compost, y técnicas de conservación de suelo.
Metodología central - PMBOK	Inicio: Se mide el impacto negativo de los agroquímicos en el suelo en cultivos de palma africana, se definen los objetivos del proyecto y se involucra a productores, técnicos agrícolas y autoridades ambientales Planificación: Se diseña un plan que incluye diagnóstico del estado del suelo, selección de prácticas sostenibles (biofertilizantes, rotación de cultivos), cronograma, presupuesto, indicadores y gestión de riesgos. Ejecución: Se implementan prácticas como el uso de insumos orgánicos, capacitación en manejo sostenible del suelo e instalación de parcelas demostrativas Cierre: Se realiza monitoreo técnico del impacto en la salud del suelo y productividad del cultivo para finalizar el proyecto.
Metodología complementaria	Ninguna

Para mitigar el problema de uso de fuentes hídricas se plantea construir un sistema de recolección de aguas lluvias y reforestación de cuencas cercanas y la metodología complementaria es *Design Thinking* a través de las fases de empatía, definición, ideación, prototipado y prueba.

TABLA 7. Ruta de implementación de estrategias para mitigación de impacto ambiental de una producción de cerdos en Caquetá

Negocio Rural	Porcicultura
Ubicación	Caquetá
Problemática ambiental	Disposición de estiércol de cerdos
Estrategia	Transformación eficiente del estiércol en abono orgánico o biol a partir de biodigestores
Metodología central - PMBOK	Inicio: Se plantea como objetivo transformar el estiércol de cerdo en abono orgánico mediante biodigestores, promoviendo prácticas sostenibles en el negocio rural analizado Planificación: Incluye el diseño del sistema de biodigestores, la definición de actividades, recursos, presupuesto e indicadores. Las tareas que se llevan a cabo son: diagnóstico, adquisición de materiales, instalación y capacitación. Ejecución: Construcción e instalación de biodigestores en puntos estratégicos, acompañada de talleres de capacitación sobre su uso, mantenimiento y beneficios del biol. Se realiza una producción piloto para evaluar la calidad del abono generado, y se implementa un sistema de monitoreo técnico y social que garantice el correcto funcionamiento y sostenibilidad del proceso Cierre: Se lleva a cabo la entrega formal del sistema al negocio rural, incluyendo manuales y soporte técnico.
Metodología complementaria	Scrum: Para la implementación de los biodigestores, se establece cada sprint con tareas específicas: adquisición de materiales, instalación, capacitación y pruebas piloto.

Fuente: elaboración propia

TABLA 8. Ruta de implementación de estrategias para mitigación de impacto ambiental de una producción de cerdos en Cundinamarca

Negocio Rural	Porcicultura
Ubicación	Cundinamarca
Problemática ambiental	Uso de fuentes hídricas de nacimientos naturales de agua de la región
Estrategia	Recolección de aguas lluvias y reforestación de cuencas cercanas para uso del negocio
Metodología central - PMBOK	Inicio: Se diagnostica la cantidad usada de nacimientos naturales de agua en el negocio porcino, se define el objetivo de mitigar este impacto mediante recolección de aguas lluvias y reforestación. Planificación: Se diseña un plan con diagnóstico hídrico, selección de tecnologías de captación de lluvia, zonas de reforestación, cronograma, presupuesto, e indicadores Ejecución: Se instalan sistemas de recolección de aguas lluvias, se realizan jornadas de reforestación en cuencas cercanas y se capacita a los actores involucrados Cierre: Se monitorea el impacto en la reducción del uso de fuentes naturales y mejora de la cobertura vegetal
Metodología complementaria	Design Thinking: En la fase de empatía se identifican las necesidades ambientales y sociales del territorio, seguida por la definición del problema y la ideación de soluciones para su prototipado como por ejemplo la selección de especies nativas y la planificación participativa de jornadas de reforestación adaptadas al contexto local.

Fuente: elaboración propia

5. DISCUSIÓN

La aplicación de metodologías en gerencia de proyectos en negocios rurales ha demostrado ser una alternativa para abordar los impactos ambientales derivados de sus actividades económicas. Particularmente, la estructura metodológica del PMBOK® permitió organizar las fases de diagnóstico, planificación, ejecución y cierre de manera clara, facilitando la implementación de estrategias sostenibles adaptadas a cada contexto territorial. Esta sistematización no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fortalece la capacidad de respuesta ante los desafíos ambientales.

En específico, los casos analizados que sirvieron como pruebas piloto en el proceso de planeación, evidencian que la incorporación de metodologías complementarias adicionales a PMBOK® como *Lean Project*

Management, Kanban, *Scrum* y *Design Thinking* aporta flexibilidad, permitiendo adaptar las estrategias a las particularidades de cada negocio rural, reforzando las bondades de metodologías híbridas (Schulde & Salde, 2024) las cuales destacan la viabilidad de las acciones propuestas, especialmente en entornos con condiciones distintas.

Asimismo, se evidenció que la planificación por proyectos estructurada desde PMBOK facilita la anticipación a escenarios futuros, permitiendo identificar riesgos, establecer indicadores para el monitoreo y coordinar esfuerzos colectivos (Vila Grau & Capuz Rizo, 2022). Esta perspectiva prospectiva es esencial para enfrentar los efectos del cambio climático, ya que promueve una gestión responsable y orientada a resultados (Padilla & Cabot, 2021). La gerencia de proyectos se convierte así en una herramienta articuladora entre el conocimiento técnico y la acción territorial.

Teniendo en cuenta lo anterior, la sostenibilidad ambiental en negocios rurales no puede depender únicamente de buenas intenciones, sino que requiere de herramientas concretas, estructuradas y adaptables. Las metodologías en gerencia de proyectos ofrecen ese marco de acción, permitiendo transformar los desafíos ambientales en oportunidades de mejora continua, resiliencia y desarrollo rural sostenible (González et al, 2020).

Sin embargo, esta propuesta presenta desafíos que, aunque pueden parecer particulares de los negocios rurales y su contexto, realmente las variables por las cuales se puede dificultar la implementación de metodologías en gerencia de proyectos para la mitigación ambiental de actividades realizadas en la ruralidad son comunes en negocios tipo MiPyME, como por ejemplo, la cultura organizacional incompatible con la agilidad, la falta de compromiso del dueño del negocio, la resistencia al cambio de los actores involucrados y una planificación imprecisa e insuficiente que afectan la ejecución de los proyectos (Garrido, 2023).

6. CONCLUSIONES

El desarrollo de un marco metodológico de gerencia de proyectos adaptado a las actividades económicas de los negocios rurales permitió establecer una propuesta para abordar los desafíos ambientales que enfrentan estos sectores. A través de la integración de metodologías

tradicionales, ágiles e híbridas, se fundamentó una estructura flexible y contextualizada que responde a las particularidades del entorno rural. Este marco metodológico no solo facilita la planificación y ejecución de proyectos, sino que también contribuye a hacer realidad las estrategias propuestas, orientada a resultados sostenibles.

En específico, cada caso analizado permitió identificar problemáticas específicas y diseñar soluciones adaptadas, demostrando que la gerencia de proyectos puede ser una aliada clave en la transformación de prácticas productivas en procura de fortalecer la sostenibilidad ambiental, orientada a mitigar los impactos que afectan el cambio climático. Estas rutas de acción, al estar basadas en metodologías reconocidas como PMBOK® como metodología articuladora, y como metodologías complementarias herramientas como *Kanban*, *Scrum* y *Design Thinking*, ofrecen flexibilidad y dinamismo para materializar las estrategias propuestas, con el fin de promover una cultura de mejora continua. Este enfoque integral demuestra que es posible avanzar hacia un desarrollo rural más responsable, resiliente y comprometido con la protección del entorno natural, contribuyendo así a mitigar el cambio climático.

8. REFERENCIAS

- Almaguer Torres, R. M., Pérez Campaña, M., & Aguilera García, L. O. (2021). Ciclo de vida de proyectos: Guía para diseñar e implementar proyectos de desarrollo local. *Cooperativismo y Desarrollo*, 9(2), 431-456.
- Ballard, G., & Howell, G. (2003). Lean project management. *Building Research & Information*, 31(2), 119-133
- Bareño, E. O. A. (2020). Integración de Lean, Design Thinking y Agile en la gestión de proyectos. *SIGNOS-Investigación en sistemas de gestión*, 12(2), 161-174.
- Cárdenas, L., Cruz, N., & Álvarez, N. (2022). Revisión del marco lógico: conceptualización, metodología, variaciones y aplicabilidad en la gerencia de proyectos y programas. *Revista Inquietud Empresarial*, 22(1), 117-133.
- Castillo Abarca, L., Vega Zepeda, V., & Meneses Villegas, C. (2020). Alineando el ciclo de vida de un proyecto con un modelo de madurez BI: una propuesta para la etapa de análisis preliminar. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(4), 629-644.

- Contreras-Gutiérrez, D. C., de Jesús Moreno-Ávila, N., Pérez-Londoño, G. V., & Leal-Coronado, C. A. (2021). Aplicación de prácticas en gerencia de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en grupos de investigación. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (90), 47-64.
- DS: Revista de Desarrollo sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación, 2(11), 9.
- FAO. (2021). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ca5ef61c-f764-4308-b752-e9a094bb3cf8/content/cb4476es.html>
- Garrido Machado, J. C. (2023). Impacto de la gerencia de proyecto en la mejora de la competitividad e innovación dentro de las empresas. *Gerencia Libre*, 9.
https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/gerencia_libre/article/view/10704
- González, N. Z., Olvera, R. E. M., & Reza, I. R. (2020). El cambio climático: un obstáculo ambiental y económico en el agotamiento de los recursos naturales para el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria. *RILCO*
- Laya, C. E. R., & Figueroa, G. M. A. (2020). Modelo para la Gestión de Proyectos de Sistemas de Información en Empresas del Sector de Pesaje en Venezuela. *Tekhné*, 23(2).
- Lozano-Povis, A., Álvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). El cambio climático en los Andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 83–91.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
- Matteo, C., & Graterol, E. (2017). Proyectos sociales: metodología e implicaciones para la gerencia social. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*, 23(2), 161-185.
- Montero, J. M. C., Gómez, H. E. G., Arocutipa, J. P. F., & Cuadros, M. J. L. (2020). Áreas de conocimiento y fases clave en la gestión de proyectos: consideraciones teóricas. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(90), 680-692.
- Monterroso-Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana*, 39, e774.
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- Morelos-Gómez, J., Andrade-Quintero, E., & Ruiz-García, G. (2023). Evolución de la Gerencia de Proyectos de Construcción en la Aplicación del estándar PMI y las Metodologías Ágiles. *Revista Científica Anfibios*, 6(1), 78-85. <https://doi.org/10.37979/afb.2023v6n1.128>
- Ollé, C., & Cerezuela, B. (2018). *Gestión de proyectos paso a paso*. Barcelona: Editorial UOC.

- Padilla, E. Á., & Cabot, E. A. (2021). La investigación en proyectos: alternativa de metodología para solucionar problemas en escenarios sociales. *Varela*, 21(58), 1-9.
- Paricahua Choque, M. (2021). CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 1(1), 82–90.
Recuperado a partir de
<https://idicap.com/ojs/index.php/ogmios/article/view/5>
- PeopleCert. (2023). Managing successful projects with PRINCE2® 7: The official manual (7th ed.). AXELOS. <https://www.peoplecert.org>
- Ramírez, C. D. M., Rodríguez, D. T. G., Pérez, E. M. B., & Avellaneda, Z. J. A. (2024). Tendencias emergentes: diálogos entre la sostenibilidad ambiental en la gestión de proyectos de innovación social para un futuro sostenible. *Ciencia y Sociedad: República Dominicana*, 49(2), 77-87.
- Reyes-Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53–64.
<https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Rueda, R. Z., Aguillón, A. A. A., & Suárez, S. P. (2022). Design Thinking para el emprendimiento social: una revisión de literatura. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 30(1), 113-130.
- Schulze González, E., & Saldes Toledo, N. (2024). Metodologías en Gestión de Proyectos: Análisis entre hibridaciones ágiles.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). La guía definitiva de Scrum: las reglas del juego.
- Vila Grau, J. L., & Capuz Rizo, S. (2020). Análisis del impacto de la Agilidad sobre los modelos de gestión de proyectos PMBoK, PRINCE2 e IPMA.
- Vila Grau, J. L., & Capuz Rizo, S. (2022). Hybrid project management according to the pmbok and prince2 models. In 26 th International Congress on Project Management and Engineering Terrassa.

RAINWATER HARVESTING AS AN ALTERNATIVE TO ADDRESS WATER SCARCITY IN COMMUNITIES WITH DEFICIENT HYDRAULIC INFRASTRUCTURE

LILIANA LIZÁRRAGA-MENDIOLA

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca-Tulancingo

ARTURO LARIOS-GALVÁN

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca-Tulancingo

JUAN CARLOS SECK TUOH-MORA

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca-Tulancingo

OMAR SALVADOR AREU-RANGEL

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca-Tulancingo

CARLOS ALFREDO BIGURRA-ALZATI

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca-Tulancingo

1. INTRODUCTION

The escalating scarcity of freshwater represents one of the most critical challenges confronting the 21st century. This crisis is exacerbated by inadequate water governance, increasing rainfall variability associated with climate change, and the deteriorating condition of essential infrastructure (Castelán-Cabañas et al., 2024; Vardon et al., 2025). Academically, urban water scarcity is defined as a condition wherein the municipal demand for potable water surpasses the available supply, or wherein access is severely restricted due to a confluence of physical, economic, and institutional barriers. This impedes the capacity to sustainably meet the fundamental needs of a population, as well as its economic and environmental requirements (García-Ávila et al., 2023). In this context, traditional centralized water systems demonstrate considerable limitations in their adaptability to water-stressed scenarios, thereby exacerbating system losses, operational inefficiencies, and vulnerabilities across both urban and rural settings.

In this context, rainwater harvesting emerges as a technically, economically, socially, and environmentally viable alternative. From a technical perspective, it enables supply diversification and reduces pressure on aquifers (Rodrigues-de Sá Silva et al., 2023); economically, its costs are lower compared to network expansion (Rodrigues-de Sá Silva et al., 2023; Xue et al., 2025); socially, acceptance increases when benefits are tangible (Śłyś & Stec, 2020); and environmentally, it contributes to reducing the extraction of conventional sources while mitigating droughts and floods (Istchuk & Ghisi, 2023).

The use of indicators is essential to evaluate these benefits, as they translate complex phenomena into verifiable values (Xue et al., 2025). In Mexico, studies have examined social indicators (Castelán-Cabañas et al., 2024) and technical indicators (Volpi-León et al., 2024), as well as research on efficiency, water quality, and social acceptance (Istchuk & Ghisi, 2023; Xue et al., 2025). Nevertheless, several challenges persist, including climatic variability that affects system performance, the absence of clear regulatory frameworks, social perceptions of water quality (Rodrigues-de Sá Silva et al., 2023), and physical limitations in accessing alternative sources.

Within this framework, the present study proposes to analyze rainwater harvesting as a sustainable strategy to mitigate water scarcity, considering its benefits, limitations, and opportunities from both technical and social perspectives.

2. RAINWATER HARVESTING IN THE FACE OF WATER SCARCITY

Rainwater harvesting (RWH) has become established as a viable alternative to counter the increasing scarcity of water in both urban and rural contexts. These systems, commonly referred to as Rainwater Harvesting Systems (RWHS), are based on the collection, conveyance, storage, and utilization of rainfall from catchment surfaces—primarily rooftops—with applications ranging from household to community-scale uses (Patil et al., 2021; Kumar et al., 2022). Beyond reducing pressure on conventional water supply sources, they contribute to enhancing

water security and fostering resilience in the face of climatic variability scenarios (Vardon et al., 2025).

2.1. MAIN APPLICATIONS AND SUCCESSFUL CASES

Rainwater harvesting systems (RWHS) have been implemented in urban and semi-arid contexts to meet specific supply needs. In Chinese cities, their integration into buildings reduced potable water demand and urban runoff by up to 25% (Zabidi et al., 2020). In Mexico, community-based systems have supplied between 40% and 60% of annual household consumption, thereby reducing vulnerability to intermittent service. When accompanied by social engagement and financial support, coverage has reached as high as 80% of households (Vardon et al., 2025).

Key success criteria include the sustained ability to meet water needs, reducing dependence on public or overexploited sources, and achieving social acceptance. In Australia and Japan, the combination of fiscal incentives and large-scale installation programs facilitated broader adoption while lowering municipal costs (Vardon et al., 2025).

2.2. RAINWATER HARVESTING SYSTEMS IN THE DOMESTIC CONTEXT

2.2.1. Criteria for selection and installation

The implementation of rainwater harvesting systems (RWHS) in households requires technical criteria to ensure efficiency, safety, and water quality. These criteria encompass site selection, component installation, and maintenance (FAO, 2000; CONAGUA, 2025).

Site selection

Feasibility depends on annual rainfall, rooftop characteristics, and storage space. Installation is recommended in regions with ≥ 200 –500 mm of annual rainfall (FAO, 2000; JICA, 2015). Rooftops require a minimum slope of 2–15% to channel water and prevent ponding (FAO, 2000; SEDEMA, 2020).

Installation

A typical RWHS is composed of several key components. The catchment surface generally consists of impermeable roofs made of concrete,

tile, or metal sheets, which provide high runoff efficiency (Zabidi et al., 2020). The conveyance system includes gutters and pipes often fitted with meshes or filters to ensure proper water flow (García-Ávila et al., 2023). For pretreatment, first-flush devices are commonly installed to divert and discard the initial portion of rainfall that may carry contaminants (García-Ávila et al., 2023). The collected water is then directed to storage tanks, usually sealed cisterns with capacities ranging from 5,000 to 10,000 liters, depending on the catchment area and water demand (Alim et al., 2020). To ensure water quality, treatment methods such as chlorination, colloidal silver, sand filtration, activated carbon, or ultra-violet (UV) radiation may be applied, depending on the intended use of the water (Alim et al., 2020). Finally, distribution is achieved either through gravity-fed systems or by using pumps (Alim et al., 2020).

Maintenance

Maintenance activities include cleaning rooftops and gutters prior to rainfall events (Campisano & Modica, 2024); monthly inspection of filters (JICA, 2015); monitoring of sealed tanks (CONAGUA, 2025); water quality testing (Ranaee et al., 2021); and user training (Khanal et al., 2023).

2.2.2. Primary applications of harvested rainwater

Rainwater harvesting is recognized as a sustainable alternative to address water scarcity, with applications in both urban and rural areas. Its uses are classified as potable and non-potable, depending on the treatment applied and prevailing regulations (Alim et al., 2020; Ranaee et al., 2021).

For potable uses, water requires filtration and disinfection (such as chlorination or UV light) to meet quality standards. These practices have been successfully implemented in rural communities in Brazil and Mexico (Alim et al., 2020; García-Ávila et al., 2023). For non-potable uses, toilet flushing stands out, reducing potable water consumption by up to 80% (Dumit-Gómez & Teixeira, 2017; Słyś & Stec, 2020); garden irrigation, with coverage rates of up to 90% in Australia (Sapkota et al., 2015); and cleaning or laundry, which in countries such as India and Bangladesh accounts for approximately 80% of non-potable

consumption (Khanal et al., 2023). For these applications, basic treatment such as filtration or sedimentation is sufficient (Zabidi et al., 2020). Ultimately, the feasibility of implementation depends on technical, regulatory, and social factors that determine the opportunities and limitations within each context (Table 1).

TABLE 1. *Recommended and discouraged uses of rainwater*

Use	Recommendation	Reference authors
Toilet flushing	Highly recommended	Dumit-Gómez & Teixeira (2017); Słyś & Stec (2020)
Garden irrigation	Recommended	Sapkota et al. (2015); Park & Um (2018)
Laundry washing	Recommended with filtration	Khanal et al. (2023)
Human consumption	Only with treatment	Alim et al. (2020); García-Ávila et al. (2023)

2.2.3. The evolution of RWHS in Latin America and Mexico

In Latin America, rainwater harvesting systems (RWHS) have evolved from traditional practices in rural communities to institutionally recognized strategies to address urban water scarcity, particularly in arid and semi-arid regions where conventional infrastructure is insufficient. This transition has been accompanied by a growing technical and regulatory formalization promoted by international organizations and national governments (FAO, 2000; JICA, 2015).

A significant milestone was the publication of the Manual for Rainwater Harvesting and Utilization in Arid and Semi-Arid Zones of Latin America (FAO, 2000), which provided technical criteria for assessing the feasibility of these systems, including rainfall, storage, and water quality parameters, while also noting economic and technical limitations. Similarly, the manual developed by JICA (2015) emphasized the importance of simple, low-cost designs adapted to each specific ecological context, with applications in both domestic and agricultural settings.

In Mexico, regulatory development has intensified over the past decade. The Mexico City Water Law mandates the installation of RWHS in new

constructions with irregular water supply, extending their use to domestic, agricultural, and industrial purposes, provided that the harvested water undergoes proper treatment (Congreso de la Ciudad de México, 2019). Likewise, the Technical Guidelines for Rainwater Harvesting Systems (CONAGUA, 2025) establish minimum design requirements—impermeable catchment surfaces, sealed tanks, roof slopes of at least 2%, and disinfection through chlorination or colloidal silver—while also mandating compliance with official standards such as NOM-001-CONAGUA-2011 (CONAGUA, 2011) and NOM-244-SSA1-2020 (Secretaría de Salud, 2021).

Taken together, international manuals prioritize climatic adaptability and rural/agricultural applications, whereas the Mexican regulatory framework focuses on sanitary quality and formalized design standards. The convergence of these approaches strengthens public policy and supports the adaptation of RWHS to specific hydrological and socio-technical conditions.

2.2.4. Challenges and opportunities in implementing RWHS in Mexico

In Mexico, rainwater harvesting systems (RWHS) are emerging as a key strategy to address water scarcity, although their consolidation faces several limitations. Among the main challenges are low social adoption, dependence on climatic variability, high maintenance costs, and vulnerability in economically marginalized communities (Pérez-Ortega, 2021). Institutional articulation also remains weak, as RWHS are often regarded as complementary solutions rather than integral components of water policy (Herrera-Franco et al., 2020).

On the other hand, significant opportunities have been identified. Community participation fosters technological appropriation, reduces costs, and generates social benefits, including gender equity (Cantú-Vela et al., 2020). In urban contexts, available infrastructure—particularly rooftops of houses and buildings—represents considerable potential in cities affected by aquifer overexploitation, such as León and Mexico City (Gómez-Nava, 2023). Furthermore, experiences such as Mexico City's rainwater program demonstrate that subsidies, technical training, and

social engagement are effective mechanisms to ensure the long-term sustainability of these systems (Cantú-Vela et al., 2020; Gómez-Nava, 2023).

2.2.5. Indicators for evaluating the performance of RWHS

The literature proposes a framework of technical, economic, social, and environmental indicators to assess the effectiveness and sustainability of RWHS. From a technical perspective, indicators evaluate catchment capacity, storage, and water quality. With appropriate designs, RWHS can provide water autonomy for 2 to 5 months per year, reducing dependence on external sources by up to 60% (Istchuk & Ghisi, 2023; Castelán-Cabañas et al., 2024).

Economic indicators consider both installation and maintenance costs, as well as the benefit–cost ratio. Studies report household savings ranging from 25% to 50%, with recovery of initial investment and, in some cases, the generation of economic surpluses (Mukarram et al., 2023). At the social level, indicators include community acceptance, perceptions of water safety, and the reduction of physical effort associated with water collection. More than 70% of surveyed households reported improvements in their quality of life due to access to safe and nearby water (Castelán-Cabañas et al., 2024).

Finally, environmental indicators encompass aquifer recharge, reduction of runoff, and decreased pressure on drainage systems (Volpi-León et al., 2024). RWHS are estimated to reduce the volume of rainwater entering sewer networks by up to 50%, thereby contributing to urban resilience in the face of climate change (Mukarram et al., 2023).

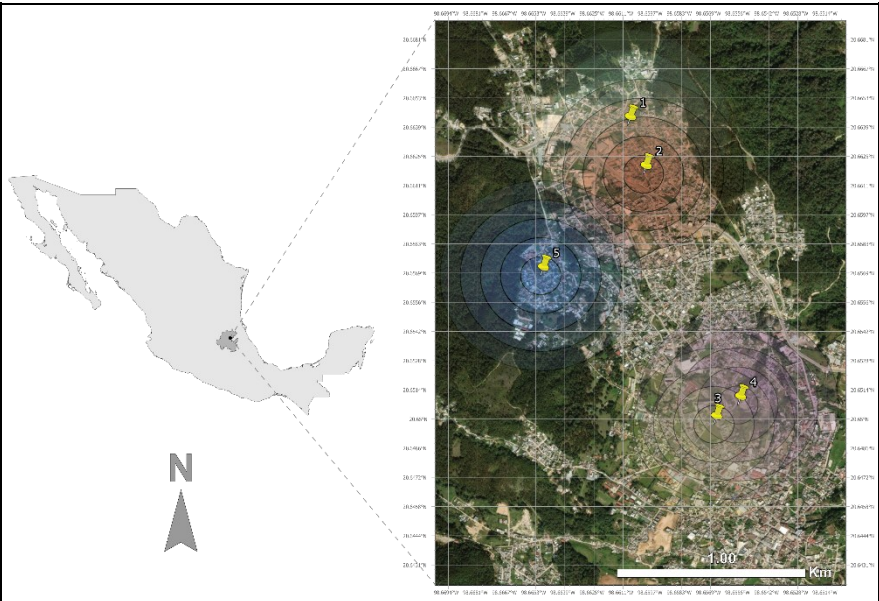
3. METHODOLOGY

3.1. STUDY AREA AND DEMOGRAPHIC DATA

Zacualtipán de Ángeles, located in the Sierra Madre Oriental, approximately 200 km from Mexico City, covers an area of 272.71 km² (1.31% of the state's territory) and features a mountainous relief with valleys and ravines (INEGI, 2020). The climate is temperate sub-humid, with average annual temperatures ranging from 14 to 18 °C, frequent frosts,

and annual rainfall of 1,200 mm, 80% of which occurs between June and September (SMN, 2024) (Figure 1).

FIGURE 1. Location and land use in the study area. Sites 1–5 represent the wells available to compensate for the water allocation; the concentric radii around these wells show households distributed at 100 m intervals



The municipality has 38,155 inhabitants, the majority of whom are women engaged in domestic work (52.5%), with 90% of the population residing in urban areas and more than 10,500 households (INEGI, 2020). However, it faces significant social deprivation: over 13,800 people (36.17%) lack access to health services, 4,153 households (39.55%) do not have piped water, and 223 households (2.12%) lack drainage systems. The Social Deprivation Index ($SDI = 1.24$) confirms that the population under analysis faces multiple deficiencies in access to basic services, infrastructure, and social opportunities (CONEVAL, 2020).

Approximately 75.5% of the housing stock consists of social interest households, with concrete roofs averaging 61 m² and a slope of 2%, conditions that are favorable for implementing RWHS. The predominance of this housing typology, combined with intermittent supply and

the need to transport water from alternative sources, underscores the relevance of such systems (INEGI, 2020).

In terms of supply, only 33.3% of domestic water demand is met, highlighting a structural deficit and the urgent need for more efficient water management strategies (INEGI, 2021; García-Salazar & Lara-Figueroa, 2024).

3.2. LAND USE AND HYDROLOGICAL CAPACITY

In the analyzed area, three main land uses predominate: natural, agricultural, and urban (INEGI, 2021). Green areas account for 65% of the territory, contributing to ecological conservation and water regulation through infiltration and natural storage (García-Salazar & Lara-Figueroa, 2024). Bare soil represents 20%, associated with agricultural activities and peripheral zones, maintaining a moderate balance between absorption and runoff (Figure 1).

Urban land covers 35% of the territory, with sidewalks and roads representing 12% and concrete rooftops 3%, primarily in social housing units. These rooftops, with a runoff coefficient of 0.85, constitute strategic spaces for harvesting rainwater for self-consumption (Volpi-León et al., 2024). By contrast, uncovered soils present an absorption coefficient of 0.57, favoring aquifer recharge (CONAGUA, 2025).

However, the limited hydraulic and sewer infrastructure results in a large proportion of non-intercepted rainfall being lost as contaminated runoff, reducing its potential for utilization (García-Salazar & Lara-Figueroa, 2024). This dynamic reveals an imbalance between population density and available urban land, underscoring the need for policies that integrate rooftop rainwater harvesting and reinforce green infrastructure in natural areas to enhance local water resilience.

3.3 SELECTION OF RAINFALL SCENARIOS AND ESTIMATION OF RWHS POTENTIAL

The study utilized historical data from two stations of the National Meteorological Service (codes 13042 and 13050; SMN, 2024), which spanned records dating back to 1941. These data were cleaned and averaged to identify intra-annual variability and maximum rainfall values.

In addition, a linear regression model was applied to evaluate the temporal trend of annual rainfall, considering the year as the independent variable. This approach enables the identification of increasing, decreasing, or stationary patterns and guides the sizing of storage systems.

To estimate the volume of rainwater harvestable from concrete rooftops (V_{RWH} , m³), two scenarios were proposed: maximum monthly rainfall (R_{max}) and rainfall with a 75% probability of occurrence (R_{75}) (Bigurra-Alzati et al., 2020). The calculation of harvestable volume was conducted using an equation that integrates rainfall (R , m), rooftop area (A , m²), a runoff coefficient ($R_c = 0.85$, for concrete rooftops), and an adjustment factor of 0.765 to account for losses due to absorption, evaporation, and first-flush diversion (Volpi-León et al., 2024) (Equation 1):

$$V_{RWH} = \frac{R \times A \times R_c}{1000} \times 0.765$$

Overall, the methodology enabled the estimation of the potential of rainwater harvesting systems (RWHS) for self-supply under both rainy and medium-probability (75%) scenarios, providing criteria to assess their feasibility as a water security strategy.

3.4 BASE INDICATORS FOR MANAGING RAINFALL AND RUNOFF

The analysis of the balance between water demand and supply in the study area reveals deficiencies in the residential sector. To address this, the methodology of Volpi-León et al. (2024) was adapted by adjusting absorption, runoff, and water demand coefficients to local conditions, without altering the original structure of the indicators. Four basic indicators were considered (Table 2):

From Table 2, IW and RW, which measure environmental efficiency through infiltration and runoff control (infiltrated water and runoff water, respectively); AWC (available RWH for consumption), which evaluates the direct contribution of rainwater harvesting to domestic water security; and SW (sufficient water), which summarizes the balance between water supply and demand.

TABLE 2. *Synthesis of the baseline indicators adapted from Volpi-León et al. (2024)*

Indicator (dimensionless)	Definition	Equation (values in m³)	Interpretation criterion
Infiltrated Water (IW)	Proportion of water absorbed (awi) by green areas and bare soils relative to the total annual rainfall (rcw).	$IW = (\sum aw_i) / rcw$	High values (close to 1) indicate greater infiltration and recharge potential; low values reflect limited absorption and predominance of runoff.
Available Water for Consumption (AWC)	Ratio between water harvested from rooftops (VRWH) and the total annual rainfall (rcw).	$AWC = (\sum VRWH) / rcw$	Values close to 1 reflect high harvesting efficiency; low values indicate limited availability for self-consumption.
Runoff Water (RW)	Proportion of unused water (uwi) lost as surface runoff (dependent on total annual rainfall, rcw).	$RW = (\sum uwi) / rcw$	Values close to 0 represent efficient use of rainwater; high values indicate significant losses.
Sufficient Water (SW)	Ratio between available water (vw) (including harvested) and the total estimated demand (nwi).	$SW = vw / (\sum nwi)$	Values close to 1 indicate that water supply meets demand; low values reflect a deficit and the need for complementary measures.

3.5. PROPOSED INDICATORS

To assess the potential of rainwater harvesting as a substitute that offsets the water currently transported individually by the population from wells located on the outskirts of the urban area, two specific indicators were designed. Individual water transportation arises from a deficient supply in Zacualtipán de Ángeles, where the population receives only 33.6% of the required allocation (100 L/inhab/d) and must transport water from local wells, typically in 19-liter buckets, over distances of up to 1 km (INEGI, 2021).

The first indicator was based on equidistant access radii of 1 km around the wells (each 100 m) (Figure 1), assuming that within this range, inhabitants partially compensate for the missing allocation through water transportation. The second indicator evaluates whether the physical effort of transportation is viable in contrast to the volume of water that can be harvested from rooftops. The objective is to quantify the

feasibility of RWHS as a strategy to reduce this practice, establishing that the volume compensated individually is equivalent to the currently supplied percentage (33.6%) throughout the year.

3.5.1. Temporal Viability Index (TVI)

Through this indicator, the feasibility of offsetting water transportation by means of rooftop rainwater harvesting (throughout the year) is evaluated. For this purpose, the following equation is applied (Equation 2):

$$TVI = \frac{V_{RWHS}}{Dac}$$

Where:

V_{RWHS} : Monthly volume of rainwater harvested (m^3).

Dac : Annual demand compensated through water transportation. In this study, it is assumed that this annual demand is equivalent to the household allocation received (33.6% of the required allocation, in m^3).

If:

$TVI \geq 1$, then V_{RWHS} offsets the need for water transportation, mitigating household water scarcity.

$0 \leq TVI < 1$, then V_{RWHS} only compensates for a percentage of water transportation.

3.5.2. Distance Viability Index (DVI)

If the previous indicator (TVI) determines that RWHS in households is viable to partially or wholly offset the volume obtained through water transportation, a second indicator is proposed. The DVI establishes the maximum distance (ranging from the first 100 m up to 1,000 m—1 km—from the household) at which the volume of rainwater harvested from rooftops can replace transportation. This is calculated by considering the harvested water volume (dependent on rainfall and catchment area), i.e., the TVI, as well as the transport distance (Equation 3).

$$DVI = TVI \times Fd$$

Where:

d: Maximum distance that makes it feasible to offset water transport with harvested rainwater (1,000 m).

Fd: This factor depends on the distance traveled by residents to transport water from their households to the nearest well and back (maximum 1,000 m), Equation 4:

$$Fd = 1 + \frac{d}{1000}$$

If:

$DVI \geq 0.7TVI$, it is feasible to offset water transportation with rainwater harvested from household rooftops.

$DVI \leq 0.7TVI$, it is not feasible to offset water transportation with rainwater harvested from household rooftops.

4. RESULTS AND DISCUSSION

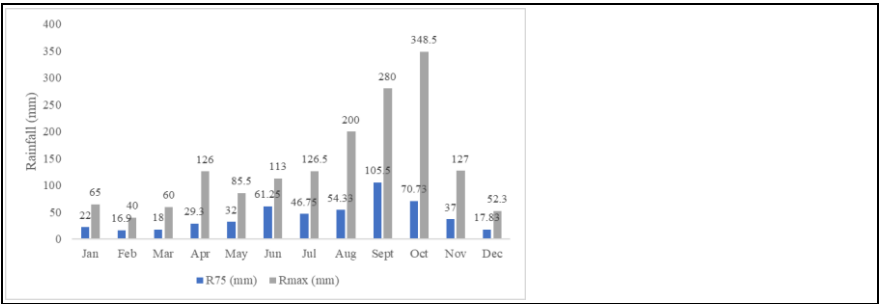
4.1. RAINFALL BEHAVIOR AND AVAILABILITY

As explained in the previous section, historical rainfall records from the two climatological stations closest to the locality were averaged. The mean monthly rainfall across both stations is 33.36 mm, while the maximum is 135.32 mm, with standard deviations of 20.90 mm and 95.52 mm, respectively, indicating high variability between wet and dry months. The month with the highest average rainfall is September, with 78.82 mm, while the maximum occurs in October with 348.50 mm; this difference suggests that these months represent the peak rainy season in the region. The driest month is February, with an average of 11.76 mm and a maximum of 40 mm, confirming the presence of a well-defined dry season. These results are consistent with climatic patterns in many regions, where rainfall tends to be concentrated within specific periods of the year.

Despite interannual variability, overall rainfall has shown a marginal increase during the period analyzed. Due to this variability, some authors recommend considering rainfall values with at least a 50%

probability of occurrence (Bigurra-Alzati et al., 2020). In this study, a probability of occurrence of 75% was adopted; therefore, the monthly rainfall values for 75% probability (R75) and maximum rainfall (Rmax) were as follows (Figure 2).

FIGURE 2. Maximum monthly rainfall and 75% probability of occurrence throughout the year

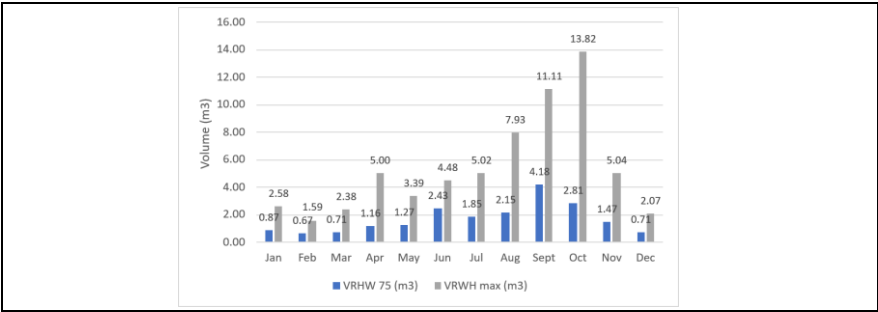


From this figure, it can be observed that the average annual rainfall at 75% probability of occurrence is 42.63 mm, while the average annual maximum is 135.32 mm. The rainiest months are September (R75%, 105.5 mm) and October (Rmax, 348.50 mm), whereas the driest month is February (R75%, 16.90 mm; Rmax, 40.00 mm). This difference suggests that water management should incorporate storage and regulation strategies to compensate for periods of low water availability.

4.2. REQUIRED WATER VOLUME VS. HARVESTED RAINWATER VOLUME

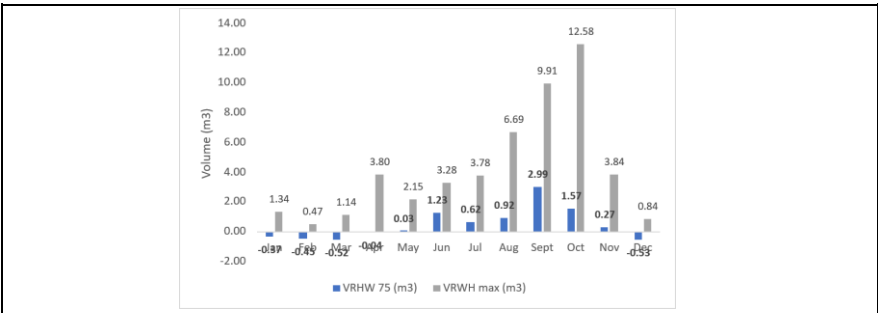
Based on the monthly rainfall data presented in Figure 2, the potential volume of harvestable rainwater was determined to mitigate water scarcity at the household level. The following section presents the representative results of both analyzed scenarios (R75% and Rmax) and their capacity to meet domestic demand (Figure 3).

FIGURE 3. Harvestable rainwater volumes on residential rooftops



The monthly volumes of harvestable rainwater (V_{RWH}), in contrast with the volume supplied by the local utility (only 33.6% of the required allocation), are presented in Figure 4.

FIGURE 4. Harvestable rainwater volumes to meet household water allocation. Negative values indicate that the volume is below the minimum required.



Considering that the monthly volume supplied to households under water rationing conditions is equivalent to 3.32 m³, the following can be inferred:

For the R75 scenario, the harvested rainwater volumes that can partially cover (at least 50%) the volume received from the potable water network are concentrated in September and October (90.06% and 47.28%). This coverage is equivalent to the same volume of water that users currently transport from the nearest wells to their households.

For the Rmax scenario, the harvested rainwater volumes partially cover (at least 50%) the supplied volume from April to November (64.75–

378.9%). Volumes exceeding 100% of the required allocation (April, July, August, September, October, and November) may be considered as storage volumes that can compensate for adjacent months with lower rainfall, if users have tanks that allow for such storage.

4.3. BASE INDICATORS

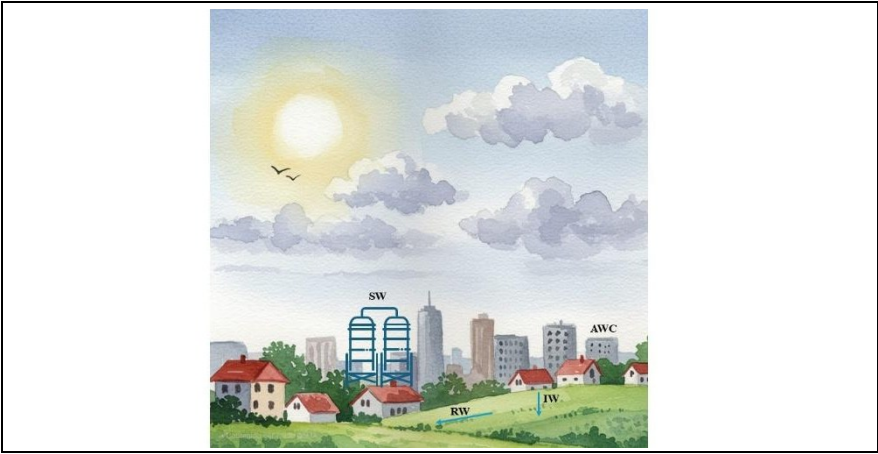
The assessment of the balance between water demand and supply across different land uses in Zacualtipán de Ángeles reveals significant service gaps, particularly in the residential sector. To evaluate hydrological parameters (rainfall, volumes of harvestable rainwater) and demographic factors (housing type, number of inhabitants, available rooftop surfaces, and supplied allocation) in the study area, the methodology proposed by Volpi-León et al. (2024) was adapted. This included defining absorption, runoff, and water demand coefficients. The data were adjusted to the specific conditions of the study area while preserving the original structure of the indicators proposed in the referenced work.

Bare soil in open residential spaces accounts for 64.37% (19.84 m³) of the absorbed water in the area, due to its higher absorption coefficient (0.57). By contrast, concrete rooftops, although less permeable (0.85), partially retain water (10.98 m³). This highlights the importance of preserving permeable areas for aquifer recharge.

Eighty-five percent of the annual rainfall on rooftops (62.22 m³) can be harvested for domestic use. This represents 62,220 liters per year—sufficient to cover 47.35% of residential demand. Meanwhile, 71% of the annual rainwater volume not harvested (77.70 m³) is lost as runoff due to the high impermeability of rooftops (85%) and the moderate runoff from bare soil (43%). This highlights the importance of implementing retention techniques.

Current supply meets only 33.6% of domestic demand (33.6 L/inhab/d). This reveals a critical gap of 125.65 m³/year relative to the required allocation (100 L/inhabitant/day), which could be mitigated through rainwater harvesting (62.22 m³), thereby reducing dependence on external sources. Figure 5 synthesizes the impact of implementing RWHS in the municipality through five key indicators.

FIGURE 5. Behavior of the water cycle according to the baseline indicators. Image generated by artificial intelligence with Gemini (Google, 2025)



These indicators demonstrate that RWHS not only optimizes rainwater use ($AWC = -0.57$; $SW = -0.70$) but also reduces pressure on local resources ($IW = -0.29$; $RW = -0.71$). However, the high runoff water value (RW) highlights the need to integrate green infrastructure solutions to maximize water sustainability.

The results presented in the previous figure indicate that 29% of rainwater infiltrates into the subsoil, contributing to aquifer recharge. In comparison, 57% of rainfall can be harnessed through rooftop harvesting for domestic use. However, high runoff levels (71%) are expected due to the predominance of impermeable surfaces, highlighting the need to increase permeable areas in the region. On the other hand, the proposed RWHS proved to be effective, as it would cover 70% of the residential water demand currently supplied intermittently, thereby contributing to mitigating water scarcity.

Although the economic analysis of RWHS was not considered within the objectives of this study, it should be emphasized that, among the advantages of its implementation as a strategy to mitigate water scarcity, reduce urban runoff volumes, and strengthen resilience to current shortages, users must consider installation and maintenance costs to ensure acceptance and adaptation.

4.3. PROPOSED INDICATORS

Figure 1 presents a map analyzing the distribution of wells in Zacualtipán de Ángeles and their relationship to residential clusters within a 1 km access radius. This cartographic analysis quantifies the critical distances that the population must travel to obtain water, highlighting the logistical effort associated with water transportation. At the same time, the RWHS viability indicator for mitigating the need for transport provides a technical assessment of the potential to replace this water volume through rainwater harvesting, offering a sustainable alternative to transport by foot, hand trucks, or wheelbarrows from distances of up to 1,000 m. On average, these journeys require at least 15 minutes to reach the well and return home carrying 19 L buckets.

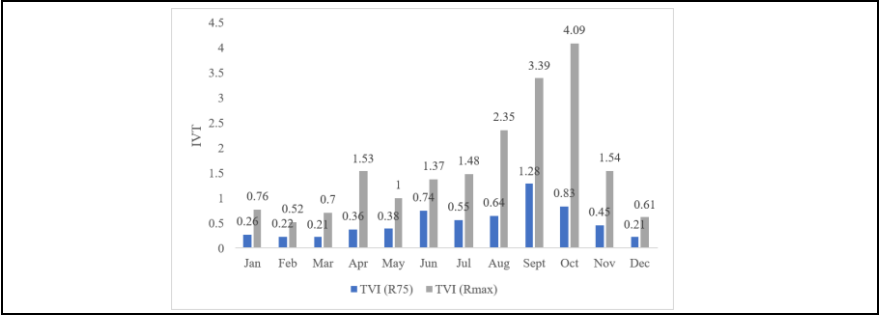
Given the temporal variability in the volumes of rainwater sufficient to compensate for the allocation received through rationing (equivalent to the amount of water transported from local wells), the Temporal Variability Index (TVI) demonstrated the following (Figure 6).

The analysis of the R75 and Rmax scenarios (Figures 4 and 5) shows that rainwater harvesting can temporarily substitute up to 33.6% of the monthly required volume, significantly reducing the need for water transportation. According to the criteria established in this study, system implementation is considered viable when at least 70% of water demand is compensated.

The results reveal that, under the R75 scenario, the Temporal Viability Index (TVI) meets this threshold during June, September, and October, with an average annual efficiency of 51%. In contrast, under Rmax conditions, the TVI exceeds the 70% standard from January to November, achieving an annual efficiency of 161%, thereby demonstrating its potential as a sustainable strategy against scarcity.

The results also indicate that during specific periods of the year, it remains necessary to complement the domestic water supply through transportation. To assess the feasibility of RWHS as a function of proximity to supply sources, a second evaluation indicator was developed: the Distance Viability Index (DVI) (Figure 7).

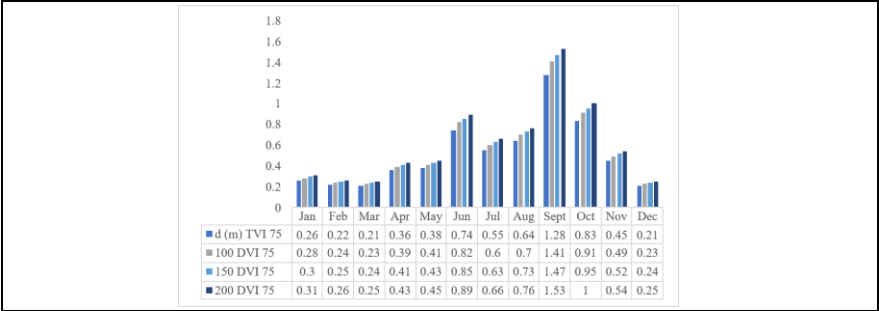
FIGURE 6. Temporal Variability Index (TVI)



As shown in Figure 1, the available wells are distributed within a 1 km range from residential clusters in Zacualtipán de Ángeles. In this study, the DVI was calculated considering a maximum transport distance of 1 km (Figure 7), allowing for the quantification of the system’s potential efficiency in relation to accessibility to the nearest available water sources.

The DVI analysis applied the same 70% threshold to evaluate its viability. The data in Figure 7 indicate that under the R75 scenario, at distances shorter than 1 km (100 m, 150 m, 200 m, etc.), the DVI exceeds the TVI, meaning that RWHS serve as a strategy to compensate for the physical effort required to transport water even over very short distances (time and relative effort in transporting water manually). Just as the TVI is viable primarily during the rainy months (June, August, and October), the condition $TVI \leq DVI$ is also observed during the same period.

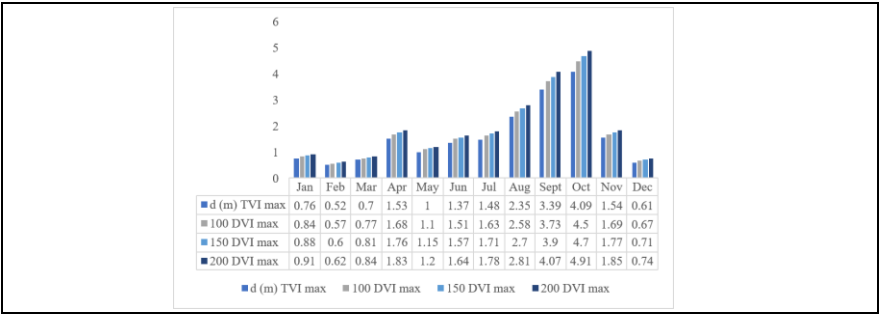
FIGURE 7. Distance-Based Feasibility Index (DVI 75)



This indicates that adopting resilience strategies such as rainwater harvesting helps offset transport efforts, compensating for an average of 56% annually (for minimum distances), with viability increasing as this distance approaches 1 km. The study considered it unnecessary to evaluate distances greater than 1 km, anticipating lower efficiency (or viability).

As expected, under the second scenario (Rmax), these values increase, indicating greater feasibility of RWHS installation as a strategy to compensate for the effort involved in water transportation (Figure 8).

FIGURE 8. *Feasibility Index by Distance (DVI max)*



Under the conditions of the second scenario analyzed (maximum monthly rainfall, Rmax), the viability of the indicator (relationship $TVI \leq DVI$) increased both in percentage and in the number of months. At the minimum calculated distance of 100 m, this relationship is observed during January and March–November; starting at $d = 150$ m, this viability also includes the month of December.

4.2 DISCUSSION

4.2.1. Capacity for integrated rainfall–runoff management

The results confirm the technical and social feasibility of RWHS in urban contexts with deficient infrastructure, consistent with the findings of Shadmehri-Toosi et al. (2020) and Castelán-Cabañas et al. (2024). In Zacualtipán de Ángeles, household units with 61 m² rooftops can capture between 1,690 and 5,370 liters/month during the rainy season,

covering between 50.96% and 161.76% of the monthly domestic allocation, results comparable to those reported by Zabidi et al. (2020).

The harvesting potential is favored by the annual rainfall (1,623.8 mm), which exceeds the minimum viability thresholds outlined in international manuals (JICA, 2015) and prior studies (Castelán-Cabañas et al., 2024). Thus, RWHS could supply between 15.44% and 49.01% of annual demand, representing a notable improvement over the current 33.6% coverage provided by the public network (INEGI, 2021; CONAGUA, 2025).

The research also contributes two indicators of technical and social viability that link rainwater harvesting to the reduction of water transportation, a practice that imposes significant physical and economic burdens on households (Khanal et al., 2023; Castelán-Cabañas et al., 2024). Furthermore, the results are consistent with national technical guidelines that recommend concrete rooftops, smooth surfaces, and minimal slopes (SEDEMA, 2024; CONAGUA, 2025), which facilitates system scalability. Additionally, the environmental benefits of reducing contaminated runoff align with those of Castelán-Cabañas et al. (2024), who recognize RWHS as a sustainable hybrid infrastructure.

4.2.2. Opportunities for improvement in rainwater management

International experience shows that the successful adoption of RWHS requires inclusive governance, accessible financing, and community training (Castelán-Cabañas et al., 2024; Vardon et al., 2025). Three lines of action stand out:

- Decentralized schemes with community participation in decision-making (Shadmehri-Toosi et al., 2020).
- Training and awareness programs to ensure trust and proper use (Herrera-Franco et al., 2020).
- Access to subsidies, microcredits, and public incentives to reduce upfront costs and promote widespread adoption (Słyś & Stec, 2020; Rodrigues-de Sá Silva et al., 2023).

In summary, the combination of collaborative governance, continuous training, and financial support constitutes the most effective pathway

to overcoming social and economic barriers, increasing community acceptance, and consolidating rainwater harvesting as a strategy for water resilience and socio-environmental justice.

5. CONCLUSIONS

The results demonstrate that rainwater harvesting systems (RWHS) can mitigate water scarcity in urban contexts with deficient infrastructure, provided that technical conditions are met: annual rainfall above 1,600 mm, concrete or similar rooftops with a runoff coefficient of 0.765, and adequate storage capacity. Under these conditions, RWHS can cover between 15% and 49% of annual domestic demand, complementing the public water supply and reducing the need for water transportation by users.

The main benefits include:

Technical: provision of significant volumes for domestic use, reduction of urban runoff, and contribution to aquifer recharge.

Social: reduction of the physical and economic burden associated with water transportation, strengthening of water autonomy, and community acceptance by addressing immediate needs.

To consolidate RWHS as a viable strategy, three measures are proposed:

- Local and community governance schemes that ensure social appropriation.
- Training and awareness programs to foster trust and maintenance.
- Public policies with subsidies and financial support to overcome upfront cost barriers and guarantee system permanence.

However, limitations remain: reliance on government data without field verification, theoretical harvesting scenarios without pilot tests, and the need for analysis on social perceptions and cultural barriers.

6. REFERENCES

- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., Shirin, S. (2020). Suitability of roof harvested rainwater for potential potable water production: A scoping review. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119226. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119226>
- Bigurra-Alzati, C. A., Ortiz-Gómez, R., Vázquez-Rodríguez, G. A., López-León, L. D., Lizárraga-Mendiola, L. (2020). Water Conservation and Green Infrastructure Adaptations to Reduce Water Scarcity for Residential Areas with Semi-Arid Climate: Mineral de la Reforma, Mexico. *Water*, 13(1), 45. <https://doi.org/10.3390/w13010045>
- Campisano, A., Modica, C. (2024). StRaWHAT: A stochastic rainwater harvesting assessment tool for direct quantification of rainwater harvesting system performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 436, 140582. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140582>
- Cantú-Vela, N. C., Estrada-Bouchot, A. E., Martínez García-Sáncho, E. R., Olea-Cohen P. (2020). Problemáticas de la adopción socio-tecnológica en programas sociales. El Caso de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en la CDMX. Master's Thesis. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México. 84 pp. Accessed from: <http://bit.ly/46c7SH4>
- Castelán-Cabañas, R., Padilla-Rivera, A., Muñoz-Villarreal, C., Güereca-Hernández, L. P. (2024). Advancing urban water autonomy: A Social Life Cycle Assessment of rainwater harvesting systems in Mexico City. *Cleaner Environmental Systems*, 13, 100193. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100193>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2011). NOM-001-CONAGUA-2011: Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario – Especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación. México. Accessed from: <https://bit.ly/4neuEnO>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2025). *Lineamientos técnicos: sistema de captación de agua de lluvia a nivel vivienda*. 29 pp. Accessed from: <https://bit.ly/4gtCbMK>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2020). *Medición de la pobreza*. Accessed from: <https://bit.ly/425397I>
- Congreso de la Ciudad de México (2019). Ley del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad de México. Congreso de la Ciudad de México, I Legislatura. Última reforma publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 29 de octubre de 2019. Accessed from: <https://bit.ly/41Y6JjV>

- Dumit-Gómez, Y., Teixeira, L. G. (2017). Residential rainwater harvesting: Effects of incentive policies and water consumption over economic feasibility. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 56-67. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.015>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 235 pp. Santiago, Chile. Accessed from: <https://www.fao.org/4/ai128s/ai128s00.htm>
- García-Ávila, F., Guanoquiza-Suárez, M., Guzmán-Galarza, J., Cabello-Torres, R., Valdiviezo-Gonzales, L. (2023). Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas. *Results in Engineering*, 18, 101153. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101153>
- García-Salazar E. M., Lara-Figueroa H. N. (2024). Suficiencia de agua en Hidalgo, México: una visión desde el enfoque del Derecho Humano al Agua. *Agua y Territorio*, 24, e7688. DOI: 10.17561/at.24.7688.
- Gómez-Nava, M. J. (2023). *Aceptación de opciones alternas de fuentes de agua: El caso de la Ciudad de México*. Master's Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 183 pp. Accessed from: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/0835030.pdf>
- Herrera-Franco, G., Martos-Rosillo, S., Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., Durán, A., Vélez-Upegui, J., Castro-Lucic, M., Mateos, L., Bardales, J. D., Peña, F., & Gutiérrez-Ojeda, C. (2020). *Siembra y Cosecha de Agua (SyCA), técnicas ancestrales que solucionan problemas del siglo XXI*. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Accessed from: <https://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/meta/FP299.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Accessed from: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2021*. Accessed from: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611371/Informe_anual_2021_mun_13081.pdf
- Istchuk, R. N., Ghisi, E. (2023). Influence of Design Variables on the Financial Feasibility of Rainwater Harvesting Systems. *Water*, 15(6), 1112. <https://doi.org/10.3390/w15061112>
- JICA (2015). *Guía práctica para cosechar el agua de lluvia. Proyecto de Desarrollo Rural Integral Sostenible en la Provincia de Chimborazo*, 24 pp. República de Ecuador. Accessed from:

- https://www.jica.go.jp/Resource/project/ecuador/001/materials/ku57pq00001lcym2-att/water_harvest_sp.pdf
- Khanal, G., Maraseni, T., Thapa, A., Devkota, N., Paudel, U. R., Khanal, C. K. (2023). Managing water scarcity via rainwater harvesting system in Kathmandu Valley, Nepal: People's awareness, implementation challenges and way forward. *Environmental Development*, 46, 100850. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100850>
- Park, D., Um, M. J. (2018). Sustainability Index Evaluation of the Rainwater Harvesting System in Six US Urban Cities. *Sustainability*, 10(1), 280. <https://doi.org/10.3390/su10010280>
- Pérez-Ortega, V. (2021). *Oportunidades y retos del programa Cosecha de Lluvia de la Ciudad de México*. Master's Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 131 pp. Accessed from: <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/8d54d177-974d-45fe-91a5-342b133c776a/content>
- Ranaee, E., Abbasi, A. A., Tabatabaee-Yazdi, J., Ziyadeh, M. (2021). Feasibility of Rainwater Harvesting and Consumption in a Middle Eastern Semi-arid Urban Area. *Water*, 13(15), 2130. <https://doi.org/10.3390/w13152130>
- Rodrigues-de Sá Silva, A. C., Mendonça-Bimbato, A., Perrella-Balestieri, J. A., Nogueira-Vilanova, M. R. (2023). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103475>
- Sapkota, M., Arora, M., Malano, H., Moglia, M., Sharma, A., George, B., Pammeringer, F. (2015). An Overview of Hybrid Water Supply Systems in the Context of Urban Water Management: Challenges and Opportunities. *Water*, 7(1), 153-174. <https://doi.org/10.3390/w7010153>
- Secretaría de Salud. (2021, 16 March). Norma Oficial Mexicana NOM-244-SSA1-2020. Para evaluar la eficiencia en reducción bacteriana en equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. Requisitos sanitarios. Diario Oficial de la Federación. Accessed from: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5613602
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), 2024. *Cosecha de lluvia. Programa Social de la Ciudad de México*. Accessed from: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/cosecha-de-lluvia>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2024). *Reporte Climatológico Anual 2024*. Accessed from: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/Anual2024.pdf>

- Shadmehri-Toosi, A., Ghasemi T., E., Ghassemi, S. A., Cheshomi, A., Alaghmand, S. (2020). A multi-criteria decision analysis approach towards efficient rainwater harvesting. *Journal of Hydrology*, 582, 124501. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124501>
- Słyś, D., Stec, A. (2020). Centralized or Decentralized Rainwater Harvesting Systems: A Case Study. *Resources*, 9(1), 5. <https://doi.org/10.3390/resources9010005>
- Vardon, M. J., Lien-Le, T. H., Martinez-Lagunes, R., Batlokwa-Pule, O., Schenau, S., May, S., Grafton, R. Q. (2025). Accounting for water: A global review and indicators of best practice for improved water governance. *Ecological Economics*, 227, 108396. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108396>
- Volpi-León, V., Seck Tuoh-Mora, J. C., Bigurra-Alzati, C. A., Juárez-Sedano, A. D., Lizárraga-Mendiola, L. (2024). Design of Urban Indicators to Optimize the Implementation of Low-Impact Techniques in Semi-Arid Cities. *Applied Sciences*, 15(1), 294. <https://doi.org/10.3390/app15010294>
- Xue, C., Xiong, F., Li, J., Li, X., Li, J., Wang, Y., Li, X., Cui, Z. (2025). Economic feasibility assessment and parameter sensitivity analysis of rainwater harvesting systems in different climatic zones of China. *Water-Energy Nexus*, 8, 6-17. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2025.01.001>
- Zabidi, H. A., Goh, H. W., Chang, C. K., Chan, N. W., Zakaria, N. A. (2020). A Review of Roof and Pond Rainwater Harvesting Systems for Water Security: The Design, Performance and Way Forward. *Water*, 12(11), 3163. <https://doi.org/10.3390/w12113163>

SECCIÓN V.

EDUCACIÓN, PEDAGOGÍA
Y SOSTENIBILIDAD

DEL ANÁLISIS A LA ACCIÓN: DISCURSO SOBRE SOSTENIBILIDAD EN WIKIPEDIA Y TAREAS COLABORATIVAS EN EL AULA DE *EFE*

PAULA ANDREEA STÎNGĂ

Universidad Babeş-Bolyai de Cluj-Napoca

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye uno de los grandes desafíos del siglo XXI debido a sus repercusiones en casi todas las dimensiones de la vida humana. Últimamente es un tema de gran interés en los debates científicos, políticos y sociales, entre todos intentando analizar el problema, sus causas e impacto y encontrar posibles estrategias para enfrentarlo en todos los niveles (adaptación y mitigación). Al ser un fenómeno que afecta a la humanidad, se ha extendido también en la opinión pública universal y, sobre todo, ha empezado a recibir una gran atención por parte de los profesionales de la educación (Alonso y Mesa, 2023). Introducir y desarrollar cuestiones ambientales de manera transversal en las diferentes asignaturas son acciones clave promovidas en el marco de la Educación para el Desarrollo Sostenible (*EDS*) impulsada por la *UNESCO* (2012), con el objetivo de que el alumnado conozca esta problemática y adopte acciones responsables que favorezcan el medioambiente.

Así pues, las universidades cumplen una función esencial en el apoyo del desarrollo humano sostenible. La promoción de los derechos humanos, la igualdad de género o la valoración de la diversidad cultural constituyen metas fundamentales de la Agenda 2030 (*ONU*, 2015), alineadas con el principio de aprendizaje a lo largo de la vida y reflejadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el *ODS 4* (educación de calidad) y el *ODS 13* (acción por el clima). De acuerdo con este planteamiento, se hace preciso fomentar competencias para la acción transformadora, el pensamiento crítico y la ciudadanía global mediante

metodologías activas, colaborativas y centradas en el estudiantado (Velasco-Martínez, Estrada-Vidal y Tójar, 2022).

Precisamente en este contexto de iniciativas orientadas a la sostenibilización del currículo académico, cobra especial sentido nuestra propuesta para el aula de español con fines específicos (*EFE*) concebida como un espacio idóneo para integrar contenidos globales según los intereses y las necesidades del alumnado. Los ámbitos de especialidad son numerosos y diversos, pues responden a las demandas de múltiples comunidades profesionales, como el turismo, la salud y la medicina, el ámbito jurídico, los negocios y las empresas, entre otros (Rodríguez, 2022). Esto exige la inclusión de contenidos disciplinares auténticos que se ajusten a las experiencias comunicativas reales del estudiantado teniendo en cuenta los cambios constantes, consecuencia de la globalización (Kırkgöz y Dikilitaş, 2018). Dentro de este enfoque, los textos especializados resultan esenciales, ya que permiten familiarizarse con el léxico técnico, las estructuras discursivas propias de cada disciplina y las convenciones comunicativas que rigen en las prácticas profesionales. Por tanto, una herramienta didáctica eficaz en las clases de *EFE* es el trabajo con textos auténticos que facilitan el desarrollo de competencias lingüísticas avanzadas y una comprensión crítica del discurso (Catalá, 2017).

Este tipo de textos se encuentran, por ejemplo, en la plataforma Wikipedia que puede funcionar como un apoyo para el proceso de enseñanza-aprendizaje, no solo por su carácter abierto y colaborativo, sino también por seguir siendo una fuente de consulta frecuente. Si bien presenta limitaciones, como fallos en el contenido y en la redacción, especialmente en áreas especializadas (Cáceres-Würsig, Silos y Claes, 2024), su incorporación en el aula permite visibilizar tanto los riesgos de un acceso acrítico a la información como las posibilidades formativas de una edición responsable. Existen ya muchas investigaciones que versan sobre el papel y el impacto de las wikis en la enseñanza-aprendizaje de las lenguas extranjeras y que señalan ventajas como el fomento de la participación, la colaboración, la autonomía, el pensamiento reflexivo, el trabajo de las diferentes destrezas (Aydin, 2014; Carrillo, 2008; Castillo, 2020; Kassem, 2017), así como el enriquecimiento léxico (Díaz, 2020). Por tanto, la elección de Wikipedia no es fortuita, ya que los artículos

sobre sostenibilidad constituyen un espacio privilegiado para observar cómo se construye colectivamente el discurso ambiental, al tiempo que ofrecen un material auténtico y en constante actualización.

Trabajar la sostenibilidad mediante Wikipedia responde también a la necesidad de iniciar acciones que fomenten una alfabetización crítica y el uso reflexivo de fuentes digitales. En este mundo globalizado y caracterizado por la creciente digitalización, es un hecho que los medios digitales se han consolidado como la principal fuente de información para las generaciones actuales. Los blogs, las redes sociales o últimamente las diferentes herramientas de inteligencia artificial generativa constituyen recursos habituales para documentarse. Esta dependencia tiene también sus efectos negativos que se reflejan en la calidad de los trabajos y suele ir acompañada de una escasa capacidad crítica para valorar la calidad y fiabilidad de la información (Santamarina-Macho, 2019).

Ante este panorama, por medio de la presente propuesta, el alumnado tiene la posibilidad de adoptar un rol activo como productor del conocimiento, desarrollar competencias críticas y disciplinares, y a la vez, profundizar en el aprendizaje del español. La incorporación de la sostenibilidad como contenido transversal en el aula de *EFE* adquiere especial relevancia, no solo por su actualidad e impacto global, sino también porque permite articular el aprendizaje del idioma con la formación ética y profesional del estudiantado, especialmente en disciplinas donde los retos medioambientales son centrales.

En virtud de lo mencionado, el presente artículo busca aportar ideas y orientaciones para integrar el discurso de la sostenibilidad en la clase de *EFE*. Se persigue analizar sus particularidades lingüísticas en artículos de Wikipedia en español, a partir de un corpus especialmente elaborado. El propósito es doble: por un lado, examinar el potencial pedagógico de este material para articular contenidos lingüísticos y temáticos en el aula de *EFE*; y por otro, presentar una propuesta didáctica que, además de favorecer la adquisición de vocabulario especializado, incentive el trabajo colaborativo y el uso crítico de Wikipedia como recurso de aprendizaje.

2. OBJETIVOS

Abordar el tema del cambio climático y de la sostenibilidad en el aula puede conllevar cierta complejidad. Por este motivo, se plantean los siguientes objetivos:

- Analizar lingüísticamente un corpus de artículos en español de Wikipedia sobre sostenibilidad y cambio climático, atendiendo a aspectos léxicos, gramaticales, discursivos y retóricos.
- Identificar patrones lingüísticos que permitan al alumnado de *EFE* familiarizarse con el léxico especializado, las estructuras modales y los recursos retóricos característicos del discurso medioambiental.
- Diseñar una propuesta didáctica que integre el corpus elaborado y la herramienta Wikipedia en actividades adaptadas al aula de *EFE*.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación se organiza en dos fases complementarias y se orienta a partir de las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo se construye el discurso sobre sostenibilidad y cambio climático en textos digitales como Wikipedia? ¿Qué recursos lingüísticos predominan? ¿Cómo puede este discurso integrarse de manera significativa en el aula de *EFE*? En tal sentido, en la primera fase, de carácter analítico, se seleccionaron y se analizaron lingüísticamente artículos de Wikipedia centrándose en aspectos como léxico especializado, estructuras gramaticales recurrentes, tono discursivo, registro utilizado y uso de recursos retóricos. En base a esto, se elaboró un corpus didáctico que recoge patrones lingüísticos relevantes y comprensibles para estudiantes de nivel intermedio-avanzado de español, procedentes de carreras como Geografía y Ciencias Políticas. La segunda fase consistió en la integración del corpus y de la herramienta de Wikipedia en una propuesta didáctica para el aula de *EFE*. A través de esta se busca fomentar la comprensión y la producción de textos especializados, la ampliación del

léxico, la reflexión crítica, el aprendizaje colaborativo y el trabajo con textos auténticos.

Para la construcción del corpus se seleccionaron diez artículos de Wikipedia en español, cuidadosamente elegidos por su relevancia temática, extensión y riqueza lingüística. Los criterios de inclusión fueron el contenido, centrado en sostenibilidad, cambio climático, impacto ambiental, una extensión mínima de 1000 palabras (para garantizar densidad léxica y discursiva) y un grado de tecnicismo adecuado para estudiantes de nivel intermedio-avanzado de español. También se priorizaron artículos actualizados y con una estructura clara, que permitieran tanto el análisis lingüístico como su integración didáctica en el aula. En conjunto, la metodología no solo permite describir las particularidades del discurso sobre sostenibilidad en un entorno digital abierto, sino también explorar su potencial como recurso de aprendizaje en contextos de enseñanza de *EFE*.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CORPUS

Con el objetivo de responder a las preguntas de investigación se construyó un corpus de diez artículos de Wikipedia en español centrados en el tema de la sostenibilidad y el cambio climático. El análisis de este material permitió observar tendencias en el uso del léxico especializado, en las estructuras gramaticales más frecuentes y en los recursos discursivos que configuran el modo en que se comunica la problemática medioambiental en esta plataforma. Los artículos que conforman el corpus se presentan en la Tabla 1, junto con su extensión aproximada y la fecha de consulta.

TABLA 1. *Artículos que conforman el corpus del discurso sobre sostenibilidad y cambio climático.*

No	Título del artículo	URL	Fecha de consulta	Extensión (no palabras)
	Mitigación del cambio climático	https://bit.ly/3JwJc3d	5.06.2025	>3000
	Opinión científica sobre el cambio climático	https://bit.ly/47JL3LR	5.06.2025	> 3000

	Activismo ambiental	https://bit.ly/4mxjo5q	6.06.2025	1000-3000
	Restauración del clima	https://bit.ly/4mUthQN	7.06.2025	1000-3000
	Agricultura climática-mente inteligente	https://bit.ly/47dhd2k	6.06.2025	1000-3000
	La gran farsa del calentamiento global	https://bit.ly/4mu6ght	10.06.2025	1000-3000
	Efectos del calentamiento global sobre las personas	https://bit.ly/3JtTroZ	7.06.2025	1000-3000
	Cambio climático y colapso de la civilización	https://bit.ly/3UKiQNr	9.06.2025	1000-3000
	Sostenibilidad	https://bit.ly/4IUfSkM	10.06.2025	> 3000
	Cambio climático y pobreza	https://bit.ly/47JIE50	10.06.2025	1000-3000

Fuente: elaboración propia

Los resultados del análisis de los artículos se muestran en cinco categorías clave que reflejan cómo se construye el discurso sobre sostenibilidad en Wikipedia:

1. *Léxico especializado*

- a. *Sustantivos técnicos*: activismo, adaptabilidad, adaptación, agricultura, aumento, biodiversidad, calentamiento, cambio climático, civilización, conflictos socioambientales, conciencia, conservación, contaminación, crisis humanitaria, deforestación, degradación, desertificación, desigualdad, ecosistema, efecto, eficiencia energética, emisiones, energía, energías renovables, enfermedad, enfoque, esfuerzo, globalización, gobernanza, impacto, justicia climática, migración climática, mitigación, pobreza, reforestación, resiliencia, restauración, riesgo, salud, seguridad, sistema, sostenibilidad, temperatura, vulnerabilidad, etc.
- b. *Verbos*: abarcar, adaptar, adoptar, afectar, alterar, aumentar, cambiar, colaborar, concienciar, conservar, consumir, contribuir, coordinar, desarrollar, diseñar, disminuir, enfocar, esforzarse, exigir, fomentar, gestionar, gobernar, impactar, implementar, incluir, invertir, limitar, medir, mejorar, minimizar, mitigar, movilizar, participar, promover, proteger,

proyectar, reducir, reforestar, regular, restaurar, sensibilizar, supervisar, transformar, etc.

- c. *Adjetivos valorativos/técnico-científicos*: adaptativo, adverso, ambiental, atmosférico, cálido, científico, climático, crítico, culpable, dramático, ecológico, energético, equitativo, estadístico, extremo, global, humano, inclusivo, intenso, irreversible, justo, permanente, pobre, polémico, recurrente, relevante, renovable, responsable, rico, significativo, sostenible, sustancial, vital, vulnerable, etc.

2. *Verbos y estructuras modales*

- a. *Obligación y necesidad* (expresan deber, urgencia, responsabilidad): deben..., se debe..., hay que..., es imprescindible..., es necesario..., se requiere..., urge..., es fundamental...
- b. *Posibilidad* (expresan alternativas, soluciones, permiso): existe la posibilidad de..., se puede..., es posible..., podría..., permite...
- c. *Modalidad epistémica* (expresan certeza, probabilidad, hipótesis): tiene que..., probablemente..., es evidente que..., es probable que..., debe de..., es incierto que..., es seguro que..., se estima que...

3. *Estructuras condicionales* (reales, hipotéticas e irreales)

Algunos ejemplos: “Si se reducen las emisiones, se limitará el calentamiento global”; “Si se protege la biodiversidad, se conservarán los ecosistemas”; “Si los países invirtieran más en energías renovables, disminuirían los efectos del cambio climático”; “Estos riesgos aumentarán en las próximas décadas si el cambio climático global continúa en su trayectoria actual”; “La reducción de emisiones de carbono mejoraría notablemente para los vehículos eléctricos si la electricidad fuera renovable”; “Si la población adoptara hábitos sostenibles, la huella de carbono sería menor”; “Muchos modelos integrales son incapaces de lograr el objetivo si se realizan suposiciones pesimistas sobre la

disponibilidad de tecnologías mitigantes”; “Si se hubieran aplicado medidas de mitigación en los años noventa, el aumento de temperatura habría sido menor”; “Si los acuerdos internacionales hubieran sido más estrictos, se habrían evitado impactos irreversibles”; “Incluso si se cumplen los acuerdos actuales, será necesario reforzar las políticas”; “Aun cuando se apliquen medidas de adaptación, algunos efectos no podrán evitarse”, etc.

1. Recursos retóricos

- a. *Metáforas y analogías*: “crisis climática”, “el calentamiento como bomba de tiempo”, “economía azul”, “huella de carbono”, “los océanos como pulmones del planeta”, “los océanos ahogados”, “sistema enfermo”, “ventana de oportunidad”, etc.
- b. *Construcciones impersonales y pasivas*: “se deben adoptar medidas urgentes”, “se estima que...”, “es necesario actuar de inmediato”, “se hallaron...”, “se muestra un impacto psicológico”, “son causados por...”, etc.
- c. *Lexicalización de la urgencia y la advertencia* (sustantivos y adjetivos que transmiten alarma, emergencia, gravedad y necesidad): amenaza, catástrofe, colapso, crisis, crítico, efecto, emergencia, extremo, inflamable, irreversible, peligroso, resistencia, riesgo, urgente, etc.
- d. *Apelaciones a la colectividad y responsabilidad compartida*: uso de plurales inclusivos (“debemos...”, “necesitamos...”, “todos los países...”, “los humanos somos...”); llamados a la acción (“la humanidad enfrenta...”, “la sociedad debe responder...”, “sigamos creando historias...”).
- e. *Enumeraciones y paralelismos*: “reducir emisiones, proteger bosques, promover energías limpias”; “mitigar, adaptar, transformar...”, “políticos, financieros, ideológicos...”, “área científica, gubernamental, mediática...”.

2. Registro y tono

- a. *Registro formal/académico-divulgativo*: predominio del léxico técnico, diversidad léxica, densidad nominal, abundancia de estructuras impersonales y pasivas; uso de conectores lógicos y causales (por lo tanto, dado que, en consecuencia, a raíz que, puesto que, sin embargo, por eso); inclusión de cifras y datos exactos, estadísticas, proyecciones científicas y referencias institucionales (*UNESCO, ONU, etc.*).
- b. *Hibridación de los géneros científico y periodístico en algunos textos*: en los artículos como *Activismo ambiental* o *Cambio climático y pobreza*, se mezclan explicaciones científicas con recursos divulgativos para llegar a un público general (lenguaje claro y comprensible, estilo narrativo).
- c. *Tono objetivo, formal y técnico-científico, a veces persuasivo*: se busca credibilidad y precisión, en ocasiones es un poco alarmista o advertitivo, lo que intensifica la percepción de riesgo; intenta mantener imparcialidad y evitar las contracciones o el lenguaje coloquial, pero introduce conceptos con carga ética/social.

Los resultados ponen de manifiesto que el discurso sobre cambio climático y sostenibilidad se caracteriza, sobre todo, por diversidad léxica y densidad nominal. Tal y como se ha visto anteriormente, el léxico especializado está compuesto por sustantivos técnicos como, por ejemplo, *mitigación, eficiencia energética, resiliencia*, a los que se suman verbos que expresan acción institucional como *adoptar* o *gestionar* y adjetivos que combinan valor científico y ético, como *sostenible* o *responsable*. Dicho vocabulario permite trabajar campos semánticos directamente vinculados al ámbito profesional del estudiantado de *EFE* como, por ejemplo, clima y tiempo atmosférico; medioambiente y ecosistema; economía geográfica; sociedad, políticas y justicia; producción y alimentación; procesos y fenómenos; ciudadanía y derechos. Son frecuentes las estructuras que expresan necesidad, posibilidad o incluso obligación: *se requiere, es fundamental, hay que...*, que resaltan el carácter inmediato de la acción política y ética o abren caminos hacia escenarios y soluciones técnicas. También es habitual la modalidad epistémica, como en *se estima que*, lo que refleja la actitud científica del discurso. El uso de

condicionales marca escenarios hipotéticos o advertencias, presenta proyecciones científicas, a la vez que mantiene el tono objetivo: *Si no se toman medidas..., En caso de que las emisiones aumenten...* Estas estructuras favorecen la práctica de las habilidades de argumentación y predicción en el aula.

A pesar de que la plataforma Wikipedia se caracteriza por la objetividad informativa, se señala que el discurso de la sostenibilidad también tiene una fuerte carga retórica a fin de convencer, sensibilizar o movilizar al lector. Como ya se ha mencionado, aparecen metáforas como *huella de carbono* u *océanos ahogados*, que humanizan el discurso. La presencia de construcciones impersonales y pasivas, como *Se considera que..., Son causados por...*, refuerzan el tono institucional. Además, las palabras usadas para transmitir riesgo, amenaza o gravedad – *amenaza, colapso* – acentúan la dimensión persuasiva del discurso. Se trata de un discurso claramente especializado, el registro oscilando entre el académico y el divulgativo. Esto marca una diferencia entre los artículos, algunos mantienen un tono más formal y objetivo (por ejemplo, los artículos *Opinión científica sobre el cambio climático* o *Efectos del calentamiento global sobre las personas*) mientras que otros emergen valoraciones sociales que intensifican la dimensión ética del discurso y destacan, sobre todo, por su claridad y accesibilidad empleando incluso elementos visuales (por ejemplo, los artículos *Activismo ambiental* o *La gran farsa del calentamiento global*).

El análisis desarrollado muestra que, aunque el formato sea enciclopédico, el discurso de la sostenibilidad en Wikipedia está cuidadosamente construido, combinando precisión técnica con elementos retóricos. Esto lo convierte en un excelente recurso para trabajar con estudiantes de *EFE* no solo a nivel lingüístico, sino también crítico.

4.2. PROPUESTA DIDÁCTICA

De acuerdo con el análisis anterior y el corpus construido, a continuación, se presenta una propuesta didáctica para la clase de *EFE* a fin de fomentar diferentes competencias transversales, ampliar el vocabulario especializado y promover el tema de la sostenibilidad.

Actividad: “De expertos a editores: revisión de artículos de Wikipedia”

Objetivos didácticos:

- revisar y corregir fragmentos reales de artículos de Wikipedia sobre sostenibilidad o cambio climático para mejorar su precisión lingüística, claridad expositiva y fidelidad al contenido especializado;
- desarrollar la competencia crítica y el trabajo en grupo;
- ampliar el léxico especializado;
- promover la alfabetización ecológica y el pensamiento crítico.

Destrezas: expresión oral y escrita, comprensión lectora

Destinatarios: estudiantes universitarios de Geografía, Ciencias Ambientales, Ciencias Políticas, etc.

Nivel: adaptable a los niveles B2/C1 según el *MCER* (en función del grado de dificultad de los artículos)

Duración: 2 sesiones de 90 minutos (adaptable)

Dinámica: individual, en pareja o en grupos de 3-4 estudiantes (conforme a la tarea)

Metodologías y estrategias didácticas: enfoque basado en tareas, aprendizaje colaborativo

Actividades/Orientaciones metodológicas:

Sesión 1

1. Exploración del discurso especializado (20 minutos)

Objetivo: familiarizarse con el corpus y reconocer rasgos del discurso científico-divulgativo de Wikipedia sobre sostenibilidad

Materiales: fragmentos seleccionados de los artículos del corpus, la herramienta digital Mentimeter

Tarea: lectura guiada individual

Instrucciones:

- subrayar sustantivos técnicos;
- señalar verbos frecuentes;
- identificar adjetivos valorativos;
- detectar recursos retóricos (metáforas, analogías, expresiones, etc.);
- reconocer particularidades del discurso: lenguaje, objetivos, etc.;
- discusión grupal (5 min): mediante la herramienta digital Mentimeter se puede crear una nube de palabras que reúna toda la información recopilada. El docente les ofrece el corpus *in extenso* para su consulta.

2. Taller de comprensión crítica (30 minutos)

Objetivo: analizar el tono y el registro

Materiales: fragmentos seleccionados de los artículos del corpus

Tarea: actividad de reformulación en parejas (reescribir fragmentos con distinto registro o tono)

Instrucciones:

- el docente reparte un mismo fragmento a distintas parejas. Cada grupo debe reescribir el fragmento en un registro diferente: académico, informal, técnico-científico. Antes se puede hacer una actividad breve con algunas palabras y sus correspondientes en el registro formal, informal, académico (por ejemplo, *destacar* – *darle importancia* – *enfaticar* – *poner de relieve*);
- mini debate (15 min): *¿Neutralidad o más bien persuasión?* Las parejas discuten cuál es el registro más apropiado en Wikipedia y por qué.

3. Revisión guiada (40 minutos)

Objetivo: aplicar corrección lingüística y de estilo en diferentes fragmentos

Materiales: fragmentos con errores preparados por el docente

Tarea: actividad de revisión y corrección (en grupos de 3-4 estudiantes)

Instrucciones:

- el docente entrega fragmentos con errores o ambigüedades (gramaticales, terminológicos, de registro);
- los/las estudiantes deben: identificar los errores (uso incorrecto de tecnicismos, incoherencia, registro inadecuado); corregirlos manteniendo el tono enciclopédico y justificar oralmente las correcciones;
- entrega parcial: cada grupo presenta un párrafo corregido al final de la sesión.

Sesión 2

1. Revisión y corrección de artículos de Wikipedia (30 minutos)

Objetivo: aplicar las competencias de revisión crítica directamente sobre los artículos analizados

Materiales: fragmentos de los artículos del corpus

Tarea: actividad de revisión y corrección (en grupos de 3-4 estudiantes)

Instrucciones:

- cada grupo selecciona de la lista un artículo de Wikipedia;
- debe corregirlo, mejorando precisión lingüística (tecnicismos, concordancia, sintaxis clara, etc.); registro (neutralidad, evitar dramatización excesiva, etc.); cohesión y coherencia (conectores, eliminación de redundancias, etc.);
- se prepara una versión revisada y se justifica en notas breves los cambios (ej: “sustituir *desastre climático* por *impacto climático significativo* para mantener la neutralidad”);
- recomendación: se sugiere que el docente haga una presentación previa sobre Wikipedia para que el alumnado aprenda cómo crear una cuenta y editar los textos.

2. Ampliación de fragmentos (30 minutos)

Objetivo: desarrollar producción escrita a partir del corpus

Tarea: los artículos anteriormente utilizados (se mantienen los grupos)

Instrucciones:

- ampliar los fragmentos: añadir 3–4 frases nuevas sobre el mismo tema (por ejemplo, explicar un impacto social concreto o una solución técnica);
- usar al menos 5 palabras del corpus (sustantivos técnicos, verbos o adjetivos), incluir una estructura modal y una condicional, mantener el tono.

3. Presentación y retroalimentación (20-25 minutos)

Objetivo: reflexionar sobre la escritura colaborativa y defender decisiones lingüísticas

Tarea: presentación de las versiones corregidas y ampliadas, comparaciones, comentarios, reflexión conjunta sobre Wikipedia

Recomendación: el docente puede preparar una plantilla de retroalimentación incluyendo información sobre: claridad y objetividad del registro, adecuación de recursos lingüísticos, equilibrio entre fidelidad al contenido y accesibilidad del texto, creatividad.

Al concluir las dos sesiones, los/las estudiantes habrán:

- identificado rasgos del discurso de sostenibilidad en Wikipedia;
- ampliado su léxico especializado y estructuras propias del discurso científico;
- practicado corrección, reformulación y redacción en registros formales;
- desarrollado pensamiento crítico sobre la comunicación científica y ambiental.

El análisis de la actividad presentada permite distinguir cuatro fases:

1. Exploración del discurso sobre sostenibilidad y cambio climático: lectura guiada del corpus, comprensión de tecnicismos y estructuras útiles.

2. Corrección colaborativa de fragmentos reales: actividad de edición y práctica de precisión lingüística.
3. Producción de fragmentos nuevos.
4. Reflexión metalingüística y digital: análisis sobre qué implica escribir y corregir en un espacio como Wikipedia.

Por consiguiente, la actividad propuesta es contextualizada, ya que se relaciona con el mundo real del alumnado, se basa en el uso de textos auténticos y además, emplea herramientas digitales, lo que facilita la colaboración y la comprensión.

Es una realidad que memorizar listas de vocabulario y reglas gramaticales es algo obsoleto hoy en día, sobre todo en la clase de *EFE* donde la finalidad consiste en ayudar al alumnado a desenvolverse con éxito en situaciones comunicativas especializadas (Quiroga, 2024). Es nuestro compromiso como docentes buscar y ofrecer el mayor número de oportunidades para que los/las estudiantes puedan interactuar en español. Una de estas oportunidades puede ser precisamente la propuesta planteada en este artículo, ya que se pueden trabajar tanto el léxico especializado, como la comprensión crítica y la producción discursiva. La iniciativa con Wikipedia sobre el discurso de la sostenibilidad resulta útil, sobre todo, por la diversidad que lo caracteriza, como el léxico técnico recurrente, la estructuras impersonales y condicionales orientadas a la explicación y previsión, así como recursos retóricos que oscilan entre la objetividad científica y la apelación persuasiva. Esta propuesta resulta más interesante todavía al considerar que el docente de *EFE* no es especialista en los ámbitos de conocimiento implicados. Por ello, resulta especialmente valioso que el estudiantado asuma un papel activo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, tomando la iniciativa y ejerciendo su autonomía.

5. CONCLUSIONES

El cambio climático y la sostenibilidad constituyen un aspecto que debería ser tratado más en el ámbito educativo, sobre todo a nivel universitario, puesto que es un fenómeno que nos afecta a todos y a todas. Es

deber de los docentes inculcar desde la clase, mediante diferentes actividades y propuestas, la necesidad de concientización para lograr mitigar y adaptarse a los efectos de los mismos.

En este artículo se ha expuesto que el aula de *EFE* constituye un espacio privilegiado para trabajar estas cuestiones de forma interdisciplinar, integrando la dimensión lingüística con la ética y la profesional. Respecto a las preguntas de investigación planteadas al inicio del artículo, en los siguientes párrafos se ofrecen las respuestas, así como diferentes reflexiones.

El análisis del corpus de artículos de Wikipedia permitió identificar patrones léxicos, modales y retóricos que configuran el discurso medioambiental en un entorno digital abierto. Estos rasgos (sustantivos técnicos, adjetivos de valoración, estructuras de obligación y posibilidad, oraciones condicionales hipotéticas, metáforas y apelaciones colectivas) ofrecen al alumnado un recurso auténtico y actualizado para desarrollar tanto las competencias lingüísticas como el pensamiento crítico. Se menciona que el análisis se hizo teniendo en cuenta el aula de *EFE*, es decir, las particularidades del estudiantado, su ámbito profesional y los rasgos que lo definen.

La propuesta didáctica basada en la revisión, reescritura y ampliación de fragmentos de Wikipedia mostró que este enfoque fomenta la autonomía, el aprendizaje colaborativo, el pensamiento crítico, la reflexión y la alfabetización digital, además de fortalecer la sensibilidad ambiental. Se concluye que, aunque el corpus analizado es limitado, resulta representativo y pedagógicamente útil para estudiantes intermedios-avanzados de *EFE* en disciplinas diversas. Se indica que el enfoque propuesto puede adaptarse a distintos perfiles de estudiantes y áreas disciplinares, lo que lo convierte en una herramienta flexible y transferible a otros contextos educativos.

Por último, se destaca el valor transferible de esta metodología: trabajar con textos colaborativos y temáticas globales permite adaptar la experiencia a distintos ámbitos profesionales, promover la ciudadanía crítica responsable y vincular el aprendizaje del idioma con los grandes retos del siglo XXI. Futuras investigaciones podrían ampliar el corpus, contrastar el discurso de Wikipedia con otras fuentes especializadas y explorar su integración en contextos de enseñanza híbrida o en línea.

Como comentario final, se está de acuerdo con Gracia, Alcántara-Manzanares y Torres-Porras (2025) en que existe una multitud de factores e iniciativas que pueden contribuir a la concienciación sobre el cambio climático del alumnado, entre ellos, los que tienen más impacto siendo los medios de comunicación y la participación y colaboración en medios digitales. Para lograr una alfabetización climática es menester comprender la influencia que ejercemos sobre el clima y cómo este, a su vez, repercute en la vida humana. Implica, además, la capacidad de identificar y evaluar fuentes científicas fiables, comunicar de manera efectiva los hallazgos y tomar decisiones fundamentadas respecto al medioambiente. En tal sentido, desde la enseñanza de *EFE* también resulta imprescindible formar un alumnado climáticamente alfabetizado, capaz de aplicar sus conocimientos su ámbito profesional y de proyectarlos en sus comunidades contribuyendo de esta manera a reducir la vulnerabilidad humana frente a la crisis climática. Este enfoque promueve un aprendizaje significativo alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y con una enseñanza innovadora.

6. REFERENCIAS

- Alonso García, A. F. y Mesa Ortega, W. R. (2023). Concientización de los estudiantes universitarios frente al problema del cambio climático: Una propuesta de actividades. *Alternancia - Revista de Educación e Investigación*, 5(9), 42–52. <https://doi.org/10.33996/alternancia.v5i9.1101>
- Aydin, S. (2014). Wikis as a Tool for Collaborative Language Learning: Implications for Literacy, Language Education and Multilingualism. *Sustainable Multilingualism/Darnioji Dausgiakalbystė*, (5), 207-236. <http://dx.doi.org/10.7220/2335-2027.5.8>
- Cáceres-Würsig, I., Silos Ribas, L. y Claes, F. (2024). Capacidad crítica en el aula de traducción: Wikipedia como entorno de aprendizaje. *Cadernos De Tradução*, 44(1), 1–20. <https://doi.org/10.5007/2175-7968.2024.e96932>
- Carrillo, M.C. (2008). El uso de wikis en la clase de E/LE y la evaluación integrada de destrezas. En S. Pastor Cesteros y S. Roca Marín (Eds.), *La evaluación en el aprendizaje y la enseñanza del español como lengua extranjera/segunda lengua* (pp. 414-418). *Actas del XVIII Congreso internacional de la ASELE*, 19-22 de septiembre de 2007, Alicante. <https://bit.ly/47iDKLc>

- Castillo Peña, C. (2020). Wikipedia como recurso para la didáctica de español lengua extranjera con fines académicos (EFA). En V. Gallo y C. Petrucco (Eds.), *Wikipedia in Academia* (pp. 105-113), Padova University Press.
- Catalá Hall, A. (2017). Qué enseñar en una clase de español con fines específicos: el análisis de necesidades. [Tesis doctoral, Universitat de Barcelona]. Repositorio institucional UB: <https://hdl.handle.net/2445/118826>
- Díaz García, E. (2020). Impacto del uso de una wiki en la adquisición de léxico especializado por estudiantes universitarios de ENE en Austria. [Tesis fin de master, Universitat de Barcelona]. Repositorio institucional UB: <https://hdl.handle.net/2445/171520>
- Gracia Ordóñez, J., Alcántara-Manzanares, J. y Torres-Porras, J. (2025). La implicación del alumnado en proyectos de sostenibilidad ambiental como factor de mejora del nivel de concienciación sobre el cambio climático. *Profesorado, Revista De Currículum Y Formación Del Profesorado*, 29(1), 341–370. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v29i1.30738>
- Kassem, M.A.M. (2017). Developing Business Writing Skills and Reducing Writing Anxiety of EFL Learners through Wikis. *English Language Teaching*, 10(3), 151-163. <http://dx.doi.org/10.5539/elt.v10n3p151>
- Kırkgöz, Y. y Dikilitaş, K. (2018), Key issues in English for specific purposes in higher education (Vol. 11). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70214-8>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Resolución A/RES/70/1). Naciones Unidas. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Quiroga Munguía, P. (2024). El Español con Fines Específicos y los métodos cooperativos. *Revista De Lenguas Para Fines Específicos*, 30, 212–233. <https://doi.org/10.20420/rlfe/2024.705>
- Rodríguez Peñarroja, M. (2022). La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en la clase de inglés para fines específicos: Una propuesta para la implementación de los ODS en el Grado en Turismo. *Tabanque. Revista Pedagógica*, 34(1), 45–67. <https://doi.org/10.24197/trp.1.2022.45-67>
- Santamarina-Macho, C. (2019). Wikipedia como recurso para la alfabetización mediática arquitectónica. En D. García-Escudero y Berta Bardí i Milà (Eds.), *Actas de las VII Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura JIDA`19* (pp. 83-93). Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 14-15 de noviembre de 2019, Universitat Politècnica de Catalunya. <https://doi.org/10.5821/jida.2019.8270>

UNESCO. (2012). Education for Sustainable Development: Sourcebook. Paris: UNESCO.

Velasco-Martínez, L.C.; Estrada-Vidal, L.I. y Tójar Hurtado, J.C. (2022). La sostenibilidad curricular en la Universidad como respuesta al cambio climático. En P.Á. Meira Cartea María, L. Iglesias da Cunha, M.C. Morán de Castro, G. Vargas Callejas y M. Arto Blanco (Coords.), A educación para o cambio climático no sistema educativo (pp. 393-404), Actas IV Seminario Internacional Resclima y 2º Encuentro de la REAJA 26 y 27 de octubre de 2018, Santiago de Compostela, Aldine Editorial. <https://bit.ly/4mFGerM>

FOMENTO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO SOBRE SOSTENIBILIDAD: UNA EXPERIENCIA DOCENTE DE APRENDIZAJE COLABORATIVO Y ASISTIDA POR IA

JUAN PEROTE PEÑA
Universidad de Zaragoza

1. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje colaborativo en grupos cruzados consta de dos partes: una primera de análisis que consiste en dividir el tema a explicar o proyecto a trabajar en varias partes constituyentes (casos particulares, aplicaciones, ejemplos, etapas de desarrollo o evolución, etc.) que se asignan a grupos diferentes. Posteriormente, en la segunda etapa de síntesis, se forman nuevos grupos mixtos o cruzados (cada uno compuesto de un integrante de cada uno de los grupos originales), con tareas de generalización, búsqueda de conexiones y generación de conclusiones.

En este trabajo se presenta una teoría que da cuenta de las ventajas didácticas de este método de aprendizaje usando simulaciones con un modelo computacional y se expone la experiencia concreta de innovación docente que el autor implementó con 15 estudiantes de un grado técnico en administración de empresas de la Inholland University of Applied Sciences durante el International Event (25-27/03/2024), bajo el título “*Knowing humans to improve firm’s decisions. A naturalistic approach to Business Ethics*”.

Para poner esta experiencia en su contexto convendría enunciar las varias metodologías que articulan el aprendizaje en dos tiempos y con grupos cruzados (esto es, reconfigurados o que intercambian roles/información), en el contexto de la educación superior. Las principales serían las siguientes:

- Jigsaw / “rompecabezas”: el estudiantado se reparte subtemas en grupos expertos; luego se “cruza” a grupos base para enseñar su parte y resolver el problema de forma integrada.
- Structured Academic Controversy (SAC) / Controversia académica: subgrupos preparan posturas opuestas, las discuten, intercambian posiciones y buscan síntesis común. Es intrínsecamente cruzada y en fases.
- Team-Based Learning (TBL): combina preparación previa con test de preparación individual (iRAT) + de equipo (tRAT) (dos etapas), seguido de aplicación de problemas en equipos permanentes.
- Exámenes de dos etapas / collaborative testing: se procede primero a una resolución individual y luego en grupo del mismo o parecido instrumento, con fines tanto sumativos como formativos.
- Peer Instruction (PI): se estructura en un ciclo a partir de un voto individual seguido de una discusión entre pares y una nueva votación, centrado en problemas conceptuales.
- Interteaching: consta de una guía de estudio previa seguida de una discusión en díadas/equipos y una mini-lección focalizada. Suele alternar trabajo individual y colaborativo.

Todas estas estrategias comparten principios cooperativos (interdependencia positiva, responsabilidad individual, interacción promotora, habilidades sociales y revisión de procesos) que la literatura identifica como condiciones de eficacia. En cuanto al aprendizaje cooperativo en general meta-análisis clásicos como Johnson et al. (2014) concluyen ventajas del aprendizaje cooperativo frente a enfoques competitivos o individualistas en rendimiento, relaciones interpersonales y ajuste psicológico.

En cuando a las técnicas de rompecabezas o jigsaw, que son las más relacionadas con la experiencia que reportamos aquí la revisión-síntesis más reciente (Vives et al. (2024)) recoge más de 40 años de estudios, y una revisión sistemática con meta-análisis (cochón et al. (2023)) reporta efectos positivos en logros, actitudes y determinadas variables socio-

afectivas, si bien con heterogeneidad y sensibilidad al contenido y a la carga cognitiva. En áreas como enfermería también aparecen meta-análisis específicos con efectos favorables. En estos estudios se demuestra la importancia de un adecuado diseño de la tarea sujeta al trabajo colaborativo: contenidos con carga cognitiva alta pueden dificultar el aprendizaje si este no se andamia (scaffolding) adecuadamente. Asimismo, la composición y dinámica de los equipos de trabajo afectan a la efectividad: la diversidad de respuestas y experiencias resulta beneficiosa en la fase grupal, pero incentivar la responsabilidad individual previa ayuda a mitigar el efecto de escaqueo (free-riding) del esfuerzo individual. Los mejores resultados y aceptación suelen darse cuando la estructura y la evaluación se formulan con claridad, con reglas explícitas, rúbricas e incentivos grupales moderados (sin eclipsar la nota individual). En general se aconseja asegurar una fase de auténtico trabajo individual que preceda al trabajo colaborativo para activar conocimientos y garantizar la responsabilidad de los estudiantes con las tareas asignadas, cuidar la composición de los equipos (asegurando una mezcla adecuada de habilidades y perspectivas) y fomentar normas de interacción (escucha activa, explicación elaborada, verificación de consenso). Además, el cruce de grupos del jigsaw debería estar estructurado, equilibrando la complejidad de los distintos subtemas, aportando guías y/o ensayando explicaciones breves. Los problemas a tratar también es deseable que incorporen un cierto conflicto productivo (ambigüedad razonable, múltiples vías de abordarlos, etc.) y se implemente un sistema de retroalimentación inmediata para evitar caminos sin salida o atascos en la discusión. También la edad y madurez de los estudiantes influye en el aprovechamiento de estas experiencias.

2. OBJETIVOS

El método de aprendizaje colaborativo que proponemos y exploramos en este trabajo busca optimizar el trabajo en equipo de los estudiantes interactuando en dos etapas con grupos cruzados para estimular su pensamiento crítico y capacidad para realizar inferencias y conexiones entre problemas multidimensionales y aparentemente diferentes, todo ello bajo la supervisión del profesor en el aula. La primera etapa de análisis

se complementa con una segunda de síntesis y generalización. No parece existir evidencia sólida respecto a la conveniencia de formar los grupos para la segunda etapa de forma totalmente aleatoria (o dejando a los participantes escoger a sus compañeros de equipo) o de una forma estructurada que garantice la diversidad de experiencias procedentes de la primera etapa (que podría aproximarse como forma grupos con la misma proporción de integrantes de los grupos de la etapa anterior). La evidencia de experiencias prácticas es inevitablemente observacional y dependiente del contexto, por lo que aparte de su implementación práctica en la experiencia relatada este trabajo se plantea demostrar que los grupos estructurados con diversidad en la segunda etapa (y no al azar) pueden defenderse en virtud de su mayor capacidad relativa para encontrar la “soluciones correctas” a los problemas planteados. En ciencias de la educación no es habitual defender un sistema didáctico en base a sus propiedades intrínsecas y abstractas para conseguir una finalidad bien definida y sin apelar a la experiencia práctica, pero en este trabajo defendemos que esa defensa es posible utilizando modelos teóricos de naturaleza epistémica. Dada la importancia de los factores aleatorios en la modelización de fenómenos epistémicos, un modelo computacional sencillo nos puede servir bien a este propósito. La siguiente sección pone estos modelos en contexto explicándolo en detalle.

3. METODOLOGÍA

Primero comenzamos describiendo la experiencia práctica concreta del método que defendemos con el modelo teórico, para ejemplificar su implementación. La experiencia consistió en las siguientes actividades:

- **Día 1:** Se presentaron a los estudiantes tres casos de estudio sobre conflictos de sostenibilidad que afectaron a empresas y *stakeholders* con su documentación asociada, formulándose varias preguntas sobre cada uno de ellos. Se dividió a los estudiantes en 3 equipos de 5 y a cada uno se le asignó uno de los casos para debatir. El profesor proporcionaba asistencia a todos y presentó nuevo material teórico sobre diversos aspectos que podrían afectar al debate de los casos (diferentes

teorías éticas, etc.). Los estudiantes podían utilizar herramientas de inteligencia artificial sin ninguna restricción y compartir los resultados obtenidos.

- **Día 2:** Los equipos presentaron sus resultados al resto y respondieron a preguntas. Seguidamente se numeró al azar a los estudiantes de cada equipo formándose nuevos grupos cruzados (5 grupos de 3 alumnos cada uno donde cada uno de los 3 perteneció a un grupo diferente en la fase anterior). La nueva tarea consistió en enfrentarse a una serie de nuevas preguntas sobre características comunes de los tres casos.
- **Día 3:** Los 5 grupos nombraron un comité que gestionó el trabajo de los demás en el aula para preparar un informe final que presentaron ante otros 30 estudiantes.

Nótese la importancia de contar con un número preciso de estudiantes para formar los grupos de forma equilibrada en ambas etapas. En las simulaciones que describiremos después seguimos escrupulosamente la dinámica formal de la experiencia para ese número de estudiantes concreto.

La justificación teórica del método se realiza mediante simulaciones computacionales en un modelo basado en agentes de tipo epistémico, programado con Netlogo y diseñado al efecto.

Antes de proceder a presentar el modelo concreto que se utilizó convendría recordar que los **modelos basados en agentes (ABMs, por sus siglas en inglés)** son simulaciones computacionales en la que un conjunto de **agentes autónomos** (individuos, organizaciones, células, vehículos, etc.) interactúan entre sí y con su entorno local siguiendo **reglas explícitas** definidas en su programación. El interés metodológico radica en observar cómo **comportamientos locales** generan **patrones globales emergentes**. Existen muchos manuales en la actualidad que describen las ventajas e inconvenientes de los modelos basados en agentes y los aplican a numerosos casos o disciplinas concretas. Véase, por ejemplo, Smaldino (2023) para aplicaciones a procesos sociales de coordinación y cooperación abstractos, Railsback & Grimm (2019) con aplicaciones a ecología y economía, Laver (2020) para el

modelo pionero de segregación espacial de Schelling o Izquierdo et al. (2024), que presenta modelos que replican modelos evolutivos.

Las principales características de los modelos basados en agentes pueden describirse como sigue:

- **Agentes heterogéneos:** cada agente tiene atributos, reglas de decisión y capacidad de adaptación o aprendizaje.
- **Autonomía y descentralización:** el comportamiento del sistema no depende de un planificador central, sino de las interacciones locales.
- **Interacciones explícitas:** los agentes se relacionan en redes sociales, espaciales o virtuales, a menudo con restricciones de alcance.
- **Entorno dinámico:** puede ser espacial (red, mapas GIS) o abstracto, y puede cambiar con las acciones de los agentes.
- **Emergencia:** los fenómenos macro (patrones colectivos, dinámicas poblacionales, difusión de innovaciones) surgen de la agregación de acciones micro.
- **Flexibilidad multi-escala:** se pueden estudiar fenómenos a nivel individual, grupal y sistémico de manera simultánea.

Los modelos basados en agentes se vuelven prácticamente indispensables cuando se busca explorar sistemas sociales complejos donde las soluciones exactas a las dinámicas de interacción son demasiado complicadas o imposibles. Aunque los modelos computacionales carecen de la seguridad predictiva de los modelos matemáticos exactos permiten extraer conocimiento basado en la generación de numerosas simulaciones, que son posibles con la capacidad de procesamiento de las computadoras actuales. Además, se trata de modelos flexibles y adaptables que permiten modificar parámetros y variables y realizar análisis de sensibilidad plausibles y controlados en el entorno de simulación. A cambio de esta flexibilidad y acercamiento a la realidad, resulta más problemático validar sus conclusiones de forma general, dada su

dependencia de condiciones iniciales y de numerosos eventos aleatorios que permean la ejecución de cada simulación.

NetLogo es un **entorno de modelado y simulación multiagente**, desarrollado por Uri Wilensky en el *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling* de la Northwestern University (Wilensky (1999)). Es software libre y multiplataforma (admite Windows, masOs y Linux). Su objetivo principal es **facilitar la construcción, visualización y experimentación** de modelos complejos donde múltiples agentes interactúan siguiendo reglas simples, lo que lo convierte en un referente en educación, investigación social, biológica, económica y ambiental. NetLogo posee un lenguaje de programación propio dotado de una sintaxis relativamente sencilla e intuitiva, diseñada para modelado en ciencias sociales y naturales y basado en comandos de alto nivel para controlar agentes, definir entornos y ejecutar simulaciones. Los tipos de agentes predefinidos que utiliza son 4: “*turtles*”, que son los agentes móviles que pueden desplazarse por una red bidimensional (*grid*), “*patches*”, que conforman las celdas inmóviles de esa red o entorno espacial, “*links*” o conexiones que pueden vincular agentes y representan redes sociales o infraestructuras, y el “*observer*”, que responde a la perspectiva global que ejerce el papel de monitor o controlador de cada simulación. Las “*turtles*” y los “*patches*” pueden llevar asociadas variables de estado que pueden ir cambiando de valor con las circunstancias del entorno (que incluyen factores aleatorios programados), y además pueden existir variables globales que no cambian a lo largo de cada simulación y que a menudo configuran los parámetros que maneja el usuario desde la interfaz para explorar el modelo. La interfaz gráfica permite visualizar el movimiento de los agentes en tiempo real y contiene las herramientas de ceración de los parámetros y variables globales mediante barras deslizadoras (“*sliders*”) y otros botones que activan o modifican partes del código que se ejecuta.

Además, NetLogo ofrece algunas ventajas adicionales frente a otras posibilidades de programación de estos modelos, como es su amplia biblioteca de extensiones (para GIS, redes, biología, matemáticas), su cuidado manual de uso y diccionario de instrucciones, que da acceso a tutoriales útiles, y la capacidad de integrarse con **R, Python, Java y bases**

de datos para análisis avanzado. Además, NetLogo cuenta con una colección de más de 500 modelos pre-construidos de fenómenos clásicos: segregación de Schelling, dinámica depredador-presa, difusión de epidemias, mercados, tráfico, etc., y con una herramienta de experimentación o exploración sistemática de los modelos (BehaviorSpace).

Aunque NetLogo posee una menor eficiencia para simulaciones con **millones de agentes** (comparado con plataformas en Java o C++) y alta demanda computacional, esta desventaja no es crucial para la programación de un modelo que simula los resultados de un proceso de aprendizaje en grupos cruzados para un número no muy grande de estudiantes y de temas, por lo que parece una herramienta adecuada para su modelado.

Ahora presentamos la descripción del programa de NetLogo utilizado en el análisis para la generación de simulaciones. El código efectivamente utilizado figura en el apéndice del final. Para entender el modelo conviene mirar la red espacial de la interfaz que se usa para representar los 15 estudiantes involucrados en la experiencia docente, representada por la matriz de las Figuras 1 y 2 de la siguiente sección. Los estudiantes se colocan en una mesa ficticia de 3 filas y 5 columnas que sirve para ordenar los grupos formados, como se muestra en la citada matriz de la interfaz. Todos ellos poseen la misma capacidad y son homogéneos en sus características. Por supuesto el programa puede flexibilizarse en este sentido para acercarse más a la realidad y explorar el efecto de la diversidad sobre los resultados dependiendo de las estrategias didácticas de formación de grupos cruzados o *jigsaw*, pero a nosotros nos interesa precisamente aislar el efecto previsible sobre el aprendizaje del sistema de formación de grupos, por lo que conviene neutralizar cualquier otra influencia que pudiera distorsionar potencialmente el resultado. Para modelizar el aprovechamiento del proceso de aprendizaje tomamos la opción de usar un modelo epistémico donde hay una verdad con dos posibles estados (“verdadero” o “falso”, para simplificar) que se manifiesta a través de evidencias de los tres casos que se discuten y ejemplifican el tema con valor epistémico. Inicialmente cada estudiante recibe una señal discreta aleatoria sobre si el asunto a discutir es cierto (o “se aprueba”) o falso (o se está en contra) tras familiarizarse con el caso que le ha tocado (primera, segunda o tercera fila de la matriz). Esta señal se supone que

depende del trabajo individual previo después de familiarizarse con el material. Cada grupo inicial de 5 estudiantes (filas de la tabla o matriz) se enfrenta a un solo caso relacionado con el tema, y el grado de alineamiento de cada caso con el estado epistémico real del tema es ligeramente diferente. El primer caso (5 estudiantes de la primera fila) es el menos revelador, caracterizado por una menor probabilidad de recibir la señal correcta (“verdadero” o “falso”) Esa probabilidad viene parametrizada por la variable global que define el deslizador “base-probability-true” de la interfaz (establecido en 0.5 en esas simulaciones). Suponemos que el tema es “cierto”, aunque eso solo lo sabemos nosotros. Los participantes en la simulación solo reciben una única señal individual de su estado (en los ejemplos de las figuras 1 y 2, con el 50% de probabilidad cada estudiante del primer caso recibe la señal de que el tema es “verdad” y con el 50% de que es “falso”. El segundo caso (segunda fila) es más informativo y suma a la probabilidad base del 50% el “incremento” que define el segundo parámetro deslizador de la interfaz, y el tercero lo es más aún y aplica ese incremento porcentual dos veces.

En la primera etapa de formación de los 3 grupos de 5 estudiantes cada uno (las 3 filas), se utiliza la creación de “*turtles*” para señalar a los estudiantes de la matriz que recibieron la señal buena. En este punto se consideran dos posibilidades: en la primera, la primera fase de discusión de cada caso entre los 5 integrantes del equipo se resuelve por mayoría simple de las señales reportadas por sus integrantes. Al tratarse de un número impar de componentes y de dos únicos estados epistémicos no hay posibilidad de empate, y en cada grupo se genera una única decisión (“verdadero” o “falso”). Como consecuencia del debate dentro de cada grupo en la primera fase, supondríamos que la opinión mayoritaria termina impregnando la opinión de todos sus componentes. Este efecto puede ser debido a la racionalidad de la mayoría (que es más probable que posea la solución epistémicamente correcta que sus individuos componentes) o a conformismo, o al efecto persuasivo de la mayoría. Este “contagio” de la deliberación dentro de cada grupo se inspira en el modelo de democracia deliberativa de Perote-Peña & Piggins (2015). En la segunda posibilidad no se procede a la agregación de opiniones de la primera etapa y cada estudiante mantiene el conocimiento

original de su señal hasta la segunda etapa, pero hay que tener en cuenta que las señales que reciben los estudiantes de cada grupo-fila de la primera etapa están correlacionadas porque proceden de la misma distribución que las genera (la distinta “precisión” de cada uno de los tres casos). Esa correlación debida a la pertenencia de cada estudiante a un grupo inicial (fila) determinado puede ser suficiente evidencia del “consenso parcial” que produce la discusión de la primera etapa, haciendo innecesaria la agregación o “contagio” en la primera etapa, lo que reduciría bastante el nivel de diversidad inicial y haría la segunda etapa menos interesante. Por ello en el programa se ha elegido la segunda posibilidad, aunque la primera podría codificarse muy fácilmente. Una vez expresado ese “contagio”, ya sea por consenso o por correlación al compartir caso se procedería a la segunda etapa de formación cruzada de nuevos grupos. En este caso se formarían 5 grupos compuestos por 3 individuos cada uno. Aquí es donde la forma de cruzar grupos genera diferencias en el aprovechamiento de la experiencia por los estudiantes.

Suponemos solamente dos formas de formar nuevos grupos de discusión o trabajo en esa segunda etapa: de forma totalmente aleatoria entre los 15 estudiantes o formando los 5 nuevos grupos que se corresponden con cada una de las 5 columnas de la matriz (formación de grupos “estructurada”). Para cada uno de los dos sistemas se calcula el resultado de la deliberación dentro de cada uno de los 5 grupos, suponiendo que agregan su información de idéntica forma a como lo hicieron en los grupos que se formaron en la primera etapa, es decir, la opinión mayoritaria (sea “verdadero” o “falso”) consigue imponerse dentro del grupo y se contagia a la minoría. Finalmente se disuelven los grupos de la segunda etapa y se discute con todos los estudiantes (grupo completo) cuál es la opinión mayoritaria, que es la finalmente ganadora. Esta resolución podrá ser la correcta (“verdadero”) o la incorrecta (“falso”) dependiendo del azar de las señales aleatorias iniciales y de qué tipo de formación de grupos se haya utilizado. Dada una realización cualquiera de las señales en una simulación concreta, en la inmensa mayoría de casos se dará la congruencia de respuestas finales con ambos métodos (la correcta, casi siempre), pero en un pequeño porcentaje habrá discrepancia, y si esa discrepancia se decanta a favor de uno de los métodos

de formación de grupos (o si lo hace para determinados valores de los parámetros) es lo que el modelo computacional pretende determinar.

Para neutralizar el efecto del azar se requiere realizar un gran número de simulaciones, y hacerlo para diferentes grupos aleatorios en la segunda fase, de forma que los promedios de acierto (registrados por las variables globales “AccErrorCT” (error acumulado del sistema de formación de grupos al azar o “coloreados”) y “AccErrorGT” (error acumulado para el sistema de formación de grupos “estructurados” por columnas, donde hay siempre un componente que participó en cada uno de los 3 casos de la primera etapa).

4. RESULTADOS

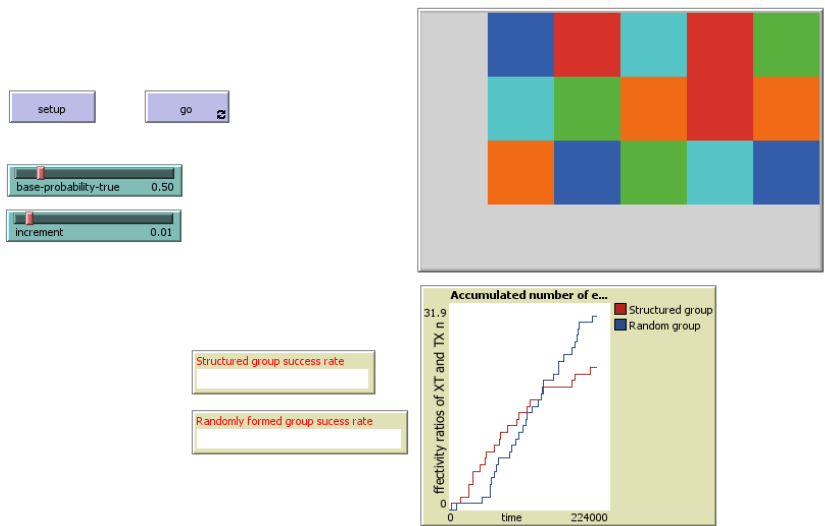
El programa de simulación de formación secuencial de grupos cuyo código se encuentra en el apéndice nos ha permitido ejecutar una serie de simulaciones de diferentes casos de formación de grupos aleatorios, como el que aparece en la matriz de la esquina superior derecha de la interfaz del programa en las figuras 1 y 2 debajo. Ambas simulaciones se han llevado a cabo con diferentes distribución de estudiantes a grupos en la segunda etapa (los 3 del mismo color forman un mismo grupo en cada figura), pero con los mismos parámetros 0.50 (la primera fila produce resultados epistémicamente no informativos) y 0.01 (la segunda fila es ligeramente mejor y aún mejor es la tercera), como puede verse en los deslizadores verdes a la izquierda de cada figura.

El gráfico de debajo de ambas figuras registra la evolución de los errores epistémicos acumulados cuando los segundos grupos se estructuran por columnas (línea rojo, “Structured group”) o por colores (“Random group”), a lo largo de numerosas simulaciones sucesivas.

En las simulaciones de la Figura 1 se observa que al principio el grupo estructurado tuvo peores resultados en comparación con el aleatorio, pero la pendiente de las curvas apunta a que eventualmente su rendimiento es algo mejor y terminó alcanzándole y sobrepasándolo en efectividad. Está claro que las condiciones iniciales aleatorias de cada simulación influyen notablemente en los resultados y por ello conviene

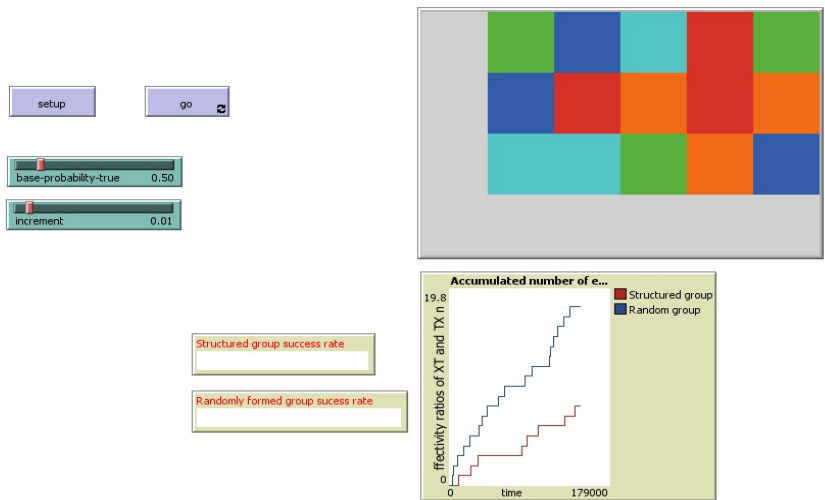
ejecutar un número suficiente de simulaciones para concluir qué método consigue menos errores en el largo plazo.

FIGURA 1. Interfaz del programa mostrando una simulación.



Fuente: elaboración propia

FIGURA 2. Interfaz del programa mostrando una simulación.

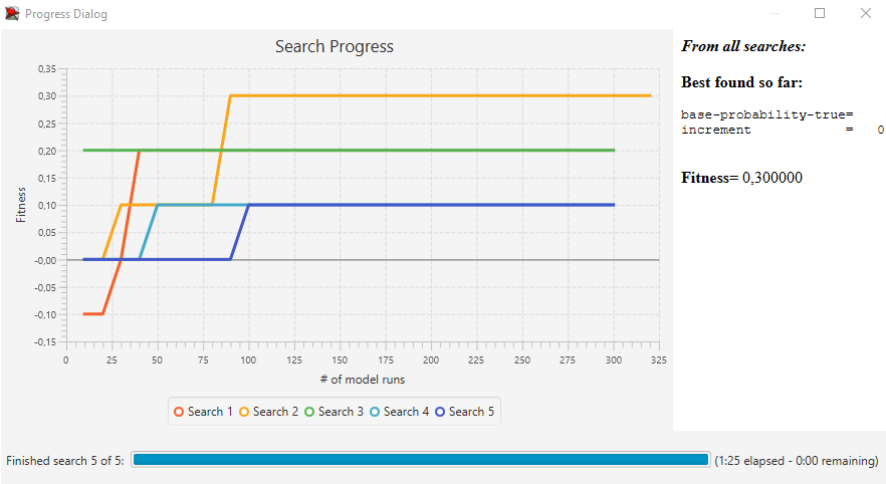


Fuente: elaboración propia

En la ejecución de simulaciones mostrada en la Figura 2 se observa que la curva azul que acumula los errores epistémicos del sistema de grupos aleatorios (el que concretamente reflejan los colores de las celdas de la matriz) tiene mayor pendiente y la curva de errores acumulados siempre va por encima.

Para concluir resultados generales con los modelos computaciones se deben realizar un gran número de simulaciones para todas las combinaciones de parámetros razonables. En la Figura 3 se ha utilizado la herramienta BehaviorSearch para explorar diferentes regiones de parámetros y comprobar la generalidad del resultado. En las pruebas realizadas bajo una región amplia de los parámetros parece confirmarse que los grupos estructurados obtienen menos errores y algo de mayor efectividad en promedio, aunque no se realizó un estudio exhaustivo de este aspecto debido a que el principal objetivo del trabajo es comprobar la utilidad de la metodología en el campo de la educación más que asegurar la certeza absoluta del resultado.

FIGURA 3. Interfaz de la exploración sistemática del modelo con la herramienta BehaviorSearch.



Fuente: elaboración propia

5. CONCLUSIONES

Comenzamos con los resultados relativos al experimento con estudiantes para después analizar los resultados de las simulaciones del modelo teórico computacional.

La interacción de los estudiantes resultó muy dinámica, aunque no todos los grupos progresaron por igual. El segundo día mostraron más iniciativa, pero hubo que darles demasiadas pistas. Gran parte del material escrito no fue utilizado porque carecían del nivel idóneo para aprovecharlo. Sería necesario repetir la experiencia y evaluarla con cuestionarios.

Por supuesto la experiencia de la implementación práctica difícilmente nos puede ilustrar sobre qué hubiera pasado ante el contrafactual de haber formado los equipos de la segunda etapa de forma aleatoria o a elección libre y endógena de los estudiantes. Precisamente esa es una ventaja de trabajar con la sociedad simulada de procesamiento de información epistémica del modelo teórico, a pesar de su gran abstracción, falta de realismo y omisión de múltiples variables relevantes para el aprendizaje, que además es inherentemente multi-dimensional. Nuestro modelo teórico nos obliga a reducir el aprovechamiento global de cada experiencia de discusión y deliberación en equipos cruzados a una sola variable epistémica, pero ello nos permite concluir que la formación igualmente diversa y estructurada de grupos en la segunda etapa ofrece una mayor probabilidad de acercamiento a la verdad epistémica (nuestra versión del aprovechamiento exitoso de la experiencia educativa). La razón parece ser que se evita en mayor medida el riesgo de redundancia informativa al coincidir a veces en el mismo grupo participantes que ya habían pertenecido al mismo grupo en la fase anterior. La mayor diversidad de acceso a la información inicial procedente de los tres casos de estudios (con diferentes niveles de relación con la verdad epistémica) genera mejores decisiones en un mayor número de casos. Este resultado no sólo puede leerse desde el punto de vista del diseño de sistemas de trabajo colaborativo, sino que puede aplicarse en general al diseño óptimo de grupos de trabajo que enfrentan problemas similares y deben tomar decisiones colectivas.

En cualquier caso, una conclusión de este trabajo es probar la utilidad de los modelos abstractos computacionales en el diseño y evaluación de métodos educativos en general.

6. REFERENCIAS

- Cochon Drouet, O., Lentillon-Kaestner, V., & Margas, N. (2023). Effects of the Jigsaw method on student educational outcomes: systematic review and meta-analyses. *Frontiers in Psychology*, 14, 1216437.
- Epstein, J. M., & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. MIT Press.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. (2014). Cooperative learning: Improving university instruction by basing practice on validated theory. *Journal on excellence in college teaching*, 25(3&4).
- Korayem, G. B., Alghamdi, A. A., Aljuhani, O., Ivy, D., Alhubaishi, A. A., & Alkofide, H. (2024). Team-based learning versus traditional teaching effect on pharmacy Students' Performance: A systematic review and Meta-Analysis. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 32(4), 102017.
- Izquierdo, L.R et al. (2024), "Agent-Based Evolutionary Game Dynamics. A guide to implement and analyze Agent-Based Models within the framework of Evolutionary Game Theory". Pressbook.
- Laver, M., "Agent-based models of social life. Fundamentals". Cambridge University Press, 2020.
- Perote-Peña, Juan, and Ashley Piggins. "A model of deliberative and aggregative democracy." *Economics & Philosophy* 31.1 (2015): 93-121.
- Railsback, S.F. & Grimm, V. "Agent-Based and Individual-Based Modeling. A Practical Introduction" (2nd ed.), Princeton University Press, 2019.
- Smaldino, P.E. (2023), "Modeling Social Behavior: Mathematical and Agent-Based Models of Social Dynamics and Cultural Evolution", Princeton University Press.
- Vives, E., Poletti, C., Robert, A., Butera, F., Huguet, P., ProFAN Consortium, & Régner, I. (2025). Learning with jigsaw: A systematic review gathering all the pieces of the puzzle more than 40 years later. *Review of Educational Research*, 95(3), 339-384.
- Xie, Z. B., Cheng, X. Y., Li, X. Y., & Zhang, Y. F. (2025). Team based learning pedagogy enhances the education quality: a systematic review and meta-analysis. *BMC Medical Education*, 25(1), 580.
- Weimer, C.W., Miller, J.O. & Hill, Raymond R., "Agent-based modeling: an introduction and a primer". Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference (roeder at al (eds.).
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

APÉNDICE

En este apéndice se incorpora el código del programa de NetLogo, con comentarios adicionales para su comprensión o modificación.

;; A simple model to compare methods to aggregate information when forming teams.

```
;; Coded in 2025 by Juan Perote Peña35
;;-----
globals [resultGT resultCT AccErrorGT AccErrorCT]
breed [Xs a-X]
-----

patches-own [
  probX ;;probability of positive result
  resultX ;; "0" for negative realizations, "1" for positive realizations]
;; Create patches.

to setup
  clear-all
  make-patches
  make-random-groups
  reset-ticks
end

to make-patches
  ask patches with [(pycor = 0)]
  [set pcolor 8
  set probX 0]
  ask patches with [(pxcor = 0)]
  [set pcolor 8
  set probX 0]
```

³⁵ This code is distributed by Juan Perote-Peña under a Creative Commons License: Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 6.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/6.0/>

```

ask patches with [(pycor = 1) and (pxcor > 0)]
[set pcolor white
set probX base-probability-true]
ask patches with [(pycor = 2) and (pxcor > 0)]
[set pcolor white
set probX (base-probability-true * (1 + increment))]
ask patches with [(pycor = 3) and (pxcor > 0)]
[set pcolor white
set probX (base-probability-true * (1 + 2 * increment))]
end

```

Ahora se programa el procedimiento de generación de los grupos aleatorios de la segunda etapa para el sistema de formación de estos al azar. Esta parte requiere bastante trabajo pero no es relevante para nuestros propósitos, por lo que es omitida. El resultado de su funcionamiento dentro de la inicialización del modelo en una simulación es la asignación de uno de 5 colores al azar a cada uno de los “patches”-celdas de la matriz de las Figuras 1 y 2. Los miembros de cada equipo comparen el mismo color y pueden coincidir dos o tres que estuvieron en el mismo grupo en la primera etapa. Después se crean los agentes (evidencia epistémica generada de forma aleatoria basada en los parámetros de la interfaz) y se calculan los resultados de cada simulación. Al terminar esta se eliminan o borran los agentes-turtles para proceder a otra simulación sin cambiar la estructura de los grupos aleatorios.

;; Create agents, one on each patch. Assign them one of two norms.

```

to go
run-evidence
calculate-result-goodteams
calculate-result-coloredteams
kill-turtles
tick
end

```

El procedimiento “run-evidence” crea “turtles” en los “patches” o celdas donde se realizó la evidencia epistémica positiva (“verdad”)

to run-evidence

ask patches with [pcolor!= 8] ;; Random draws from the probabilities determine the positive or negative result for each active patch (expert-test pair that are always green)

```
[
  ifelse (random-float 1 < probX)
  [set resultX 1]
  [set resultX 0]
  ask patches with [resultX = 1]
  [sprout 1]
]
ask turtles [
  set shape "circle"
  set color green]
end
```

Los procedimientos que siguen calculan los resultados por columnas para el sistema de creación de grupos “estructurado”, y para el sistema de formación al azar (“colored-teams”)

to calculate-result-goodteams

```
let z1 count turtles-on patches with [pxcor = 1]
let z2 count turtles-on patches with [pxcor = 2]
let z3 count turtles-on patches with [pxcor = 3]
let z4 count turtles-on patches with [pxcor = 4]
let z5 count turtles-on patches with [pxcor = 5]

let Az1 0
let Az2 0
let Az3 0
```

```

let Az4 0
let Az5 0
ifelse (z1 > 1)
[set Az1 1] [set Az1 0]
ifelse (z2 > 1)
[set Az2 1] [set Az2 0]
ifelse (z3 > 1)
[set Az3 1] [set Az3 0]
ifelse (z4 > 1)
[set Az4 1] [set Az4 0]
ifelse (z5 > 1)
[set Az5 1] [set Az5 0]
let totalAZ (Az1 + Az2 + Az3 + Az4 + Az5)
ifelse (totalAZ > 2)
[set resultGT 1]
[set resultGT 0]
set AccErrorGT (AccErrorGT + 1)]
end

to calculate-result-coloredteams
let w1 count turtles-on patches with [pcolor = red]
let w2 count turtles-on patches with [pcolor = orange]
let w3 count turtles-on patches with [pcolor = cyan]
let w4 count turtles-on patches with [pcolor = green]
let w5 count turtles-on patches with [pcolor = blue]
let Aw1 0
let Aw2 0
let Aw3 0
let Aw4 0

```



```

let Aw5 0
ifelse (w1 > 1)
[set Aw1 1] [set Aw1 0]
ifelse (w2 > 1)
[set Aw2 1] [set Aw2 0]
ifelse (w3 > 1)
[set Aw3 1] [set Aw3 0]
ifelse (w4 > 1)
[set Aw4 1] [set Aw4 0]
ifelse (w5 > 1)
[set Aw5 1] [set Aw5 0]
let totalAW (Aw1 + Aw2 + Aw3 + Aw4 + Aw5)
ifelse (totalAW > 2)
[set resultCT 1]
[set resultCT 0
set AccErrorCT (AccErrorCT + 1)]
end
to kill-turtles
ask turtles [die]
end

```

LA EDUCACIÓN PARA LA SALUD EN LA PROMOCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD Y LA RESPUESTA AL CAMBIO CLIMÁTICO

LAURA ILLAMOLA MARTÍN

Institut Català de la Salut

Fundació Institut d'investigació en Atenció Primària de Salut Jordi Gol

ISABEL VILAFRANCA MANGUÁN

Universitat de Barcelona

1. INTRODUCCIÓN

Nada nuevo afirmamos si decimos que el cambio climático constituye una amenaza directa y creciente para la salud humana, afectando especialmente a las poblaciones vulnerables, como niños, ancianos y personas con enfermedades crónicas. De hecho, la salud planetaria, entendida como la salud humana dependiente del equilibrio y bienestar del medio ambiente en el que vivimos, nos invita a comprender que cuidar el planeta es proteger nuestra propia salud.

Más aún, el aumento reciente en la cantidad y escala de desastres, como inundaciones, incendios, sequías y huracanes, muestra la relación entre el cambio climático y el clima severo. Ciertamente, las áreas afectadas se enfrentan a riesgos que van desde traumas físicos directos hasta un aumento en enfermedades infecciosas, asma, enfermedades cardíacas y problemas pulmonares. Además de los efectos sobre la salud física, estos fenómenos asociados al cambio climático tienen un impacto directo en la salud psicológica de las personas.

Al mismo tiempo, los eventos climáticos severos pueden provocar traumas psicológicos tanto inmediatos como a largo plazo, incluyendo trastorno de estrés postraumático, ansiedad y depresión. Por ello, las personas pueden verse afectadas negativamente al escuchar experiencias

traumáticas ajenas o por miedos sobre su propia vulnerabilidad. A este respecto, algunos estudios recientes también han evidenciado la relación directamente proporcional que se establece entre el aumento de la temperatura y un preocupante aumento en la incidencia de suicidios.

Asimismo, la contaminación por dióxido de nitrógeno (NO₂), especialmente en áreas urbanas, es uno de los principales factores ambientales que agravan enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Esta contaminación impacta de manera desigual a diferentes grupos sociales, agudizando las desigualdades en salud. La variabilidad geográfica y socio-económica condiciona la exposición y el impacto de estos contaminantes, lo que requiere un abordaje diferenciado y contextualizado en la práctica clínica.

Ante estos desafíos, la Educación para la Salud (EpS) emerge como una herramienta clave para capacitar a la población en la adopción de hábitos saludables y sostenibles. Promover una alimentación basada en productos vegetales, locales y de temporada, el consumo responsable, la movilidad activa y la correcta gestión de residuos son acciones que contribuyen tanto al bienestar individual como a la reducción del impacto ambiental. Además, es crucial fomentar la prevención de enfermedades asociadas a factores climáticos y ambientales, así como la atención a la salud mental para fortalecer la resiliencia comunitaria. De un modo significativo, la EpS fortalece la resiliencia frente al cambio climático al informar sobre riesgos ambientales y enseñar cómo manejar sus efectos en la salud física y mental. Esto capacita a las comunidades para adaptarse, tomar decisiones informadas y buscar apoyo, mejorando su capacidad de recuperación y bienestar.

En cualquier caso, la Atención Primaria (AP) de salud, por su cercanía y enfoque integral, es fundamental para la detección precoz de los efectos del cambio climático y la contaminación sobre la salud. Facilita el ajuste adecuado de tratamientos para enfermedades crónicas, la promoción de conductas preventivas y la gestión de riesgos ambientales mediante anamnesis estructuradas. Por consiguiente, la formación continua de los profesionales sanitarios en educación ambiental y climática es esencial para mejorar la respuesta sanitaria frente a esta nueva realidad.

Visto lo anterior, es imprescindible integrar la sostenibilidad en los sistemas educativos y en los programas comunitarios para impulsar una EpS transformadora que fortalezca la conciencia ambiental y la resiliencia social. Capacitar a docentes y profesionales sanitarios, e implementar proyectos interdisciplinarios orientados a la acción climática local, son estrategias fundamentales para preparar a la sociedad ante los retos presentes y futuros.

En definitiva, la AP y la EpS desempeñan un papel estratégico en la respuesta sanitaria a los desafíos derivados del cambio climático. La integración de herramientas específicas, la formación profesional continua y un enfoque educativo sostenible resultan fundamentales para garantizar un abordaje preventivo, personalizado y ambientalmente responsable, contribuyendo a la construcción de sociedades más saludables y resilientes.

En definitiva, el cambio climático afecta gravemente la salud física y mental, especialmente en poblaciones vulnerables. Por ello, la Educación para la Salud y la Atención Primaria resultan fundamentales para fomentar la prevención, la sostenibilidad y la resiliencia ante estos desafíos.

2. SALUD Y CAMBIO CLIMÁTICO, UNA ESTRECHA RELACIÓN

No en vano, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha advertido que el cambio climático será el mayor desafío para la salud global en el siglo XXI (OMS, 2021). En todo caso, las poblaciones más vulnerables —niños, ancianos, personas con enfermedades crónicas y comunidades empobrecidas— son las más afectadas por fenómenos como olas de calor, inundaciones, incendios forestales y cambios en los patrones de enfermedades infecciosas. Añadido a lo anterior, la degradación ambiental y la pérdida de biodiversidad afectan la disponibilidad de alimentos nutritivos y agua potable, aumentando los riesgos de malnutrición, deshidratación y enfermedades gastrointestinales.

Dentro de esta vinculación entre salud y cambio climático cabe destacar que el 25 de septiembre de 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. La Agenda 2030, que constituía un plan de acción a favor de las personas, del planeta, de la prosperidad y de la paz universal, se concretó en 17 Objetivos

de Desarrollo Sostenible (ODS), entre los cuales el tercero se dedica a la Salud y Bienestar. La formulación completa del ODS3 se proponía garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. Conscientes de las desigualdades de acceso a la AP en el mundo, este objetivo se propone lograr el acceso equitativo a la atención sanitaria, eliminando las disparidades mundiales. De esta forma, se especifica que la necesidad de prestar atención a los determinantes de la salud, incluidos los factores ambientales y comerciales. De algún modo, garantizar una vida saludable resulta necesario para proteger a los grupos de población vulnerables y a los colectivos humanos que residen en zonas o regiones con elevada prevalencia de enfermedades (UNESCO, 2017).

Por consiguiente, este ODS pone de manifiesto la necesidad de ofrecer una cobertura sanitaria universal, entre otros aspectos relevantes. Si bien entre el año 2000 y 2015 se había logrado combatir eficazmente enfermedades infecciosas como el VIH, la tuberculosis y la malaria, las desigualdades en el acceso a la cobertura sanitaria universal siguen padeciéndose en la actualidad.

3. EDUCACIÓN PARA LA SALUD EN EL CONTEXTO CLIMÁTICO

La EpS tiene como propósito empoderar a las personas con conocimientos y habilidades para tomar decisiones informadas que mejoren su bienestar físico, mental y social. Ahora bien, frente a los desafíos ambientales actuales, esta educación debe incorporar la sostenibilidad como un eje transversal. Tanto es así que la EpS entiende que la salud es un concepto dinámico y reconoce que para alcanzar la equidad en la salud se ha de afrontar los determinantes sociales y ambientales que influyen sobre ella. Según el Ministerio de Educación Política Social y Deporte (MEPSyD) y el Ministerio de Sanidad y Consumo (MSC) la EpS se define como:

el conjunto de oportunidades de aprendizaje elaboradas conscientemente que suponen una forma de comunicación destinada a mejorar el conocimiento sobre la salud y promover el desarrollo de habilidades para la vida que puede conducir tanto a la salud individual como colectiva (MEPSyD, MSC, 2008, p. 61)

Así, dentro de los ODS se incluyó el número 3 que se centraba en la Salud y el Bienestar. Hace tan solo cuatro años, exactamente en 2021, en el marco de la 10ª Conferencia Mundial de Promoción de la Salud, celebrada en Ginebra entre el 13 y el 15 de diciembre, se aprobaron cinco medidas clave para prevenir y responder mejor a las múltiples crisis sanitarias y ecológicas del mundo. Así, las áreas de actuación esenciales eran:

- Diseñar una economía equitativa que sirva al desarrollo humano dentro de los límites planetarios.
- Crear políticas públicas favorables al bien común
- Lograr la cobertura sanitaria universal
- Abordar la transformación digital para contrarrestar los daños y el debilitamiento y reforzar los beneficios
- Valorar y preservar el planeta (OMS, 2021)

A este fin, la Carta de Ginebra señalaba que los países debían priorizar la salud como parte de un ecosistema más amplio que englobaba factores medioambientales, sociales, económicos y políticos. La AP desarrolla una importante función en la EpS y promoción de la salud. Trabajar en la consulta con una perspectiva comunitaria supone que el profesional de AP realice un trabajo de creación de contextos (sociales, culturales, económicos, ambientales y políticos) con las relaciones que establece con los pacientes. Por lo que la actividad clínica y educativa siempre debe tener una dimensión comunitaria, aunque se trabaje con individuos (Turibiána et al, 1998).

4. FOMENTO DE HÁBITOS SALUDABLES Y SOSTENIBLES

No cabe duda de que una alimentación equilibrada basada en productos de origen vegetal, de temporada y locales no solo mejora la salud, sino que reduce la huella de carbono. Educar en el consumo responsable, el reciclaje y la movilidad activa (como caminar o ir en bicicleta) también tiene un impacto positivo tanto individual como planetario.

No obstante, los patrones alimentarios actuales, especialmente en los países de ingresos altos, tienen un elevado impacto ambiental. Se estima que un tercio de todos los alimentos se pierden o se desperdician a lo largo de la cadena alimentaria. En este contexto, el papel de los profesionales sanitarios es crucial. Sin embargo, en España, estos profesionales adolecen de un conocimiento limitado sobre dietas sostenibles. De hecho, un estudio reveló que alrededor de la mitad (46,6 %) de los profesionales de la salud no solían abordar el impacto ambiental de la alimentación cuando hablaban con la población sobre hábitos dietéticos. Pese a todo, una amplia mayoría coincidía en que es importante promover dietas sostenibles en las recomendaciones dietéticas. Además, señalaron que todos los profesionales sanitarios, independientemente de su formación o especialidad, deberían recibir educación específica sobre sostenibilidad alimentaria. Esto les permitiría ofrecer asesoramiento nutricional que contemple no solo los aspectos de salud, sino también el impacto ambiental, las dimensiones sociales y las consideraciones económicas relacionadas con la alimentación (Fresán et al, 2023).

Ciertamente, consumir productos de temporada y de proximidad resulta más económico, sabroso, sano y sostenible (SEMFyC, 2022).

5. PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL CLIMA

A decir verdad, la EpS puede enseñar a reconocer síntomas y adoptar medidas preventivas frente a enfermedades emergentes o agravadas por el cambio climático, como el dengue, las alergias o las enfermedades respiratorias asociadas a la contaminación. En rigor, la promoción de la salud supone un bajo coste económico y presenta un índice de seguridad óptimo. Además de fomentar una alimentación saludable y sostenible, desde la AP también debemos recomendar la práctica regular de actividad física como parte fundamental del estilo de vida saludable (SEMFyC, 2022; Gubler, 2011).

6. SALUD MENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático no solo afecta la salud física, sino que también tiene profundas repercusiones en la salud mental. Más allá del estrés

climático y el duelo ecológico —emociones derivadas de la pérdida de entornos naturales—, el aumento de fenómenos climáticos extremos y cambios ambientales sostenidos generan efectos psicológicos complejos, como ansiedad, depresión y trastornos relacionados con el clima, conocidos como ecoansiedad (Clayton et al, 2017).

6.1. IMPACTO DEL AUMENTO DE TEMPERATURA EN LA SALUD MENTAL Y RIESGO DE SUICIDIO

Un amplio metaanálisis reciente encontró evidencia muy sugestiva de una asociación entre temperaturas más altas y un incremento en la mortalidad por suicidio. En general, las asociaciones basadas en la evidencia identificadas en esta revisión resaltan la necesidad de esfuerzos interdisciplinarios para desarrollar e implementar estrategias que cartografien y mitiguen los efectos de la contaminación del aire y el cambio climático, y que protejan de forma proactiva la salud mental a nivel global (Radua et al, 2024).

7.- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO

La contaminación atmosférica es uno de los principales factores ambientales que afectan la salud humana, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas. El dióxido de nitrógeno (NO₂), un gas marrón de olor intenso, puede afectar la función pulmonar a concentraciones elevadas, siendo principalmente emitido por la combustión en transporte e industria (Generalitat de Catalunya, 2025). Los óxidos de nitrógeno (NO₂) son precursores de contaminantes secundarios como el ozono troposférico y las partículas finas (PM_{2.5}), que aumentan la mortalidad y morbilidad respiratoria y cardiovascular (Asensio, Gimeno, 2024). La introducción de ciudades libres de coches privados probablemente tendrá beneficios directos e indirectos para la salud. En “Días sin coches”, se ha observado que los niveles de NO₂ pueden reducirse hasta un 40%, demostrando el impacto directo del tráfico sobre la calidad del aire (Khreis et al, 2016).

Sea como fuere, las exacerbaciones en pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) o crisis de asma, tienen factores de riesgo asociados a mal uso o infra tratamiento (por falta de prescripción,

mala adherencia o técnica inhalatoria incorrecta) y a la exposición a desencadenantes ambientales como el humo del tabaco y alérgenos. Por ello, se recomienda una revisión periódica, al menos anual, de la técnica inhalatoria, adherencia al tratamiento y exposición a posibles desencadenantes (CAMFIC 2023).

8. DETERMINANTES SOCIALES DE LA SALUD Y CONTAMINACIÓN

Los determinantes sociales de la salud, como el nivel socioeconómico, las condiciones laborales, la contaminación (tanto doméstica como ambiental), el estado civil, el lugar de residencia y las barreras de acceso al sistema sanitario, tienen un impacto significativo en la prevalencia, diagnóstico y manejo de la EPOC (Asensio et al, 2024)

Por su parte, un estudio europeo afirma que las condiciones ambientales urbanas, especialmente la exposición al NO₂, pueden generar desigualdades significativas en el asma infantil. Este riesgo se incrementa en zonas urbanas, donde los niveles de contaminantes suelen ser más elevados que en entornos rurales (Martínez et al, 2019).

En verdad, los niveles de NO₂ presentan una variabilidad espacial significativa, fuertemente condicionada por factores geográficos y meteorológicos, así como por el tipo de territorio, a diferencia de otros contaminantes atmosféricos que muestran una variabilidad temporal más marcada.

Al fin y al cabo, el entorno geográfico y las condiciones ambientales del lugar de residencia pueden influir de forma considerable en el estado de salud de las personas. Vivir en zonas rurales con alta contaminación atmosférica se asocia con un mayor número de hospitalizaciones, síntomas más graves y una mayor mortalidad (SEMFyC, 2022). En zonas costeras, por ejemplo, la proximidad al mar puede modular las concentraciones de NO₂, afectando directamente la calidad del aire (Ashworth et al, 2021; Stern, Wang, 2020).

Además, la contaminación histórica de los suelos urbanos, especialmente en antiguos espacios industriales, puede suponer un riesgo

adicional para la salud respiratoria, con un impacto más acusado en comunidades vulnerables con menos recursos (Litt et al, 2002).

En este sentido, un estudio realizado en Barcelona encontró diferencias significativas entre la exposición residencial y la exposición de los peatones al NO₂. Se observó que la exposición residencial tiende a ser uniforme en toda la ciudad, mientras que la exposición de los peatones se concentra en el centro y en puntos críticos urbanos (Armengol et al, 2024)

9. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

Un crecimiento poblacional sin precedentes, la urbanización no planificada y la globalización, especialmente el transporte aéreo moderno, que facilitó la rápida diseminación de patógenos entre centros urbanos del mundo. Estos factores, impulsados por el crecimiento económico posterior a la Segunda Guerra Mundial, han hecho que estas enfermedades vuelvan a ser un desafío importante para la salud pública en el siglo XXI (Gluber, 2011).

10. HERRAMIENTAS CLÍNICAS PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LA SALUD

Para abordar los determinantes ambientales en AP, se recomienda realizar una anamnesis ambiental estructurada. Existen dos herramientas disponibles:

- Historia clínica ambiental: compleja y de larga duración, entre 20 y 120 minutos.
- Ficha verde: sencilla, que se completa en 5-7 minutos.

Esta última herramienta permite detectar e informar sobre riesgos ambientales mediante preguntas relacionadas con el nivel socioeconómico, exposiciones laborales o domésticas, hábitos tóxicos, aficiones, características del hogar y otros factores relevantes (SEMFyC, 2022).

11.- FORMACIÓN CONTINUA Y ROL DE LOS PROFESIONALES

En cierto modo, es evidente que la formación continua de los profesionales sanitarios es fundamental para garantizar una respuesta eficaz y actualizada ante los retos que plantea el cambio climático sobre la salud. Así, parece que incorporar la educación ambiental y climática en la formación médica y sanitaria permite a estos profesionales comprender mejor la interrelación entre el medio ambiente y la salud humana, así como actuar de manera proactiva en la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades relacionadas con factores ambientales.

En España, los profesionales sanitarios tienen un conocimiento limitado sobre dietas sostenibles. Como hemos afirmado con anterioridad, casi la mitad (46,6%) no abordan el impacto ambiental de la alimentación en sus recomendaciones, aunque reconocen la importancia de promover dietas sostenibles y consideran necesario que todo profesional sanitario reciba formación específica sobre sostenibilidad alimentaria (Fresán et al, 2023).

12. HACIA UNA EPS TRANSFORMADORA

En líneas generales, integrar el enfoque de salud y sostenibilidad en los sistemas educativos a través de la EpS, campañas comunitarias y programas de salud pública es una estrategia clave para afrontar los retos globales. Esto implica:

- Incluir contenidos sobre cambio climático y salud en los currículos escolares.
- Capacitar a docentes y profesionales de la salud en enfoques interdisciplinares.
- Promover proyectos escolares o comunitarios basados en la acción climática local.

Dicho esto, cabe pormenorizar en distintos aspectos que debe abordar un programa de EpS sostenible, entre los cuáles podríamos destacar los siguientes: el fomento de hábitos saludables y sostenibles, la prevención de enfermedades relacionadas con el clima, la promoción del

bienestar comunitario, la reducción de residuos para una mayor sostenibilidad, entre otros. A continuación, intentaremos pormenorizar en cada uno de estos ámbitos y objetivos.

12.1. FOMENTO DE HÁBITOS SALUDABLES Y SOSTENIBLES

Nadie duda que una alimentación equilibrada basada en productos vegetales, de temporada y de proximidad no solo mejora la salud, sino que también disminuye la huella de carbono. La educación en consumo responsable, reciclaje y movilidad activa genera un impacto positivo tanto individual como colectivo. Dicho en otros términos, los patrones alimentarios actuales en países de altos ingresos presentan un elevado impacto ambiental. Por desgracia, aproximadamente un tercio de los alimentos se pierde o desperdicia a lo largo de la cadena alimentaria (Fresán et al, 2023; SEMFyC, 2022). Uno de los retos de la EpS en esta dirección es fomentar hábitos saludables de alimentación, tales como comprar exclusivamente sólo lo que se consume, evitar la compra de productos envasados con excesivos materiales contaminantes, reciclar los envases que sean reutilizables e intentar moverse de forma sostenible, por ejemplo, caminando cuando sea posible, o en bicicleta o si necesariamente ha de ser un desplazamiento motorizado porque la distancia es amplia, utilizar el transporte público o si es privado compartido con otras personas aprovechando al máximo el número de plazas del vehículo.

Después de todo, la EpS tiene como reto principal sensibilizar, tanto a los pacientes de AP como al alumnado de los centros educativos, sobre la importancia de adquirir y practicar hábitos saludables que minimicen la huella de carbono en el planeta. Conviene recordar que las acciones individuales, en este sentido, tienen impacto global y planetario.

Desde el ámbito de la atención primaria, tanto a nivel clínico como comunitario, es fundamental reeducar a la población en hábitos alimentarios que sean saludables y sostenibles. Este enfoque, conocido como "alimentación planetaria", pone el énfasis no solo en el valor nutricional del alimento, sino también en su origen, método de producción, transporte y estacionalidad. La dieta mediterránea tradicional, basada en vegetales, legumbres y baja en productos de origen animal, representa un modelo culturalmente cercano y ambientalmente sostenible (Fresán et al, 2023).

12.2.- PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL CLIMA

La EpS puede facilitar la identificación temprana de síntomas y promover medidas preventivas frente a enfermedades emergentes o agravadas por el cambio climático, tales como las alergias o las enfermedades respiratorias vinculadas a la contaminación. La promoción de la salud es una estrategia de bajo costo y alta seguridad. Además de promover la alimentación saludable y sostenible, es esencial recomendar la práctica regular de actividad física desde la AP (SEMFyC, 2022). En este sentido la EpS tiene el desafío de concienciar a los educandos y pacientes de la importancia del deporte diario, principalmente en entornos naturales, facilitar las pautas para evitar la obesidad o hábitos excesivamente sedentarios además de fomentar el consumo de dieta mediterránea. Todas estas acciones previenen la expansión de enfermedades relacionadas con el cambio climático, a saber, principalmente cardiorrespiratorias.

Nuestro estilo de vida se ha vuelto más sedentario, el ocio de los niños y adolescentes cada vez es más tecnológico, pasivo e individual. Los niños comienzan cada vez antes a utilizar dispositivos electrónicos basados en pantallas pasando cada vez más tiempo delante de éstas. Lamentablemente, esta conducta se asocia con patrones de dieta insanos, que aumentan el riesgo de obesidad infantil y los problemas de salud mental, en niños y en adolescentes. Los datos de la Encuesta de Salud de Cataluña (ESCA) de 2023 revelan que el 32,9 % de la población de 3 a 14 años tiene un estilo de ocio activo, es decir, hace como mínimo una hora al día de deporte o de juego en el parque o en la calle. Constituye un reto para la EpS aumentar este porcentaje de la población infantil y adulta que tiene un estilo de ocio activo. Debemos recomendar realizar ejercicio físico por sus beneficios en la prevención de enfermedades no transmisibles. Unir la prescripción de realizar ejercicio físico con pasar tiempo en la naturaleza fomenta preservar la salud de las personas y la del planeta (SEMFyC, 2022). La conexión con el medio ambiente y el compromiso con actividades al aire libre pueden potenciar los comportamientos proambientales, especialmente cuando se fortalece la conciencia sobre la naturaleza (Baird et al, 2022).

12.3. PROMOCIÓN DEL BIENESTAR COMUNITARIO

El impacto del cambio climático en la salud mental también requiere atención. La EpS debe incluir herramientas para la gestión del estrés climático, el duelo ecológico y el fortalecimiento del tejido social, como estrategias para aumentar la resiliencia comunitaria (Marmot, 2005; Fernández, Albareda, 2025).

Hasta ahora, los estudios sobre hábitos alimentarios se han centrado principalmente en la adherencia a la dieta mediterránea, con un enfoque individual y evaluando su impacto en la prevención de enfermedades no transmisibles. Sin embargo, en el contexto actual de emergencia climática y creciente desigualdad social, resulta necesario superar esta mirada centrada en el riesgo individual para adoptar un enfoque colectivo que relacione los hábitos alimentarios con su impacto ambiental y social. En esta línea, Fernández-Morilla y Albareda (2025) abogan por repensar el modelo alimentario desde una visión ecosocial integradora, que conecte salud humana y salud planetaria.

Teniendo en cuenta la salud planetaria, la SEMFyC ha propuesto una serie de pautas y recomendaciones para incorporar la alimentación sostenible y la dieta planetaria en nuestros hábitos diarios. De esta forma, desde el Programa de Salud Planetaria de la Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria se han elaborado los siguientes consejos que pueden incorporarse en la EpS a fin de promover el bienestar comunitario. Se reproducen a continuación:

- Una dieta basada en vegetales, con variedad de frutas, verduras, frutos secos, legumbres...
- Evitar productos procesados y ultraprocesados.
- Vegetales como fuente proteica de calidad y alternativa saludable a la proteína animal: legumbres, frutos secos y semillas.
- Alimentos producidos mediante métodos tradicionales ecológicos, sostenibles, naturales u orgánicos que respeten el ciclo natural de cada especie y el descanso de la tierra.

- Alimentos de pequeños productores locales, ecológicos, asegurando un bajo impacto por transporte y una economía de cercanía y calidad.
- Alimentos de temporada: informar sobre los calendarios de temporada de fruta, verdura e incluso pescado. Así estimulamos la producción local, evitamos el cultivo forzado, el uso de cámaras de refrigeración y la importación.
- Comprar en el mercado local y/o directamente a los productores de la zona, evitando grandes superficies y alimentos importados.
- Evitar producir residuos: escoger alimentos sin envoltorios, a granel, usando nuestras propias bolsas y recipientes.
- No tirar comida: planificar y almacenar correctamente los alimentos.
- Si se compra en el supermercado: leer e interpretar las etiquetas, tener en cuenta la procedencia, evitando los productos que proceden de lugares más lejanos y eligiendo los envases más sostenibles.
- En caso de consumir pescado, escoger el de zona de captura próxima, con método de pesca sostenible (pincho, trasmallo, nasas, palangre no industrial, caña, etc.) y de temporada.
- Comer menos carne. En caso de consumir productos de origen animal, escoger productores que cumplan los puntos anteriores.

Adaptar los consejos a cada persona de forma flexible, según la geografía local, el contexto socioeconómico, las tradiciones culinarias y las preferencias personales. (SEMFyC, 2023b, p. 1)

12.4. RESIDUOS Y SOSTENIBILIDAD

Los residuos municipales reflejan la cantidad de basura generada por persona, directamente relacionada con el consumo, la gestión de residuos y la sostenibilidad. Una reducción en esta variable indica mejoras en hábitos de consumo responsables, menor desperdicio y mejor gestión ambiental. Aunque la conciencia pública sobre problemas ambientales está en aumento, los mecanismos de incentivos que favorecen comportamientos individuales proambientales aún requieren mayor investigación (Zhu

et al, 2016). En este sentido, fomentar la educación ambiental y la participación activa de la comunidad mejora el compromiso y el éxito de los programas de gestión de residuos (SEMFyC, 2022).

Junto al escenario de excesiva medicalización de la sociedad, en general, y el consiguiente aumento del consumo de fármacos y el gasto farmacéutico que conlleva, se añade el hecho de que la prescripción de fármacos es uno de los mayores contribuyentes a la huella de carbono que genera el sistema sanitario, siendo de especial importancia en AP.

Todos los fármacos tienen un impacto en el medioambiente: la huella de carbono de la producción, el almacenaje, el empaquetado, el transporte y la gestión de los residuos, y genera más emisiones de CO₂ que la industria automovilística. Por estos motivos, se realizan una serie de recomendaciones para pacientes sobre el reciclaje de medicamentos (SEMFyC, 2023a, SEMFyC, 2022):

- Reciclar los medicamentos que no se necesiten a fin de disminuir el riesgo de automedicación inadecuada y fomentar el cumplimiento de los tratamientos pautados.
- No acumular cajas de medicamentos en domicilios.
- Reciclar las cajas de medicamentos y envases vacíos en los puntos de reciclaje en las farmacias.

Recomendaciones para sanitarios (SEMFyC 2022):

- Conocer la huella de carbono del fármaco que va a prescribir.
- Evitar la prescripción en exceso que conlleva a desperdicios y acumulación de fármacos.
- Revisar de forma periódica el tratamiento crónico de los pacientes y desprescribir, si está indicado.
- Evitar la medicalización y la prescripción de fármacos con valor intrínseco bajo.
- Fomentar a la población el uso racional de medicamentos y evitar acumular cajas de medicamentos en domicilios.

13. CONCLUSIONES

A lo largo de estas páginas hemos visto como la EpS puede transformar nuestros hábitos de tal modo que podamos lograr una dieta sostenible, una salud planetaria y personal sostenible que no ponga en riesgo nuestra vida y minimice los efectos del cambio climático. En suma, resulta importante realizar un programa completo y efectivo de EpS, tanto en AP como en el entorno educativo formal, a fin de que tanto pacientes, adultos y jóvenes, como educandos aprendan a tener en cuenta los efectos que producen sus acciones sobre la huella de carbono, sobre su propia salud y sobre la salud planetaria. En el contexto climático que nos encontramos, la concienciación sobre nuestros cuidados de salud, también para el cuidado del planeta, son importantes para evitar enfermedades crónicas, respiratorias, cardiovasculares o cardiorrespiratorias, entre otras. La SEMFyC afirma que:

La producción no controlada de alimentos no sostenibles genera una doble carga de obesidad y desnutrición, agravada por el cambio climático, que origina una mayor vulnerabilidad.

Una dieta poco saludable es uno de los principales factores de riesgo de muerte prematura y representa el 19% de la mortalidad total. En Europa, la proporción de muertes relacionadas con la dieta es del 25%, y las principales causas de morbilidad asociada con la nutrición son las enfermedades no transmisibles, como las enfermedades cardiovasculares, la obesidad, la diabetes y algunas formas de cáncer (SEMFyC, 2023b, p. 1).

Ante esta realidad, es imprescindible reconocer la importancia de cuidar nuestra salud y la del planeta mediante comportamientos saludables y sostenibles. En definitiva, este es uno de los mayores retos a los que se enfrenta la EpS en la actualidad, sobre todo con el contexto de cambio climático que nos obliga a replantearnos nuestra vida, nuestra salud y responsabilizarnos de nuestras acciones y decisiones sobre la promoción de la sostenibilidad, ahora más que nunca.

13. REFERENCIES

- Armengol, J. M., Carnerero, C., Rames, C., Criado, A., Borge-Holthoefer, J., Soret, A., Solé-Ribalta, A. (2024). City-scale assessment of pedestrian exposure to air pollution: A case study in Barcelona. *Urban Climate.*, 58, 102183. doi:10.1016/j.uclim.2024.102183.
- Asensio-Whyte, I., Gimeno-Feliu, L. A. (2024). Los determinantes sociales de la salud y su influencia en la prevalencia y pronóstico de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Una revisión exploratoria. *Rev Clin Med Fam.*, 17 (1), 13–25. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1699-695X2024000100003
- Ashworth, M., Analitis, A., Whitney, D., et al (2021). STEAM project research group. Spatio-temporal associations of air pollutant concentrations, GP respiratory consultations and respiratory inhaler prescriptions: a 5-year study of primary care in the borough of Lambeth, South London. *Environ Health.* 20 (1), 54. doi:10.1186/s12940-021-00730-1.
- Baird, J., Dale, G., Holzer, J. M., Hutson, G., Ives, C. D., & Plummer, R. (2022). The role of a nature-based program in fostering multiple connections to nature. *Sustainability Science*, 17(5), 1899–1910. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01119-w>
- CAMFiC. Societat Catalana de Medicina Familiar i Comunitària (2023). *Guia pràctica per al maneig de l'asma*. CAMFiC; <https://gestorweb.camfic.cat/uploads/Guia-practica-per-al-maneig-de-asma-2023.pdf>
- Clayton, S., Manning, C., Krygsmann, K., Speiser, M. (2017). *Mental health and our changing climate: impacts, implications, and guidance*. American Psychological Association
- Fernández Morilla, M., Albareda-Tiana, S. (2025). Developing sustainability competencies through healthy and sustainable nutrition workshops in initial teacher training. *Education Sciences*, 15 (3), 321. doi:10.3390/educsci15030321.
- Fresán, U., Vidal-Carou, M. C., Ramos-Truchero, G., de Pipaon, M.S., Moreno, L. A., Salas-Salvadó, J. (2023) Knowledge, attitude, and patient advice on sustainable diets among Spanish health professionals. *Frontiers in Nutrition.*, 10, 1182226. doi:10.3389/fnut.2023.1182226.
- Generalitat de Catalunya. (2025) *Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (Generalitat de Catalunya). La qualitat de l'aire a Catalunya – Avaluació NO₂ 2022 [Internet]. Generalitat de Catalunya; 2023. Disponible en: <https://mediambient.gencat.cat/.../La-qualitat-de-laire-a-Catalunya-NO2-2022.pdf>*

- Gubler, D. J. (2011). Dengue, Urbanization and Globalization: The Unholy Trinity of the 21st Century. *Tropical Medicine and Health*, 39 (4 Suppl), 3-11. <https://doi.org/10.2149/tmh.2011-S05>
- Khreis, H., Kelly, C., Tate, T., Parslow, R., Lucas, K., Nieuwenhuijsen, M. (2016). Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma. A systematic review and meta-analysis. *Environmental International*, 94, 576-582, DOI: 10.13140/RG.2.2.13217.81760.
- Litt, J.S., Burke, T. A. (2002). Urban soil contamination: health risks and recommendations for risk assessment and remediation. *Environ Health Perspect*, 110 (Suppl 1), 43-53. doi:10.1289/ehp.02110s143.
- Marmot, M. (2005). Social determinants of health inequalities. *Lancet*, 365 (9464), 1099-1104. doi:10.1016/S0140-6736(05)71146-6.
- Martínez, D., et al (2019). The role of traffic-related air pollution in the development of childhood asthma: a study from the ISGlobal in Europe. *Salud Diaria*. Jun 8. <https://www.saludadiario.es/investigacion/la-contaminacion-atmosferica-causa-el-33-de-los-nuevos-casos-de-asma-infantil-en-europa>
- MEPSyD, MSC (2008). *Criterios de calidad para el desarrollo de proyectos y actuaciones de promoción y educación para la salud en el sistema educativo. Guía para las administraciones educativas y sanitarias*. Ministerio de Educación, Política Social y Deporte y Ministerio de Sanidad y Consumo.
- OMS (1986). *Carta de Ottawa de Promoción de la Salud*. <https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.famp.es/export/sites/famp/galleries/documentos-obs-salud/CARTA-DE-OTTAWA.pdf>
- OMS (1997). *Declaración de Yakarta para adaptar la promoción de la salud al siglo XXI*. (Adoptada en la Cuarta Conferencia Internacional sobre Promoción de la Salud, 21-25 de julio de 1997, Yakarta, República de Indonesia). https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA51/said2.pdf
- OMS (2021). *La 10.ª Conferencia Mundial de Promoción de la salud señala un camino para crear “sociedades del bienestar”*. <https://www.who.int/es/news/item/15-12-2021-10th-global-conference-on-health-promotion-charters-a-path-for-creating-well-being-societies>
- OMS (2021). *COP26 Special Report on Climate Change and Health: The Health Argument for Climate Action*. <https://www.who.int/publications/i/item/cop26-special-report>
- Radua, J., De Prisco, M., Oliva, V., Fico, G., Vieta, E., Fusar-Poli, P. (2024). Impact of air pollution and climate change on mental health outcomes: an umbrella review of global evidence. *World Psychiatry*, 23 (2), 244-256. doi: 10.1002/wps.21219. PMID: 38727076; PMCID: PMC11083864.

- SEMFyC (2022). *Qué hacer y no hacer en salud planetaria*. SEMFyC.
- SEMFyC (2023a) *Semana del autocuidado*. SEMFyC. <https://www.semfyc.es/storage/wp-content/uploads/2023/10/Semana-Autocuidado-Farmacos-6.pdf>
- SEMFyC (2023b) *Semana del autoriuidado. Cuidate, cuidando el planeta*, SEMFyC. <https://www.semfyc.es/actualidad/semana-autocuidado-dieta-planetaria>
- Stern, R. L., Wang, C. (2020). Atmospheric nitrogen oxides (NO₂) in coastal regions. *Atmos Environ*, 223, 117-128.
- Turibiána, J. L., Pérez-Franco, B. (1998). ¿Cuál es el sentido de la educación para la salud y las actividades «comunitarias» en atención primaria? *Atención Primaria*, 22, 662-666.
- UNESCO (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivos de aprendizaje*. UNESCO.
- Zhu, D.; Hewage, K. (2016). Municipal solid waste management and sustainability indicators: a systematic review. *Resources, Conservation and Recycling*., 108, 9-18. doi:10.1016/j.resconrec.2015.11.006.

ECOFEMINISMO, SOSTENIBILIDAD Y EDUCACIÓN. ANÁLISIS DE LA Tensión CURRÍCULO-EVALUACIÓN EN EL BACHILLERATO Y LA PAU EN ASTURIAS

ÁNGELA OTERO DEL CASTILLO
Universidad Camilo José Cela

1. INTRODUCCIÓN

La crisis climática y ecosocial constituye uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo. No se trata únicamente de un problema ambiental, sino de un entramado de dimensiones sociales, económicas y culturales que cuestionan la viabilidad de nuestras formas de vida. En los últimos años, diferentes autores han descrito la situación actual como una polícrisis marcada por el aumento de las desigualdades, el debilitamiento de los servicios públicos y el agravamiento de fenómenos ambientales como el cambio climático o la pérdida de biodiversidad (Assadourian, 2017; González, 2018; González y Gómez, 2023; Marcén, 2023). Frente a este panorama, el enfoque ecofeminista se presenta como una potente herramienta para repensar la enseñanza, situando en el centro la interrelación entre las dimensiones ecológicas, sociales y económicas. Este enfoque parte de reconocer dos nociones clave: la ecoddependencia, que hace visible nuestra dependencia radical de los sistemas naturales, y la interdependencia, que pone de relieve los vínculos de cuidado y apoyo mutuo entre las personas (Herrero, 2016, 2022).

La perspectiva ecofeminista resulta especialmente valiosa para articular estas nociones en la educación, ya que une la crítica al modelo de desarrollo insostenible con la denuncia de las desigualdades de género. Desde este enfoque, los cuidados y la sostenibilidad de la vida se convierten en ejes fundamentales para repensar los contenidos educativos y la organización social (Gutiérrez, 2024; Herrero, 2022). Además, como plantean Assadourian (2017) y Díaz-Salazar (2017), una

educación orientada hacia la sostenibilidad requiere aprendizajes profundos, creativos y colectivos, capaces de impulsar tanto la reflexión crítica como la acción comunitaria transformadora. En este contexto, la educación desempeña un papel decisivo: no solo como transmisora de conocimientos, sino como espacio de construcción de ciudadanías críticas y comprometidas con la sostenibilidad.

La formación de una ciudadanía crítica, responsable y comprometida constituye uno de los fines principales de los sistemas educativos contemporáneos. Tanto la normativa internacional como la legislación española inciden en que la educación debe ir más allá de la transmisión de conocimientos, orientándose a preparar al alumnado para afrontar los desafíos sociales y ambientales de nuestro tiempo. En este sentido, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2015) y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) destacan la necesidad integrar de manera transversal la sostenibilidad, la igualdad y la justicia social en los currículos. En España, esto se refleja en la reforma educativa y la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE), que incorpora explícitamente referencias a la sostenibilidad, la igualdad de género y ODS, así como el compromiso cívico con el planeta y las personas.

Aunque el término ecofeminismo no aparece en los documentos curriculares, muchos de sus principios sí lo hacen: ecodependencia, interdependencia, igualdad entre mujeres y hombres y erradicación de desigualdades y discriminaciones en torno a sexo, raza, origen, etnia..., responsabilidad compartida ante la crisis ambiental y desarrollo de una conciencia cívica, responsable y con capacidad crítica... Adoptar un enfoque ecofeminista en educación permitiría articular una mirada transversal que llevase estas concreciones curriculares más allá de conceptos inconexos y descontextualizados, promoviendo cambios actitudinales reales (Gough, 2024; Gutiérrez, 2022; Herrero, 2022; Siegel, 2024).

Ahora bien, la experiencia cotidiana en el aula no depende solo del currículo oficial. En segundo de Bachillerato, el peso de la prueba de acceso a la universidad (PAU) orienta buena parte de la enseñanza hacia los contenidos que se evalúan en ella. Esto podría un posible desfase:

que lo que aparece en los decretos podría quedar relegado si no encuentra reflejo en la evaluación externa.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo persigue un doble objetivo. En primer lugar, analizar la presencia de enfoques ecosociales y ecofeministas en el currículo de segundo de Bachillerato, atendiendo tanto a los objetivos generales y al perfil de salida como a los elementos curriculares de las materias comunes (competencias específicas, criterios de evaluación y saberes básicos). El interés radica en identificar en qué medida el marco normativo vigente incorpora referencias explícitas a la sostenibilidad, la igualdad de género, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), así como a nociones relacionadas con la interdependencia, ecodpendencia y justicia social.

En segundo lugar, se plantea examinar hasta qué punto dichos enfoques se encuentran presentes en las pruebas de acceso a la universidad (PAU) en Asturias, analizando los exámenes oficiales de las últimas convocatorias y el modelo publicado para 2025. Con ello se busca valorar la coherencia entre lo establecido en el currículo y lo efectivamente evaluado.

De manera más amplia, este estudio aspira a contribuir a la reflexión sobre la relación entre currículo y evaluación en el marco de la educación para la sostenibilidad de la vida y a explorar el potencial de la perspectiva ecofeminista como lente analítica para identificar brechas, incoherencias y oportunidades de mejora en el sistema educativo en un contexto de crisis global polifacética.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ECOFEMINISMO

El ecofeminismo tiene su origen en los años 1970, cuando fue acuñado en 1974 por Françoise d'Eaubonne en su libro *Le féminisme ou la mort* (1974/2024). Se configura como un marco teórico y político que vincula la crítica feminista al patriarcado con la crítica ecologista al modelo de desarrollo hegemónico, sostenido que las lógicas de dominación que subordinan a las mujeres y las que explotan a la naturaleza son

paralelas y responden a una misma matriz cultural (Herrero, 2016; Mies y Shiva, 1997; Puleo, 2011).

Una de las aportaciones centrales del ecofeminismo es el cuestionamiento de las dicotomías clásicas de la modernidad occidental (cultura/naturaleza, razón/emoción, humano/no humano, masculino/femenino) que han legitimado jerarquías, exclusiones y discriminaciones y que han favorecido una mentalidad de abstracción del ser humano/hombre frente al resto de seres vivos y de la Tierra de la somos parte (Gaard, 2017; Herrero, 2022; Puleo, 2011). Esta crítica no se limita a señalar desigualdades, sino que apunta a la necesidad de transformar los modelos civilizatorios hacia paradigmas que reconozcan la ecoddependencia (la dependencia de los ecosistemas para la supervivencia) y la interdependencia (la necesidad de los cuidados y de la cooperación entre las personas) como principios básicos de la vida (Herrero, 2016, 2022).

En conjunto, el ecofeminismo propone una reorientación ética y política en la que el progreso no se mida únicamente en términos de crecimiento económico, sino en función de la capacidad de garantizar la sostenibilidad de la vida en todas sus formas.

3.2. EDUCACIÓN, ECOFEMINISMO, SOSTENIBILIDAD

La conexión entre ecofeminismo, sostenibilidad y educación se apoya en la necesidad de formar a las nuevas generaciones para afrontar los desafíos de la crisis climática y ecosocial. El ecofeminismo no se limita a añadir una perspectiva de género a la educación ambiental, sino que plantea un marco integral en el que justicia social, igualdad de género y sostenibilidad ecológica son dimensiones inseparables (Gough, 2021, 2024; Herrero, 2022).

En el plano pedagógico, la incorporación de la perspectiva ecofeminista implica promover metodologías activas que conecten el aprendizaje con problemas reales del entorno. Estrategias como el aprendizaje-servicio, los proyectos interdisciplinarios o el trabajo con comunidades permiten que el alumnado desarrolle no solo competencias técnicas, sino también actitudes de corresponsabilidad, empatía y compromiso social (Gutiérrez, 2024). Este enfoque responde a la idea de que educar no consiste

únicamente en transmitir información, sino en cultivar capacidades para actuar como agentes de cambio en contextos de crisis múltiple.

Si bien el currículo oficial ha acogido profundamente los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la educación para la sostenibilidad, puede observarse un foco en la sostenibilidad orientada al desarrollo, al progreso y al crecimiento económico. Se vislumbra una tendencia a descontextualizar la crisis ecológica, enfocarse en soluciones parciales e individuales que no critica los modelos actuales, invisibilizar los trabajos reproducción y mantenimiento de la vida que no están sujetos al mercado, mantener una postura etnocéntrica y, en general, ocultar las acciones de interdependencia y ecodependencia en favor de la mirada productiva (Iverson, 2015; Gough, 2021; Herrero, 2022). En este sentido, el ecofeminismo puede complementar y profundizar los Objetivos de la Agenda 2030.

El ecofeminismo invita a revisar críticamente los contenidos curriculares. Desde esta perspectiva, se propone superar la visión meramente ambiental e individual para integrar también los aspectos socioeconómicos de la crisis global, lo que implica ampliar el conocimiento (atendiendo a relaciones de poder, opresiones y antropocentrismo), la conciencia (cuestionando prejuicios y valores propios) y las capacidades (formando a agentes de cambio capaces de afrontar factores sistémicos) impulsando, además, la problematización de las ausencias en los programas educativos resultan esenciales para evitar la invisibilización de perspectivas históricamente marginadas (Iverson, 2015; Melero-Aguilar y Limón-Domínguez, 2017). El ecofeminismo sitúa en el centro de la educación la sostenibilidad de la vida. Educar desde este enfoque significa formar a los y las estudiantes en la comprensión de los límites del planeta, en la ética de los cuidados y en la construcción de sociedades más justas. Supone pasar de una visión instrumental de la educación a una concepción transformadora orientada a la justicia ecosocial y a la convivencia democrática en un mundo atravesado por el cambio climático y la desigualdad (Herrero, 2022; Siegel, 2024).

Como defiende Herrero (2022), se hace necesario desarrollar un currículo que “ponga la vida en el centro” (p.117) y aplicar la mirada ecofeminista con el fin de educar en la pertenencia a la trama de la vida (“somos naturaleza y pertenecemos a la Tierra” (p.93)), en reconocer los

límites, desde los cuidados, el apoyo mutuo y la cooperación, educando en responsabilidad y compromiso con los derechos y obligaciones, desde la no violencia. Especialmente, educar para ejercer la libertad de manera consciente con la ecodependencia e interdependencia y practicando la esperanza activa, la imaginación, la memoria y la empatía.

3.3. EDUCACIÓN FORMAL Y EVALUACIÓN EXTERNA

La evaluación, en sus diversas variantes, resulta parte fundamental y básica del proceso de todo proceso enseñanza/aprendizaje. En el caso de la educación formal, su papel tiende a cobrar aún más importancia, siendo la referencia para el progreso del alumnado a través de los distintos cursos y etapas educativas. Así, como pieza clave en el desarrollo curricular y la programación educativa, resulta condicionante a la hora de tomar decisiones respecto a otras piezas de este proceso como los contenidos, la metodología o la temporalización (Nieda et al., 2004). Si bien también puede ser condicionada la manera de evaluar por estos otros componentes curriculares, la influencia de la evaluación sobre aquellos puede verse magnificada cuando se trata de pruebas externas asociadas al cambio de etapa (Oliva et al., 2018). En este sentido, la Prueba de Acceso a la Universidad tiene una posición de referencia entre las pruebas de evaluación externa de España, siendo la que condiciona la entrada a la educación superior y establece la distribución y categorización del alumnado en esta nueva etapa educativa.

De esta manera, la PAU puede tener influencia en las decisiones pedagógicas del profesorado, así como del centro, que pueden establecer como prioritarios los buenos resultados en la prueba como exponente de buenas prácticas educativas (Ruiz de Gauna et al., 2013), optando así por destacar determinados contenidos, metodologías tradicionales o relegando a un segundo plano la innovación, creatividad y potencialidad docente (Berliner, 2011; Luzarraga Martín et al. 2024).

No solo eso, sino que la elección de contenidos de los exámenes de la Prueba de Acceso a la Universidad puede incurrir en sesgos (Franco-Mariscal et al., 2015) que, a su vez, podrían trasladarse al aula al asignar, tanto estudiantes como docentes, una mayor relevancia a los contenidos

curriculares que se incluyen en estas pruebas frente a otros menos favorecidos (Banet, 2007; Luzarraga Martín et al. 2024; Oliva et al., 2018).

En este marco, la ausencia o presencia (y la manera en se introduzcan) de perspectivas que adopte la mirada ecofeminista y ecosocial de una manera integradora y transversal en la evaluación y, más específicamente, las pruebas externas, no solo podría condicionar qué contenidos se priorizan en el aula y en el proceso enseñanza-aprendizaje, también qué visiones del mundo se legitiman como valiosas en la formación del alumnado y de una ciudadanía responsable.

4. METODOLOGÍA

Este estudio adopta un enfoque de análisis documental cualitativo, complementado con recuentos descriptivos de frecuencias para visualizar patrones. El objetivo no fue cuantificar exhaustivamente, sino identificar la presencia, ausencia o invisibilización de determinadas perspectivas en el currículo y en la evaluación.

4.1. CORPUS DE ANÁLISIS

Por un lado, se utilizaron los marcos legislativos oficiales relativos a la etapa y el contexto educativo de interés para el estudio. Así, se tuvieron en cuenta los preceptos del currículo oficial español tal y como los recoge la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación; el Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato y, debido al carácter geográfico específico del estudio, el Decreto 60/2022, de 5 de agosto, por el que se establece la ordenación y el currículo del Bachillerato en el Principado de Asturias. En estos marcos normativos se revisaron los objetivos generales, Competencias clave y Perfil de salida, competencias específicas, criterios de evaluación y saberes básicos de materias comunes (Historia de España, Historia de la Filosofía, Lengua Castellana y Literatura II, Lengua Extranjera II)

Por otro lado, se analizaron los contenidos y estructura de evaluación externa en la Prueba de Acceso a la Universidad de los exámenes de

acceso público a través de la Universidad de Oviedo, Asturias, para las materias comunes mencionadas con anterioridad. De esta manera, se analizaron un total de 16 pruebas pertenecientes a las materias de Historia de España, Historia de la Filosofía, Lengua Castellana y Literatura II y Lengua Extranjera II (Inglés), consistentes en los exámenes de la convocatoria ordinaria y extraordinaria 2023/24, los exámenes de la convocatoria ordinaria 2024/25 y el modelo definitivo de examen para el curso 2025 publicado por la Universidad de Oviedo. Se seleccionaron estas convocatorias porque son las que se acogen a la LOMLOE.

Asimismo, se analizaron las muestras de exámenes corregidos publicados por la Universidad de Oviedo que sirven de plantilla de corrección a los tribunales evaluadores de las pruebas, incluyéndose en estos modelos de respuesta, criterios de evaluación e ítems de calificación.

4.2. PROCEDIMIENTO

A raíz del estudio de textos y autoras desarrollado en el marco teórico, se elaboró un listado de conceptos base vinculados a las perspectivas ecosocial y ecofeminista y su papel en la educación, incluyendo: sostenibilidad, cambio climático, ODS, igualdad de género, diversidad, interdependencia, codependencia, justicia social, movimientos sociales, valores críticos, derechos humanos.

Por un lado, se identificó, tanto en el currículo como en los exámenes, menciones explícitas a estos términos o expresiones relacionadas con los mismos. Por otro lado, se realizó un análisis de discurso de las distintas secciones de las asignaturas comunes tal como son presentadas en el currículo para comprobar las posibles conexiones dialógicas con visiones parejas a la sostenibilidad de la vida y el ecofeminismo o, en su defecto, orientadas a la visión productiva predominante.

En el caso de los exámenes, además de menciones explícitas a los términos base, se consideró la presencia de textos, preguntas o autores/as que incorporaran estas perspectivas, aunque fuese indirectamente. Se comprobó también la presencia de mujeres entre las listas de autores incluidos en las preguntas de los exámenes con el fin de contrastar posibles brechas de género.

La estructura, apertura de las preguntas y posible relación de las preguntas y textos con las visiones ecofeminista y ecosocial, se contrastó, a su vez, con el modelo de respuestas publicado desde la Universidad de Oviedo para cotejar en qué manera los criterios de evaluación y las respuestas modelo tenidas en cuenta por las personas evaluadoras incluían estas perspectivas de estudio y su cabida a la hora de guiar las expectativas docentes.

4.3. LIMITACIONES

Este estudio presenta una serie de limitaciones que conviene señalar para contextualizar adecuadamente sus resultados. En primer lugar, el análisis se circunscribe al caso de Asturias, lo que implica que los hallazgos no son directamente extrapolables al conjunto del sistema educativo español. Cada Comunidad Autónoma cuenta con desarrollos normativos propios y con dinámicas específicas en la elaboración y corrección de las pruebas de acceso a la universidad, lo que puede generar variaciones entre las mismas.

Asimismo, la selección de materias se restringió a las asignaturas comunes del Bachillerato por considerar que constituyen el núcleo formativo común de todo el alumnado. No obstante, este criterio excluye otras materias específicas y optativas, donde también encontramos referencias relevantes a la sostenibilidad o la igualdad de género en la ordenación curricular.

Finalmente, cabe subrayar que el análisis se centra en los documentos oficiales, sin acceso a los procesos internos de elaboración de los exámenes ni a la práctica docente real en las aulas. Ello impide captar otras posibles formas de integración del enfoque ecofeminista en el día a día escolar, así como las mediaciones que los y las docentes introducen en su labor pedagógica.

En conjunto, estas limitaciones no invalidan los hallazgos, pero sí invitan a interpretarlos como una aproximación exploratoria y contextualizada, que abre la puerta a futuras investigaciones comparativas entre Comunidades Autónomas, a estudios longitudinales sobre la evolución de la PAU y a indagaciones empíricas sobre las prácticas docentes en el aula.

5. RESULTADOS

Los resultados del análisis se organizan en dos apartados: en primer lugar, la presencia de enfoques ecosociales y ecofeministas en el currículo de segundo de Bachillerato en Asturias; en segundo lugar, su reflejo en los exámenes de la PAU de las materias comunes analizadas. El objetivo es identificar la coherencia entre lo establecido normativamente y lo evaluado externamente.

5.1. EL CURRÍCULO DE SEGUNDO DE BACHILLERATO

El análisis del Decreto 60/2022 muestra una integración explícita de enfoques ecosociales en múltiples niveles. En los objetivos generales de la etapa de Bachillerato, un 40% presenta referencias directas a algunos de los conceptos clave para la perspectiva ecosocial. Así, por ejemplo, el objetivo a) llama a ejercer una ciudadanía democrática con conciencia cívica y corresponsable con la construcción de sociedades justas; el c) alude al fomento de la igualdad de género y la erradicación de discriminaciones en torno a sexo, raza...; el j) relaciona ciencia y tecnología con el respeto al medio ambiente; el o) menciona “la actitud responsable y comprometida en la lucha contra el cambio climático y en la defensa del desarrollo sostenible.” (p.8).

Asimismo, todas las Competencias Clave (incluyendo en el análisis los descriptores operativos del perfil de salida de Bachillerato) incorporan, en mayor o menor medida, menciones a cuestiones como el aprecio a la diversidad, la cohesión social y la convivencia democrática, la lucha contra la discriminación... Podemos señalar, en este aspecto, la mención directa en los descriptores de la Competencia STEM a ser capaces de evaluar los productos de acuerdo a “la sostenibilidad y el impacto transformador en la sociedad”, así como a “preservar el medio ambiente y los seres vivos, practicando el consumo responsable, aplicando principios de ética y seguridad para crear valor y transformar su entorno de forma sostenible adquiriendo compromisos como ciudadano en el ámbito local y global” (p.23); cuestión similar a la incluida en la Competencia Digital en torno al desarrollo y uso ético y sostenible de las tecnologías.

Destaca, sin duda, la Competencia Ciudadana (CC), con sus alusiones directas a desarrollar una ciudadanía cívica y responsable que participe de manera activa en aspectos sociales y políticos de la vida, interiorice valores democráticos, los derechos humanos y una vida sostenible en línea con los ODS. Esta Competencia hace referencia directa a algunos de los conceptos claves de la filosofía ecofeminista, incluyendo los términos interdependencia y ecodependencia:

- CC1. Analiza hechos, normas e ideas relativas a la dimensión social, histórica, cívica y moral de su propia identidad, para contribuir a la consolidación de su madurez personal y social, adquirir una conciencia ciudadana y responsable, desarrollar la autonomía y el espíritu crítico, y establecer una interacción pacífica y respetuosa con los demás y con el entorno.
- CC2. Reconoce, analiza y aplica en diversos contextos, de forma crítica y consecuente, los principios, ideales y valores relativos al proceso de integración europea, la Constitución Española, los derechos humanos, y la historia y el patrimonio cultural propios, a la vez que participa en todo tipo de actividades grupales con una actitud fundamentada en los principios y procedimientos democráticos, el compromiso ético con la igualdad, la cohesión social, el desarrollo sostenible y el logro de la ciudadanía mundial.
- CC3. Adopta un juicio propio y argumentado ante problemas éticos y filosóficos fundamentales y de actualidad, afrontando con actitud dialogante la pluralidad de valores, creencias e ideas, rechazando todo tipo de discriminación y violencia, y promoviendo activamente la igualdad y corresponsabilidad efectiva entre mujeres y hombres.
- CC4. Analiza las relaciones de interdependencia y ecodependencia entre nuestras formas de vida y el entorno, realizando un análisis crítico de la huella ecológica de las acciones humanas, y demostrando un compromiso ético y ecosocialmente responsable con actividades y hábitos que conduzcan al logro

de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la lucha contra el cambio climático. (Real Decreto, 243/2022, p.25).

Por otro lado, también los distintos contenidos curriculares de las materias comunes de Bachillerato hacen múltiples menciones a estas perspectivas de estudio. En la tabla 1, podemos observar las competencias específicas, criterios de evaluación y bloques de saberes básicos que incluyen alusiones a los conceptos tratados.

TABLA 1. *Resultados análisis curricular*

Materia	Competencias específicas	Criterios de evaluación	Saberes básicos
Historia de España	3, 4, 7. Sostenibilidad, cohesión territorial, justicia social, igualdad de género	3.2, 4.2, 4.3, 7.1, 7.2 Énfasis en ciudadanía crítica, prevención de la desinformación	Bloques A, B, C Comportamiento eco-social, interdependencia y reciprocidad, justicia social, ODS, movimientos feministas...
Historia de la Filosofía	7 Reflexión crítica sobre libertad, igualdad, democracia	7.1 Consideración de autoras, aportaciones a debates éticos y sociales	Bloques A, C Incorporación de pensadoras y problemáticas vinculadas a justicia social y feminismo
Lengua Castellana y Literatura II	10 Tomar la palabra como ciudadanía crítica, sostenibilidad, erradicación de violencias, desigualdades...	10.1, 10.2 Análisis de discursos sobre igualdad, abuso de poder, resolución de conflictos, búsqueda de consensos...	Bloques A, C Referencia a autoras, diversidad y problemáticas contemporáneas.
Lengua Extranjera II (Inglés)	6 Conciencia intercultural, responsabilidad ciudadana global, sostenibilidad, valores democráticos...	6.1, 6.2, 6.3 Empatía, rechazar discriminación, valorar la diversidad, sostenibilidad y democracia, valores ecosociales...	Bloque C Relaciones interpersonales, globalización, diversidad, valores ecosociales y democráticos, actuación ante discriminación...

Fuente: Elaboración propia

Si nos adentramos más en detalle al currículo de las distintas asignaturas, es de destacar, también, el texto introductorio a las materias, de donde se pueden extraer propuestas que resultan de gran interés desde una visión ecosocial y ecofeminista.

La asignatura de Historia de España, como recoge el Decreto 60/2022, llama a estudiar la historia y el presente a través del análisis del “progreso y el crecimiento económico, desde la perspectiva de la sostenibilidad, la cohesión territorial y la justicia social, así como la visión de la diversidad social o de la igualdad de género a lo largo del tiempo” (p.234). Por su parte, en Historia de la Filosofía se establece la necesidad de “reparar el agravio histórico con respecto a aquellas mujeres filósofas que han sido injustamente marginadas en el canon tradicional por su simple condición de mujer” (p.245) y da especial importancia al pensamiento feminista, clave en el desarrollo de la historia reciente. Asimismo, considera preciso abordar propuestas filosóficas que reflexionen sobre los derechos humanos, los problemas del abuso ambiental y a eliminar desigualdades.

En Lengua Castellana y Literatura II se destaca el papel del lenguaje en la construcción de sujetos cívicos que toman parte activa y comprometida en la sociedad y “el desarrollo sostenible, la defensa de los derechos humanos y la convivencia igualitaria, inclusiva, pacífica y democrática” (p.490). Lengua Extrajera II, considera el aprendizaje de lenguas una actividad en línea con los ODS, especialmente el 4, y necesaria para superar prejuicios desde una perspectiva intercultural e interlingüística que evite que “las fronteras supongan un obstáculo a la educación” (p.307), considerando a los estudiantes agentes sociales que deben formar parte íntegra y activa de la sociedad, contribuyendo a la resolución de los desafíos del s. XXI, trabajando en torno al desarrollo sostenible y convirtiéndose en una ciudadanía crítica, ética y responsable.

Vemos cómo el currículo ofrece un marco normativo que legitima y promueve la inclusión de la sostenibilidad, la igualdad de género y la ciudadanía crítica en el proceso educativo y hace mención a los conceptos de interdependencia y ecodependencia, base teórica de la filosofía ecofeminista.

5.2. LOS EXÁMENES DE LA PAU

En contraste con el currículo, los exámenes asturianos de la Prueba de Acceso a la Universidad analizados muestran una presencia escasa y desigual de enfoques ecosociales. Solo 7 pruebas contienen alguna mención explícita a los conceptos clave y, cuando aparecen, lo hacen en una única pregunta por examen, de un total que oscila entre 6 y 15 preguntas. Es reseñable que, si bien varias de las preguntas de los exámenes podrían relacionarse directa o indirectamente con cuestiones de justicia social, sostenibilidad, perspectiva de género... estas no son tomadas en cuenta en los exámenes corregidos, los ítems de calificación y las respuestas modelo que sirven de base al tribunal evaluador de los exámenes. Asimismo, se encuentra una fuerte desigualdad en la inclusión de autores hombres frente a autoras mujeres. Por último, es notable una diferencia entre asignaturas a la hora de incluir estas temáticas directa o indirectamente, con Lengua Extranjera Inglés destacando sobre las demás.

TABLA 2. *Resumen de resultados en pruebas PAU*

Materia	Nº pruebas analizadas	Presencia ecosocial/ ecofeminista
Historia de España	4	Muy baja; posibilidad de referencia, falta importante de inclusión en los ítems de calificación. Una pregunta sobre sufragio femenino.
Historia de la Filosofía	4	1/4 con mención a género; sin mención a sostenibilidad; fuerte desigualdad autoras/autores (3/20)
Lengua Castellana y Literatura II	4	1/4 con referencia directa (moda justa, medioambiente, papel de la mujer); falta de autoras (6/51)
Lengua Extranjera II (Inglés)	4	3/4 con textos sobre slow life, ciudadanía responsable, igualdad y ecologismo

Fuente: Elaboración propia

En el caso de Historia de España, destaca que, si bien algunas preguntas podrían relacionarse de forma indirecta con cuestiones de índole

ecosocial y ecofeminista, los ítems de evaluación compartidos por la Universidad de Oviedo omiten totalmente esta posibilidad.

En el examen junio 2024 no se realiza ninguna mención ni en las preguntas ni en las respuestas a cuestiones medioambientales o de igualdad de género ni justicia social ni se tienen en cuenta en los criterios para evaluarlas. En la convocatoria de julio de ese año, aunque se podrían responder ciertas preguntas desde una perspectiva ecosocial y ecofeminista, (“Analice la política respecto a América en el siglo XVI y sus consecuencias para España, Europa y la población americana”; “Explique las causas y el desarrollo del proceso de independencia de las colonias americanas en el siglo XIX”), no se incluyen en los ítems de términos clave cuestiones de sostenibilidad, pese a incluir “metales preciosos” o “desarrollo del capitalismo”, y se pierde oportunidad de hacer relación con las relaciones temporales en cuanto a la presente explotación de la tierra y los cuerpos, así como se omite perspectiva de género. En junio de 2025, encontramos dos preguntas en las que se podría realizar un análisis de perspectiva ecosocial (red de ferrocarriles y procesos políticos de los 80 y 90 en España); sin embargo, entre los ítems de calificación se pierde la oportunidad de hacer mención a cuestiones de índole ecosocial. El modelo de examen 2025 sí presenta un análisis de texto basado en un discurso de Clara Campoamor acompañado de una pregunta sobre el sufragio femenino.

Historia de la Filosofía se desarrolla de forma parecida a la materia anterior. Si bien se incluyen varias preguntas que podrían relacionarse con el foco de estudio de este trabajo (“¿puede ser justa una sociedad con clases sociales?”; “enajenación del obrero en Marx...”), es la muestra de evaluación y los ítems de calificación los que omiten estas posibles perspectivas. Además, destaca una falta importante de inclusión de autoras: de 20 autores mencionados en las pruebas, tan solo 3 mujeres. En junio de 2025 se pregunta explícitamente por 5 autores hombres y solo por una mujer (Hannah Arendt). La pregunta sobre Arendt (opcional entre dos) se puede relacionar con conceptos de interrelaciones humanas, pero no aborda otras cuestiones ecosociales o ecofeministas. Solo en una de las preguntas breves (concepto de cuerpo relacionando un autor de filosofía antigua y uno contemporáneo) se menciona, en el examen

corregido, a una mujer (Simone de Beauvoir) y la perspectiva de género. En el modelo de 2025, de 6 autores se mencionan dos mujeres: Hannah Arendt y Mary Wollstonecraft, esta última relacionada con la reivindicación de los derechos de la mujer y si es compatible con el liberalismo político actual. También se pregunta por la filosofía de Marx y se pide un ejemplo actual, lo que podría relacionarse con temáticas ecosociales y ecofeministas. Resulta más completo, en este sentido y desde la óptica de interés de este estudio, el modelo que los exámenes finales.

En Lengua Castellana y Literatura II encontramos alusiones directas a cuestiones de género y sostenibilidad, además de la posible relación entre ambas, por lo que, si bien es una inclusión escasa entre el grueso de los exámenes, permite abordar directamente la perspectiva ecofeminista. Sin embargo, hay un importante y grave desajuste a la hora de incluir y mencionar autoras, frente a la alusión a autores masculinos, con tan solo 6 mujeres de un total de 51 autores mencionados. Las distintas convocatorias nos muestran lo siguiente:

En junio de 2024, destaca que una de las preguntas aborda, breve pero directamente, cuestiones de carácter ecofeminista, la prueba de lectura sobre *La moda justa*, de Marta D. Riezu, también la corrección modelo abordando la relación entre mujeres, moda justa, estilo de vida pausado... No obstante, en el examen corregido, además de a Riezu solo se menciona otra mujer (y tan solo como ejemplo), de un total de 21 autores. En julio, pese a que el texto a analizar – un artículo periodístico sobre la IA – podría relacionarse directa y profundamente con cuestiones ecosociales (menciona, por ejemplo, “limpiar la atmósfera”, “transgresión”, “límites humanos”...), destaca de nuevo la falta de inclusión de estos contenidos en el examen corregido, que lo centra en las funciones positivas de la nueva tecnología sin ahondar en cuestiones sociales. Se pregunta por “La narrativa española de la democracia: características, autores y obras.”, lo que podría abarcar cuestiones ecosociales y ecofeministas, pero no se hace; sí se añade, en el examen corregido, un párrafo relativo a autoras y sus obras. Se pregunta de nuevo sobre *La moda justa* de Riezu, esta vez orientando las preguntas hacia la vertiente medioambiental (“¿Qué provocó que la autora cambiase sus hábitos de compra de ropa?; ¿Cómo afecta al medioambiente la superproducción de

prendas de vestir?”). La corrección habla de la conciencia ecologista y el impacto ambiental de la moda. De 26 autores se mencionan 4 mujeres. En junio de 2025 el texto periodístico a analizar cubre cuestiones sobre turismo (turismofobia), el impacto de este, gentrificación, economía precaria, etc. lo que daría pie a tratar varias cuestiones ecosociales. Se mencionan dos autores, los dos hombres. En el modelo de 2025 no encontramos ninguna pregunta que se pueda relacionar con la perspectiva ecofeminista. Se mencionan dos autores, dos hombres.

Finalmente, los exámenes de Lengua Extranjera II (Inglés) destacan positivamente respecto al resto de materias, con inclusión directa a cuestiones medioambientales, ecologismo, movimientos sociales, interdependencia, consumo... Podemos observar que en junio de 2024 los dos temas de desarrollo (*slow living* y *social media*) están bastante relacionados con conceptos clave de la perspectiva ecosocial y ecofeminista: interrelaciones humanas, dinámicas sociales que fuerzan al hiperconsumo, etc. En julio de 2024 uno de los dos temas, "*Responsible citizenship*", aborda de lleno las cuestiones analizadas: "*Promoting global awareness also helps teenagers to learn about global problems like climate change, social inequalities, and human rights*" y una de las posibilidades de ensayo es "*Give your opinion about the following: Being a good citizen means preserving the environment*". En junio de 2025, el primero de los textos, "*Mass tourism*", está directamente relacionado con la visión ecosocial, mencionando el impacto en las poblaciones y el medioambiente del turismo masivo y la necesidad de aplicar un turismo sostenible que sea respetuoso con ambos. En el modelo de 2025, aunque ambos textos podrían relacionarse indirectamente con estas perspectivas ("*Bad holidays*", trata sobre viajar cuánto más lejos mejor para sacar fotografías, etc. en lugar de disfrutar lo cercano; y "*Shopping*" sobre el incremento de hipermercados y la actitud de la sociedad británica de comprar como pasatiempo), ninguno se enfoca realmente hacia una perspectiva ecosocial, sino que se trata de forma superficial: "¿qué piensas de comprar como pasatiempo?"; "¿cuál es tu idea de un viaje exitoso?"

Vemos, a través del análisis de estos exámenes, dos circunstancias en cierta manera llamativas: por un lado, si bien varias de las preguntas de los exámenes podrían orientarse, por parte del alumnado, hacia respuestas

que abordasen la mirada ecofeminista, tratando cuestiones de equidad, justicia social, género, dominación y explotación, consumo, relación con la naturaleza, interdependencia y ecodependencia... las fuentes de corrección que seguirán como modelo las personas evaluadoras –y especialmente en los exámenes que incluyen ítems concretos, como es el caso de Historia de España– omiten de manera significativa cualquier mención a estos conceptos. Por otro lado, hay un abismal desajuste entre la inclusión y mención de autores hombres y autoras mujeres, con estas siendo gravemente relegadas a un segundo plano y apareciendo solo puntualmente.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis realizado permite constatar una paradoja significativa en el sistema educativo asturiano, que podría ser extensible a otros contextos y que supondría una limitación importante, sumada a otras ya existentes, a la hora de implementar cambios significativos en la educación que permitan generar transformaciones sociales acordes a la policrisis actual: mientras que el currículo oficial del Bachillerato incorpora de manera explícita referencias a la sostenibilidad, a la igualdad de género, a los ODS y a nociones vinculadas con la perspectiva ecofeminista, como la interdependencia y la ecodependencia, las pruebas externas de acceso a la universidad muestran una presencia mucho más limitada y fragmentaria de estos enfoques. El estudio también pone de relieve una importante brecha de género persistente en la selección de autorías y referentes en las pruebas analizadas. Este desajuste no solo limita la coherencia entre documentos oficiales y evaluación, sino que perpetúa un canon académico marcadamente masculino que contradice los principios de igualdad formalmente establecidos.

Esta desconexión entre currículo y evaluación externa plantea riesgos considerables. La literatura en educación ha señalado reiteradamente que lo que se evalúa tiende a condicionar lo que se enseña y aprende en el aula (Banet, 2007; Franco-Mariscal et al., 2015 ; Luzarraga Martín et al. 2024; Niedo et al., 2004; Oliva et al., 2018;). En este sentido, la escasa inclusión de ciertos contenidos en los exámenes de la PAU puede contribuir a su invisibilización práctica, aun cuando el marco normativo habilite y fomente su desarrollo. El resultado es una suerte

de currículo oculto que, en la práctica, resta relevancia a aquellas dimensiones que deberían constituir ejes centrales de la formación ciudadana ante la crisis climática y social contemporánea. En este sentido, también es necesario, por otro lado, resaltar que el currículo, si bien introduce terminología que posibilitaría la adopción de enseñanzas transformadoras desde la mirada ecofeminista, la legislación tiende hacia una perspectiva individualizante y carente de crítica del modelo socioeconómico predominante basado en la cultura occidental, patriarcal y capitalista y lo que supone, realmente, el concepto de sostenibilidad desde una perspectiva de la trama vida y las dependencias y vulnerabilidades que permiten que esta continúe dentro de unos límites planetarios insondables (Herrero, 2022).

Desde un punto de vista práctico, los resultados sugieren la necesidad de repensar el diseño de las pruebas de acceso a la universidad, de manera que garanticen una mayor coherencia con el currículo vigente y con los compromisos en materia de sostenibilidad, diversidad, igualdad y conciencia crítica. Ello no implica necesariamente una ampliación de contenidos, sino una reorientación de los criterios de selección y formulación de las preguntas, incorporando de manera transversal la dimensión eco-social y feminista en los distintos ámbitos del saber. Esta reformulación, sería también apropiada en el currículo de una manera más integradora y menos sesgada, tal y como se ha defendido con anterioridad.

Asimismo, subrayamos la importancia de dotar al profesorado de una formación específica en sostenibilidad y ecofeminismo, entendida no como una carga adicional, sino como parte del desarrollo profesional reconocido institucionalmente y apoyado con los recursos adecuados. Solo de esta manera se podrá evitar que la incorporación de estas perspectivas quede en el plano retórico y se convierta, efectivamente, en un motor de transformación educativa. Esta necesidad se hace palpable en uno de los resultados principales del análisis: que las correcciones de examen que sirven de modelo a las personas evaluadoras también invisibilizan estas perspectivas y no les otorgan espacio para la calificación.

Finalmente, es preciso reconocer que los resultados aquí presentados se circunscriben a un estudio limitado. Futuras investigaciones comparativas entre comunidades autónomas, así como estudios longitudinales

que analicen la evolución de los exámenes en el tiempo, permitirán ampliar y matizar estas conclusiones. Igualmente, será relevante indagar en cómo el profesorado interpreta y traduce en su práctica diaria las tensiones entre currículo y evaluación.

7. REFERENCIAS

- Assadourian, E. (2017). Educación Ecosocial: cómo educar frente a la crisis ecológica. En: FUHEM Ecosocial (Ed.). La situación del mundo. Educación Ecosocial. Cómo educar frente a la crisis ecológica (25–47). Icaria editorial, S.A.
- Banet, E. (2007). Finalidades de la educación científica en Secundaria: opinión del profesorado sobre la situación actual. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 25(1), 5-20.
<https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/87858>
- Berliner, D. (2011). Rational responses to high stakes testing: The case of curriculum narrowing and the harm that follows. *Cambridge Journal of Education*, 41(3), 287- 302.
<https://doi.org/10.1080/0305764X.2011.607151>
- Decreto 60/2022, de 30 de agosto, por el que se regula la ordenación y se establece el currículo de Bachillerato en el Principado de Asturias. Boletín Oficial del Principado de Asturias, 169, de 1 de septiembre de 2022. <https://miprincipado.asturias.es/bopa/2022/09/01/2022-06714.pdf>
- Díaz-Salazar, R. (2017). El cambio ecológico de la educación. En: FUHEM Ecosocial (Ed.). La situación del mundo. Educación Ecosocial. Cómo educar frente a la crisis ecológica (319–329). Icaria editorial, S.A.
- d'Eaubonne, F. (2024). Feminismo o muerte (I. Uroz, Trans.). Manifest Llibres. (Trabajo original publicado en 1974).
- Franco-Mariscal, R., Oliva, J. M. y Gil-Montero, A. (2015). Análisis de contenido de las pruebas de acceso a la universidad en la asignatura de Química en Andalucía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 466-474. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.05
- Gaard, G. (2017). *Critical Ecofeminism*. Lexington Books.
- González, L. (Coord.) (2018). *Educación para la transformación ecosocial*. FUHEM.
- González, L. y Gómez, C. (2023). La transformación ecosocial de los centros educativos. En: M. Esteban Villar (Coord.). *Liderar una educación integral, sostenible e inclusiva. Fundamento teórico y Prácticas LEI* (340–359). Fundación Europea Sociedad y Educación.

- Gough, A. (2021). Listening to Voices from the Margins: Transforming Environmental Education. En: Russell, J. (eds) *Queer Ecopedagogies. International Explorations in Outdoor and Environmental Education*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65368-2_9
- Gough, A. (2024). *Gender and Environmental Education: Feminist and Other(ed) Perspectives*. The Selected Works of Annette Gough. Routledge.
- Gutiérrez, E. J. (2024). *Pedagogía del decrecimiento*. Ediciones Octaedro.
- Gutiérrez, J.M. (2022). *Competencia ecosocial. Crisis global, transición ecosocial y educación*. Bubok Publishing S.L.
- Herrero, Y. (2016). *Una mirada para cambiar la película. Ecología, ecofeminismo y sostenibilidad*. Ediciones Dyskolo.
- Herrero, Y. (2022). *Educación para la sostenibilidad de la vida. Una mirada ecofeminista a la educación*. Ediciones Octaedro.
- Iverson, S. V. (2015). The potential of ecofeminism to develop ‘deep’ sustainability competencies for education for sustainable development. *The Seneca Falls Dialogues Journal*, 1, 20-38. <https://fisherpub.sjf.edu/sfd/voll/iss1/4>
- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE). Boletín Oficial del Estado, 340, de 30 de diciembre de 2020. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>
- Luzarraga Martín, J. M., Cruz Iglesias, E. y Sáenz Arrizubieta, E. (2024). La Prueba de Acceso a la Universidad como factor condicionante en la orientación del bachillerato. *Contextos Educativos. Revista De Educación*, (33), 261–283. <https://doi.org/10.18172/con.5554>
- Marcén, C. (2023). Las imprescindibles transiciones social y educativa hacia la Agenda 2030. *Revista DIECISIETE*, 8, 47–62. doi:10.36852/2695-4427_2023_08.03
- Melero-Aguilar, N. y Limón-Domínguez, D. (2017). Educar en espacios comunitarios de participación, cooperación y ecodesarrollo desde una perspectiva ecofeminista. *Revista Electrónica Educare*, 21(1), 447-457. <https://doi.org/10.15359/ree.21-1.22>
- Mies, M. y Shiva, V. (1997). *Ecofeminismo. Teoría, crítica y perspectivas*. Icaria Editorial.
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución adoptada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

- Nieda, J., Cañas, A. y Martín-Díaz, M. J. (2004). Actividades para evaluar Ciencias en Secundaria. Aprendizaje Antonio Machado Libros.
- Oliva, J. M., Franco Mariscal, R. y Gil Montero, M. L. A. (2018). Influencia de las pruebas de acceso a la universidad en la metodología docente del profesorado de ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(1), 1-17. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.1.3197>
- Puleo, A. (2011). Ecofeminismo para otro mundo posible. Cátedra.
- Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, 82, de 6 de abril de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/04/05/243/con>
- Ruiz de Gauna Gorostiza, J. G., Dávila Balsera, P., Etxebarria Murgiondo, J. y Sarausa Fernández, J. S. (2013). Pruebas de selectividad en matemáticas en la UPV-EHU. Resultados y opiniones de los profesores. *Revista de Educación*, (362), 217-246. doi: 10.4438/1988-592X-RE-2011-362-159
- Siegel, L. (2024). Ecofeminism ↔ Intraconnectivism: working beyond binaries in environmental education. *Gender and Education*, 36(4), 328–344. <https://doi.org/10.1080/09540253.2024.2327429>
- Tolbert, S. (2025). Unforgetting ‘old’ materialisms: ecofeminist education for the Trumpocene. *Environmental Education Research*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/13504622.2025.2461659>

EDUCACIÓN SOCIOEMOCIONAL Y EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA LA SOSTENIBILIDAD

CARMEN VIZOSO-GÓMEZ
Universidad de León

1. INTRODUCCIÓN

La educación de calidad representa un reto fundamental en la Agenda 2030 porque contribuye al logro de los demás Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, en adelante) establecidos desde Naciones Unidas (2015, 2023). Los ODS forman parte del plan para velar por la prosperidad de la humanidad y la protección del planeta. En particular, se identifican 169 metas agrupadas en 17 ODS. El Objetivo número 4, que hace referencia a la necesidad de “Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos” (Naciones Unidas, 2015, p. 19), incluye la meta 4.7 donde se especifica el siguiente propósito:

que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles, los derechos humanos, la igualdad de género, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y la contribución de la cultura al desarrollo sostenible. (Naciones Unidas, 2015, p. 20)

Así mismo, en cuanto al ODS número 13, que incide en la obligación de “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”, destaca la meta 13.3 donde se insta a “mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana” (Naciones Unidas, 2015, p. 26).

También es imprescindible destacar el ODS número 15, donde se dispone la necesidad de proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

Por lo tanto, resulta evidente que la promoción del desarrollo sostenible y la lucha contra el cambio climático son contenidos primordiales que se han de abordar desde la educación para garantizar la formación de una ciudadanía responsable, íntegra, comprometida, global y justa.

Ahora bien, hay que aclarar que el término desarrollo sostenible está estrechamente relacionado con dos conceptos básicos (Novo, 2017):

- la noción de necesidades o recursos indispensables que precisan las personas para vivir y, por lo tanto, que deberían establecer el nivel mínimo de progreso o desarrollo al que aspirar,
- la noción de limitaciones o recursos finitos que aporta la Tierra, condicionada por la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades de todas las personas en la actualidad y en el futuro, que delimita la sostenibilidad o perdurabilidad del desarrollo marcando su nivel máximo.

Es decir, se debería favorecer el progreso (y no tanto el crecimiento económico) de las comunidades respondiendo a sus necesidades y respetando la finitud que caracteriza a los recursos naturales para que la humanidad y otras especies puedan convivir en la actualidad pero también en el futuro. Por consiguiente, Caride et al. (2025) sentencian que es necesario mantener una perspectiva temporal realista, considerando la situación ambiental actual pero también estimando cómo puede y deber ser el futuro de la vida en el planeta Tierra y, en definitiva tomar conscientes de la urgencia que apremia para adoptar medidas socioecológicas que permitan respetar la naturaleza.

No en vano, tal y como se expone desde las Naciones Unidas, los elementos naturales y los ecosistemas condicionan la vida en general y el bienestar humano en particular y, por ello, las personas deberían cuidar

el medio ambiente y hacer una adecuada gestión de los recursos naturales (Naciones Unidas, 2023).

En este sentido, en el Congreso Europeo sobre Educación Global en Europa 2050, celebrado en 2022 en Dublín, se estableció que para capacitar a la ciudadanía para dar una respuesta responsable, colectiva y ecológica ante los múltiples desafíos ambientales y climáticos se debe promover la Educación en el Desarrollo Sostenible y la Ciudadanía Global partiendo de esta premisa:

La Educación Global es una educación que permite a las personas reflexionar de forma crítica sobre el mundo y su lugar en él; para abrir los ojos, corazones y mentes a la realidad del mundo a nivel local y global. Empodera a las personas a entender, a imaginar, a tener esperanza y a actuar para alcanzar un mundo con justicia social y climática, paz, solidaridad, equidad e igualdad, sostenibilidad planetaria y comprensión internacional. Implica el respeto de los derechos humanos y la diversidad, la inclusión y una vida digna para todos y todas, ahora y en el futuro. (Red Europea de Educación Global, 2022, p. 3)

De igual modo, las temáticas acerca del desarrollo sostenible, del medio ambiente y de la emergencia climática se pueden abordar a través de la Educación Ambiental, la Educación para el Desarrollo Sostenible o la Educación Ambiental para la Sostenibilidad, como indican Carbonell-Alcocer y Gertrudix (2025).

Se puede definir la Educación Ambiental como una estrategia de acción educativa para promover cambios socioambientales a través del compromiso y la participación de la ciudadanía (Serantes-Pazos, 2017). A su vez, desde el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y el Ministerio de Educación y Formación Profesional, se aporta la siguiente descripción para el término Educación Ambiental para la Sostenibilidad (EAS):

La EAS hace referencia a todas las acciones y procesos de educación y formación, comunicación y participación orientados a desarrollar aprendizajes, reflexiones, actitudes y competencias para actuar frente la emergencia climática y ambiental, y ante el conjunto de los complejos retos socioambientales actuales, avanzando hacia una transición ecológica justa. (Oficina Española de Cambio Climático, 2021, p. 33)

En cualquier caso, desde la Educación, independientemente de su apellido, se debe impulsar una alfabetización ambiental crítica y una formación para la sostenibilidad mediante la enseñanza de las competencias indispensables que permitan afrontar emociones desagradables, tomar decisiones adecuadas y realizar acciones pertinentes frente a los desafíos ecosociales relacionados con la emergencia climática, la pérdida de biodiversidad, la contaminación, etc. En consecuencia, la educación y el aprendizaje motivan a las personas para comenzar a actuar y a superar las emociones negativas que desencadenan los problemas ambientales pero, a su vez, las acciones llevan a incrementar el conocimiento para trabajar con esperanza y con una actitud positiva (Franquesa et al., 2020).

Por otra parte, desde la UNESCO (2022) se adopta un enfoque holístico en defensa de una educación que tiene por objeto el desarrollo integral de las personas y la transformación de las sociedades, poniendo en valor aspectos cognitivos, éticos y socioemocionales, incluyendo el conocimiento y el sentimiento como motores del aprendizaje. Al mismo tiempo, se defiende que “la educación puede considerarse uno de los elementos centrales para ayudar a la humanidad a instaurar la paz entre sí y con la Tierra” (UNESCO, 2022, p. 50). En este sentido, se advierte sobre la necesidad de adoptar un cambio de rumbo radical y urgente para frenar la tendencia actual de destrucción ambiental y de pérdida de biodiversidad que son insostenibles para garantizar la supervivencia de la humanidad y de otras especies. Además, se asume que las personas presentan una ansiedad generalizada sobre su papel en el mundo y sobre la incertidumbre del futuro. No obstante, se propone que la Educación Emocional permite promover el cuidado del medioambiente, ya que contempla aspectos como la gestión de la ansiedad provocada por la crisis climática, la motivación para emprender las actuaciones necesarias para resolver dicha crisis o la promoción de la resiliencia y el bienestar (UNESCO, 2024).

Bien es cierto que en los últimos años se ha detectado un creciente interés en la literatura científica por el estudio acerca de diferentes emociones negativas como la ecoansiedad (i. e., ansiedad ambiental o ansiedad climática), que hace referencia a un estado emocional con diversas manifestaciones físicas y una preocupación por el futuro asociada al cambio climático y al estado del medioambiente (Anneser et al., 2024;

Franquesa, 2024; Lopez-Morinigo et al., 2025; Regalado y Medina, 2024). No obstante, si la ecoansiedad no se gestiona de forma adecuada, puede llegar a convertirse en un problema de salud mental. En este sentido, White et al. (2023) revisaron el impacto que puede tener la preocupación por el cambio climático a nivel mundial en la salud mental, especialmente en las poblaciones más vulnerables, y encontraron que existe un efecto directo en diferentes síntomas relacionados con la depresión, el estrés postraumático, la ecoansiedad, el consumo de sustancias, los trastornos del comportamiento, las tendencias suicidas, etc. Por el contrario, si el malestar emocional se afronta de forma adecuada puede suponer un incentivo para despertar el compromiso cívico e impulsar la práctica de acciones proambientales sostenibles y justas (Aneser et al., 2024).

En definitiva, se considera que Educación Ambiental, así como la Educación Global, la Educación para el Desarrollo Sostenible y la Educación Ambiental para la Sostenibilidad, deberían asumir un enfoque socioemocional para fomentar el desarrollo sostenible, el desarrollo personal integral y la justicia ecosocial. En este capítulo, se presenta el Modelo de Competencias Emocionales propuesto y reformulado por Rafael Bisquerra (Bisquerra, 2003, 2009; López-Cassà y Bisquerra, 2024) como un marco teórico de referencia para la educación ambiental.

2. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta lo expuesto, el objetivo primordial de este capítulo reside en aportar una perspectiva socioemocional a la Educación Ambiental para la Sostenibilidad tomando como referencia el Modelo de Competencias Emocionales.

3. METODOLOGÍA

Para alcanzar el propósito planteado se utiliza una metodología de naturaleza teórica basada en la revisión bibliográfica, el análisis documental y la exposición crítica y sintética de literatura especializada en las temáticas que son objeto de estudio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ALFABETIZACIÓN SOCIOEMOCIONAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Como ya se ha indicado en el apartado de introducción de este capítulo, la alfabetización socioemocional es fundamental para alcanzar una educación renovada y de calidad necesaria para promover el bienestar en los diversos contextos educativos (i. e., en aulas, escuelas, comunidades y sociedades) y para desarrollar la ciudadanía global que hará posible el desarrollo sostenible, tal y como se apunta desde la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2024).

Al mismo tiempo, desde el *Consortium for Academic, Social and Emotional Learning* (CASEL, 2024), se señala la relevancia de la gestión emocional y se destaca el valor de entender y dominar las habilidades sociales. De este modo se plantea que el aprendizaje social y emocional supone un proceso de adquisición de conocimientos, aptitudes y actitudes para utilizar las emociones de forma adaptativa, incrementar la empatía, construir redes de apoyo social y guiar la toma de decisiones. Este aprendizaje se da a lo largo de todo el ciclo vital y permite alcanzar un desarrollo personal integral.

Ya en nuestro país, el autor por excelencia en el estudio de la Educación Emocional es el catedrático Rafael Bisquerra Alzina, quien describe esta disciplina como “un proceso educativo, continuo y permanente, que pretende potenciar el desarrollo de las competencias emocionales como elemento esencial del desarrollo humano, con objeto de capacitarle para la vida y con la finalidad de aumentar el bienestar personal y social” (Bisquerra, 2017, p. 17).

De este modo, con la Educación Emocional se aspira a conseguir la alfabetización emocional, desencadenando conductas prosociales y éticas para facilitar la satisfacción con la vida a nivel individual y la fraternidad a nivel social (Bisquerra y Mateo, 2019). Los contenidos de la Educación Emocional incluyen estos aspectos (Bisquerra, 2011): las inteligencias múltiples, la inteligencia emocional, las competencias emocionales, las emociones y el bienestar.

Por lo tanto, la Educación Emocional es una estrategia pedagógica que permite abordar las amenazas para la convivencia y la supervivencia, como son la degradación ambiental, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, etc. Concretamente, desde la UNESCO (2022) se defiende que la Educación Socioemocional favorece la transformación social facilitando la adquisición de las siguientes competencias:

- comprender y expresar las emociones de forma eficaz,
- mostrar empatía y compasión hacia las demás personas,
- construir un sentido de identidad inclusivo,
- establecer relaciones interpersonales sanas y de apoyo mutuo,
- aportar respuestas de forma apropiada y contextualizada,
- tomar decisiones que respeten las normas éticas
- comprender las consecuencias de las acciones realizadas,
- cooperar para lograr objetivos personales y colectivos,
- convertirse en miembros comprometidos y participativos,
- contribuir al logro de objetivos profundos y complejos, como la construcción de sociedades sostenibles, saludables, justas, inclusivas y pacíficas.

Recientemente se ha definido la estrategia R.E.S.P.E.C.T, planteada para adoptar la educación socioemocional que contribuye al desarrollo sostenible denominada “Educación para la Sostenibilidad, la Paz, la Equidad y el Clima: Un Enfoque Intercurricular para el Desarrollo de Capacidades de Respuesta Transversales para el Bienestar Colectivo” (UNESCO, 2024, p. 62). Mediante esta estrategia educativa se pretende estimular el desarrollo de habilidades como la empatía, la resiliencia, la perseverancia, la responsabilidad, junto al respeto por el medio ambiente, la conciencia del impacto de las personas en el entorno y la reacción frente a sus consecuencias.

En definitiva, cuando se impulsa la Educación Emocional se facilita la comprensión de la interdependencia entre las personas y su entorno y además se consigue prevenir diversos problemas, como por ejemplo la crisis medioambiental o la exclusión social, para construir comunidades

saludables, justas y pacíficas y para respetar y cuidar el bienestar personal, social y planetario (UNESCO, 2024).

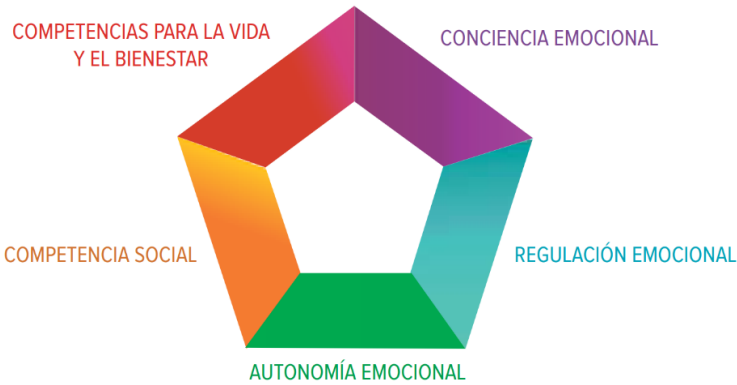
4.2. EL MODELO DE COMPETENCIAS EMOCIONALES

Teniendo en cuenta que la alfabetización socioemocional permite la adquisición de las competencias emocionales, es necesario aclarar qué significa este término.

Así pues, siguiendo la propuesta de Bisquerra (2017) se entiende que las competencias emocionales son “el conjunto de conocimientos, capacidades, habilidades y actitudes necesarias para comprender, expresar y regular de forma apropiada los fenómenos emocionales” (p. 57).

Según el Modelo de Competencias Emocionales (Bisquerra, 2011, 2017; Bisquerra y García, 2018), existen cinco bloques de competencias (tal y como se puede apreciar en la Figura 1).

FIGURA 1. *Representación del Modelo de Competencias Emocionales*



Fuente: Bisquerra y García (2018)

En concreto se plantea que cada uno de los bloques incluye los siguientes aspectos (Bisquerra, 2017):

- Conciencia emocional: saber nombrar las emociones; tomar conciencia de las emociones propias y ajenas; tomar conciencia de la interacción entre emoción y cognición y actuación; detectar las creencias, y asumir una conciencia ética y moral.

- Regulación emocional: expresar las emociones de forma apropiada; gestionar las emociones y los sentimientos; controlar las emociones con conciencia ética y moral; practicar el *Remind* (i. e., relajación, respiración, meditación y mindfulness); tolerar la frustración; adquirir estrategias de afrontamiento, y desarrollar la competencia para generar emociones positivas.
- Autonomía emocional: incrementar la autoestima, la automotivación, la autoeficacia emocional y la responsabilidad; adoptar una actitud positiva; practicar el pensamiento crítico; analizar de forma crítica las normas sociales; aceptar los valores éticos y morales, y desarrollar la resiliencia.
- Competencias sociales: respetar a las demás personas; manejar las habilidades sociales; adoptar una comunicación receptiva y expresiva; compartir emociones; practicar conductas prosociales y cooperativas; desarrollar la asertividad; prevenir y gestionar conflictos; desempeñar un liderazgo emocional, y crear climas emocionales positivos.
- Habilidades para la vida y el bienestar: establecer objetivos adaptativos; tomar decisiones adecuadas; buscar ayuda y recursos; practicar una ciudadanía participativa, activa, comprometida, responsable y crítica; disfrutar del bienestar emocional; fluir, y disfrutar de las emociones estéticas.

4.3. ¿QUÉ SON LAS EMOCIONES?

Es indispensable, llegado este punto, tratar de especificar qué son las emociones. Aunque este término resulta a veces confuso, se puede tomar como referencia la descripción que realiza Ortony (2022) quien presenta las emociones como estados mentales intencionales (porque son una respuesta a algo), conscientes (porque son reconocibles al asociarse a una experiencia), y que se pueden calificar con una valencia positiva o negativa.

Las emociones universalmente reconocibles a través del lenguaje no verbal son las llamadas emociones básicas (Ekman, 2003), es decir: la

ira, el miedo, la tristeza, la alegría, el disgusto o asco y la sorpresa. Todas son adaptativas porque permiten afrontar rápidamente los sucesos vitales primordiales sin necesidad de realizar una planificación elaborada de la reacción o la respuesta ante su aparición.

Desde el punto de vista de la Educación Emocional se puede establecer una clasificación formulada por Bisquerra (2017) y basada en familias o grupos de emociones que configuran lo que él denomina un Universo de emociones. En concreto, este autor distingue entre emociones negativas, emociones positivas y emociones ambiguas.

Entre las emociones negativas destaca el miedo (que representa una familia que incluye otras emociones como el pánico, el susto, la fobia, etc.), la ira (junto a la hostilidad, el odio, los celos, etc.), la tristeza (junto a la depresión, la melancolía, la morriña, etc.), el asco (junto al desprecio, el rechazo o la repugnancia) y la ansiedad (con la angustia, el estrés, el anhelo, etc.). Por otra parte, entre las emociones positivas presenta la alegría (junto a la diversión, la gratificación, la satisfacción, etc.), el amor (junto al cariño, la gratitud, la compasión, etc.) y la felicidad (con la serenidad, la plenitud o la placidez). Por último, las emociones ambiguas estarían representadas por la sorpresa (junto a la confusión, la perplejidad, la admiración, etc.), las emociones sociales (con la vergüenza, la culpabilidad o el pudor) y las emociones estéticas (familia que recoge las emociones experimentadas ante la belleza y las obras de arte).

4.4. EMOCIONES, CRISIS AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

En los últimos años son frecuentes las noticias abrumadoras que informan sobre fenómenos meteorológicos adversos y extremos que afectan a los ecosistemas y que provocan inundaciones, sequías, olas de calor, tormentas y huracanes, así como la propagación de enfermedades, la pérdida de biodiversidad, la escasez de determinados alimentos, las migraciones forzadas etc. En este sentido, desde la Oficina Española de Cambio Climático (2022) se explica que “los impactos del cambio climático en ecosistemas y sociedades humanas son patentes hoy en día y se agravarán en el futuro a medida que se alcancen mayores niveles de calentamiento” (p. 6). Esta situación de crisis ambiental puede provocar que las personas

encuentren problemas adaptativos, sobre todo en el caso de los colectivos más vulnerables, lo cual puede repercutir en su bienestar.

Son múltiples los trabajos donde se investigan las emociones relacionadas con la crisis medioambiental, también denominadas eco-emociones, que suelen ser emociones negativas. Cabe destacar el artículo publicado Skeirytė y Liobikienė (2025), en el que se presentan emociones como las siguientes:

- la eco-ira, que hace referencia al enojo hacia las personas irresponsables que causan daños ambientales o que no participan en la lucha contra el cambio climático,
- la eco-tristeza, que se desencadena debido al deterioro de los paisajes, a la violencia contra los seres vivos o a los cambios irreversibles que se producen en el medioambiente (p. ej., la pérdida de ecosistemas, hábitats y especies) y que a su vez generan alteraciones en los estilos de vida, limitan las oportunidades de futuro y provocan migraciones no deseadas,
- el duelo ecológico, asociado a las pérdidas que se sufren a causa de la crisis ambiental y el cambio climático,
- la culpa ecológica, relacionada con el malestar y la percepción de responsabilidad por el impacto negativo causado en el planeta al realizar conductas cotidianas como utilizar el coche de forma individual, emplear bolsas de plástico, desperdiciar agua y alimentos, consumir demasiada electricidad, etc.,
- la ecoansiedad, provocada por los efectos antropogénicos del cambio climático y el miedo a un futuro que se intuye muy incierto y desolador.

Ciertamente, la ecoansiedad es una de las emociones más estudiada en los últimos años. A modo de ejemplo, Boluda-Verdu et al. (2022) realizaron una revisión sistemática analizando las principales publicaciones en las que se examina la ansiedad asociada al cambio climático. Estas autoras indican que no existe un consenso en la definición de esta emoción y tampoco lo hay respecto a si es o no una patología. Ahora

bien, encontraron que la ecoansiedad se relaciona con diversos problemas de salud como el estrés, la depresión o el insomnio, ocasionando un deterioro en el bienestar general y en el comportamiento funcional. Además, entre las personas que padecen esta emoción se detecta un rechazo a la idea de tener descendencia. No obstante, se plantea que la ecoansiedad puede ser el motor que les impulse a realizar conductas proambientales e incluso a apostar por el activismo climático.

En la misma línea, Anneser et al. (2024) subrayan que las personas con ansiedad climática, así como las que tienen una mayor conciencia sobre la situación ambiental actual, presentan una mayor preocupación por el cambio climático, lo cual despierta el interés por iniciar una acción cívica para construir sociedades sostenibles y justas. Es más, Vecina et al. (2024) advierten que la sensibilidad ambiental y la aceptación de restricciones sociales para asumir el decrecimiento en pro del medioambiente depende tanto de la ecoansiedad como de la confianza en la veracidad de la información científica sobre la crisis climática. Es decir, la emoción juega un papel tan importante como la información o la cognición a la hora de determinar la conducta proambiental.

Por otra parte, se debe mencionar también que la emergencia climática puede provocar emociones positivas, como por ejemplo la esperanza y la motivación, especialmente cuando se asumen los mensajes optimistas sobre los efectos de las medidas proambientales que favorecen el desarrollo sostenible (Kovacs et al., 2024).

En definitiva, se entiende que la crisis climática suscita emociones tanto negativas como positivas. Ahora bien, se puede concluir, suscribiendo las palabras de Kovacs et al. (2024), que “las emociones son cruciales para mitigar el cambio climático al facilitar la acción climática” (p. 1).

4.5. LAS COMPETENCIAS SOCIOEMOCIONALES Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Como ya se ha citado previamente, la Educación Ambiental para la Sostenibilidad incluye los procesos de enseñanza y aprendizaje orientados a promover una transformación ecológica adecuada que permita afrontar los desafíos socioambientales relativos a la emergencia climática y

ambiental (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021). Pero hay que tener en cuenta que informar y formar a las personas puede ser insuficiente para motivarlas a realizar conductas cívicas proambientales, ya que en ocasiones las emociones, gestionadas de forma adecuada, son indispensables para aportar el impulso necesario para pasar a la acción y asumir la responsabilidad en el cuidado del planeta (Suleimenova e Ivanova, 2018; Vecina et al., 2024).

En consonancia, Estrada et al. (2021), reconocen que “la educación para el desarrollo sostenible implica, entre otras muchas cosas, tomar en consideración no solo los aspectos cognitivos de las personas, sino también sus aspectos afectivos, acciones y valores éticos para asegurar su completo desarrollo” (p. 3). Por lo tanto, a continuación se expone qué puede aportar el hecho de adoptar una perspectiva socioemocional en la Educación Ambiental y la Educación para el Desarrollo Sostenible, tomando como referencia el Modelo de Competencias Emocionales, para brindar una formación integral.

4.5.1. Conciencia emocional

La conciencia emocional se refiere a la “capacidad para tomar conciencia de las propias emociones y de las emociones de los demás, incluyendo la habilidad para captar el clima emocional de un contexto determinado” (Bisquerra, 2017, p. 59). La conciencia emocional es la competencia emocional más básica y elemental.

Si en la Educación Ambiental se asume el Modelo de Competencias Emocionales, se debería facilitar a las personas información sobre los diferentes tipos de eco-emociones, proporcionando su definición y sus características para poder identificarlas, etiquetarlas y reconocerlas. En este sentido, sería adecuado crear un diccionario para definir y catalogar todas las emociones relacionadas con la emergencia medioambiental, tanto negativas como positivas. Por lo tanto, sería conveniente definir qué es la eco-ira, la eco-tristeza, el duelo ecológico, la culpa ecológica, la ecoansiedad, la eco-esperanza, etc., que ya se han descrito en el apartado anterior. Asimismo, se debería explicar cuáles son las reacciones psicofisiológicas y conductuales que acompañan a cada

emoción, para que las personas puedan tomar conciencia de sus propias emociones y sentimientos.

A modo de ejemplo, si se trata de abordar la ecoansiedad, sería adecuado definirla como una especie de preocupación extrema o angustia emocional, mental o somática como reacción a la crisis climática y ambiental, así como a sus consecuencias actuales y futuras. Además, habría que indicar las alteraciones que la ecoansiedad provoca, como el malestar general, los problemas de sueño, la rumia, la resignación, etc., con sus implicaciones negativas para la salud (Boluda-Verdu et al., 2022). De esta forma, las personas podrán identificar y comprender esta emoción en sí mismas y en los demás. Este sería el primer paso para después tratar de gestionarla eficazmente.

De forma paralela, Suleimenova y Ivanova (2018) defienden que una de las principales competencias de la Educación para el Desarrollo Sostenible es la competencia de autoconciencia, que hace referencia a la facultad para tomar conciencia y reflexionar sobre el papel que cada persona desempeña a nivel local, dentro su comunidad, y a nivel global respecto a la situación ambiental actual, así como a la capacidad para identificar los propios sentimientos y deseos para motivar y valorar examinar las propias acciones.

4.5.2. Regulación emocional

Según señala Bisquerra (2017) la regulación emocional es la “capacidad para manejar las emociones de forma apropiada. También se puede denominar gestión emocional. Supone tomar conciencia de la relación entre emoción, cognición y comportamiento; tener buenas estrategias de afrontamiento; capacidad para autogenerarse emociones positivas, etc.” (p. 60).

Frecuentemente se defiende que las emociones (en especial las emociones básicas como la ira, la tristeza, etc.) son adaptativas porque permiten afrontar rápidamente los sucesos vitales fundamentales, sin la necesidad de realizar una planificación elaborada de la respuesta. Sin embargo, si las emociones no se gestionan de forma adecuada pueden desencadenar alteraciones e incluso patologías como la depresión, los trastornos de ansiedad o las fobias; por tanto, es preciso aprender a

regularlas. En consecuencia, cuando una persona es capaz de controlar sus emociones, podrá emplearlas como una fuerza motivadora para llevar a cabo conductas apropiadas, acordes a sus convicciones y valores y, además, generará serenidad y satisfacción.

Desde la Educación Ambiental se debe formar en la comprensión de las eco-emociones para tratar de regularlas. En este sentido, siguiendo con el ejemplo de la eco-ansiedad, se sabe que cuando una persona presenta esta emoción y no es capaz de controlarla, se produce un deterioro en su funcionamiento diario y en su bienestar. Ahora bien, si se acepta la eco-ansiedad como una respuesta normal ante las amenazas que conlleva la emergencia climática, se puede utilizar ese malestar para desencadenar una reacción y llevar a cabo conductas proambientales, asumiendo un compromiso con el desarrollo sostenible (Boluda-Verdu et al., 2022). De esta forma, se desencadena una suerte de círculo virtuoso, ya que las acciones realizadas ayudarán a mitigar la preocupación producida inicialmente por la eco-ansiedad; es decir, el logro de objetivos permitirá moderar la intensidad y la duración del malestar e, incluso, aportar cierto grado de bienestar.

Según el Modelo de Competencias Emocionales, para regular la ansiedad es eficaz utilizar el *Remind* (Bisquerra, 2017), es decir, un conjunto de estrategias formado por la relajación, la respiración, la meditación y el mindfulness, que permiten afrontar la situación e incrementar el bienestar. De igual modo, Kovacs et al. (2024), defiende también la eficacia de la aceptación y el mindfulness para gestionar las emociones de forma adaptativa en el contexto de la crisis climática.

La gestión o regulación emocional está estrechamente relacionada con la competencia regulatoria, que es central en los programas de la Educación para el Desarrollo Sostenible y que hace alusión a la “capacidad de comprender y reflejar las normas y valores que subyacen a las acciones humanas, así como de debatir metas y objetivos en un contexto de conflictos de intereses y compromisos, incertidumbre del conocimiento y contradicciones” (Suleimenova y Ivanova, 2018, p. 49).

Por último, cabe señalar que cuando se consigue regular las emociones y utilizarlas como motor para realizar comportamientos adecuados y

para desarrollar un pensamiento crítico y constructivo, se fomenta la capacidad para autogenerar emociones positivas. Así, las personas que controlan su ansiedad y realizan conductas sostenibles, terminan generando eco-esperanza, que es una emoción imprescindible para garantizar la supervivencia durante el proceso de cambio climático (Betro, 2024).

4.5.3. Autonomía emocional

La autonomía emocional va más allá de la regulación y se refiere a estrategias relacionadas “con la autogestión personal, entre las que se encuentran la autoestima, actitud positiva ante la vida, responsabilidad, capacidad para analizar críticamente las normas sociales, la capacidad para buscar ayuda y recursos, así como la autoeficacia emocional” (Bisquerra, 2017, p. 62).

Como se ha descrito, con la capacidad de controlar las emociones se puede asumir la responsabilidad para modificar la situación que origina el malestar. En este sentido, la esperanza, la capacidad de superar la frustración y la competencia para realizar conductas proambientales incrementan la percepción de eficacia en la ciudadanía y fomentan el activismo ambiental. Así, se adopta un optimismo que redundará en el incremento del compromiso con el desarrollo sostenible (Kovacs et al., 2024).

Al mismo tiempo, la autonomía emocional implica la capacidad para realizar un análisis crítico de los mensajes sociales y culturales transmitidos desde diversos medios (Bisquerra, 2017). Para ello, Estrada et al. (2021) proponen el uso de estrategias de enseñanza-aprendizaje que permitan analizar de forma crítica la información que influye en las creencias y los valores sociales para poder elaborar nuevos enfoques que promuevan la sostenibilidad. Por tanto, es importante promover una educación que permita fomentar la confianza en la información que aporta la literatura científica acerca del cambio climático y de sus riesgos (Vecina et al., 2024).

Respecto a la autonomía emocional, resulta también indispensable subrayar el papel que desempeña la resiliencia. Tal y como señalan Bisquerra y García (2018) la resiliencia es la capacidad para afrontar con éxito las adversidades. De igual forma, en la Agenda 2030 (Naciones

Unidas, 2015, 2023), la primera meta del ODS 13, donde se apremia a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, se hace referencia a la necesidad de “fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países” (p. 26). Por su parte, desde la Oficina Española de Cambio Climático (2022) se entiende la resiliencia como la “capacidad de los sistemas sociales, económicos y ecológicos para hacer frente a un acontecimiento peligroso o a una tendencia o perturbación, respondiendo o reorganizándose de forma que se mantenga su función, identidad y estructura esenciales” (p. 37). Por ello, se insta a tratar de incrementar la resiliencia en la especie humana y en los ecosistemas naturales para poder alcanzar un desarrollo que preserve el bienestar de la ciudadanía y también la salud planetaria. En definitiva, se asume la urgencia de concertar un desarrollo que sea resiliente (más que resistente) al cambio climático.

4.5.4. Competencia social

Las competencias sociales ayudan a “mantener buenas relaciones con otras personas. Esto implica dominar habilidades sociales, capacidad para la comunicación efectiva, respeto, actitudes prosociales, asertividad, etc.” (Bisquerra, 2017, p. 65).

En cuanto a esta competencia, uno de los factores más importantes en el ámbito de la Educación Ambiental es el comportamiento prosocial y la cooperación, que se relacionan con la capacidad para trabajar en equipo buscando el bien común y mostrando actitudes como la amabilidad, la compasión y el respeto hacia los demás. Así, entre las competencias relevantes en la Educación para el Desarrollo Sostenible destaca la llamada competencia de cooperación (Suleimenova y Ivanova, 2018), que hace referencia a la capacidad de aprender con y de las personas del entorno, respetando sus necesidades y sus comportamientos, recurriendo a la empatía para poder trabajar de forma conjunta en la resolución de los problemas.

Es más, para promover la acción proambiental es esencial presentar empatía tanto hacia las demás personas como también hacia otras especies. Así, Estrada et al. (2021) subrayan que es esencial impulsar la

capacidad de sentir empatía, solidaridad, simpatía y compasión, tanto hacia la generación presente como hacia las futuras generaciones.

Por otra parte, Musitu-Ferrer et al. (2019) emplean el término empatía ambiental para referirse a “la capacidad de sentir y comprender los problemas relacionados con el medio ambiente natural” (p. 102) y justifican que esta habilidad puede determinar las creencias y actitudes que son indispensables para, finalmente, desencadenar la ejecución de conductas proambientales.

En cuanto a la asertividad, que es “la capacidad para defender y expresar los propios derechos, opiniones y sentimientos, al mismo tiempo que se respeta a los demás, con sus opiniones y derechos” (Bisquerra y García, 2018, p. 19), resulta fundamental para poder comprender y asumir la emergencia climática y comprometerse con el desarrollo sostenible y resiliente, porque permite hacer frente a las posiciones negacionistas o de escepticismo que respaldan algunas personas hacia la situación ambiental actual (Vecina et al., 2024).

En definitiva, se debe asumir que para impulsar el activismo ambiental es necesario que las personas trabajen juntas con respeto y armonía hacia un fin común, en este caso el desarrollo sostenible y resiliente y el cuidado del planeta.

4.5.5. Competencias para la vida y el bienestar

Las habilidades para la vida y el bienestar representan la “capacidad de adoptar comportamientos apropiados y responsables para afrontar satisfactoriamente los desafíos diarios de la vida, (...) permiten organizar nuestra vida de forma sana y equilibrada, facilitándonos experiencias de satisfacción o bienestar” (Bisquerra, 2017, p. 67).

En particular, Bisquerra y García (2018) incluyen en esta competencia la capacidad para desempeñar una ciudadanía activa, cívica, responsable, crítica y comprometida, mediante la toma de decisiones apropiadas y la búsqueda de los recursos necesarios para gozar de una vida óptima.

Como ya se ha expuesto a lo largo de este apartado, adquirir el conjunto de las competencias emocionales permite asumir la responsabilidad necesaria para motivar la participación activa y cooperativa para alcanzar

la transformación social hacia el desarrollo sostenible. Es más, tal y como indican Vecina et al. (2024) las personas pueden llegar a adquirir un grado de sensibilidad ambiental suficiente para aceptar incluso las restricciones sociales que lleven a un decrecimiento compatible con el cuidado del medioambiente y con la supervivencia de las distintas especies.

De acuerdo con Suleimenova y Ivanova (2018) existen dos competencias que se deben contemplar para promover el desarrollo sostenible y que están relacionadas con el activismo ambiental: la competencia estratégica, que alude a la capacidad de desarrollar acciones innovadoras que proporcionen mayor sostenibilidad a nivel local y global, y la competencia de previsión, que implica la capacidad para afrontar riesgos y cambios, para evaluar las consecuencias de las acciones y para comprender diversos escenarios futuros.

Por último, son múltiples los estudios que relacionan el contacto con la naturaleza y la protección del medioambiente con el incremento del bienestar y de la salud (Musitu-Ferrer et al., 2019; Naciones Unidas, 2015, 2023; Suleimenova y Ivanova, 2018; UNESCO, 2024). A modo de ejemplo, se ha observado que la exposición a los entornos naturales aporta diversos beneficios para la salud, entre los que destaca la recuperación del estrés debido a la reducción de la frecuencia cardíaca, del cortisol y de la presión arterial (Holzman et al., 2025). Por consiguiente, desde la Educación Ambiental se debe promover experiencias que impliquen el contacto directo con y por la naturaleza así como por y con distintas especies, más allá de la transmisión de conocimientos teóricos.

5. CONCLUSIONES

Tal y como se ha descrito en este capítulo, el desarrollo de las competencias socioemocionales es indispensable para incrementar el bienestar y para adaptarse al medio. La Educación Emocional permite adquirir y mejorar estas competencias.

Por lo tanto, se defiende que el Modelo de Competencias Emocionales puede aportar una nueva y enriquecedora perspectiva para la Educación Ambiental, la Educación para el Desarrollo Sostenible o la Educación Ambiental para la Sostenibilidad.

A modo de conclusión se establece que es necesario defender una educación ecosocioemocional que sirva para guiar y acompañar a las personas en el proceso de identificar y gestionar sus emociones, de adoptar una visión realista y optimista de la crítica situación ambiental actual para que puedan asumir su responsabilidad en la transición hacia un cambio que abogue por la sostenibilidad y que impulse el desarrollo de una resiliencia personal, social y ecológica que fomente el bienestar de la ciudadanía, la prosperidad de la humanidad, y el florecimiento del planeta.

Política de Inteligencia Artificial

La autora declara no haber hecho uso de Inteligencia Artificial (IA) para la elaboración del capítulo.

6. REFERENCIAS

- Anneser, E., Levine, P., Lane, K. J., & Corlin, L. (2024). Climate stress and anxiety, environmental context, and civic engagement: A nationally representative study. *Journal of Environmental Psychology*, 93, 102220. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102220>
- Betro, S. (2024). From eco-anxiety to eco-hope: surviving the climate change threat. *Frontiers in Psychiatry*, 15, 1429571. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2024.1429571>
- Bisquerra, R. (2003). Educación emocional y competencias básicas para la vida. *Revista de Investigación Educativa*, 21(1), 7-43.
- Bisquerra, R. (2009). Psicopedagogía de las emociones. Síntesis.
- Bisquerra, R. (2011). Educación emocional. *Revista Padres y Maestros*, (337), 5-8.
- Bisquerra, R. (2017). Educación emocional: 10 ideas clave. Graó.
- Bisquerra, R., & García, E. (2018). La educación emocional requiere formación del profesorado. *Participación Educativa*, 5(8), 13-28.
- Bisquerra, R., & Mateo, J. (2019). Competencias emocionales para un cambio de paradigma en educación. Horsori Editorial.
- Boluda-Verdu, I., Senent-Valero, M., Casas-Escolano, M., Matijasevich, A., & Pastor-Valero, M. (2022). Fear for the future: Eco-anxiety and health implications, a systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, 84, 101904. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101904>

- Carbonell-Alcocer, A., & Gertrudix, M. (2025). Percepción docente sobre los recursos y metodologías eficaces para la Educación Ambiental para la Sostenibilidad. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, 14(1). <https://doi.org/10.15366/riejs2025.14.1.008>
- Caride, J. A., Gutiérrez-Pérez, J., & Meira-Cardesa, P. A. (2025). Las narrativas climáticas en las agendas educativas: sobre el valor del tiempo para la investigación pedagógica y las políticas ambientales. *Revista Española de Pedagogía*, 83(290), 83-103. <https://doi.org/10.22550/2174-0909.4147>
- CASEL (2024). Core SEL Competencies. <https://casel.org/core-competencies/>
- Ekman, P. (2003). Emotions inside out: 130 years after Darwin's: The expression of the emotions in man and animals. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1000, 1-6. <https://doi.org/10.1196/annals.1280.002>
- Estrada, M., Monferrer, D., Rodríguez, A., & Moliner, M. A. (2021). Does emotional intelligence influence academic performance? The role of compassion and engagement in education for sustainable development. *Sustainability*, 13(4), 1721. <https://doi.org/10.3390/su13041721>
- Franquesa, T. (2024). Cambio climático y ecoansiedad. De la preocupación a la acción. Anaya Multimedia
- Franquesa, T., Heras, F., & Meira, P. A. (2020). Educación ambiental: sobre o colapso e a esperanza. *AmbientalMente Sustentable: Revista Científica Galego-Lusófona de Educación Ambiental*, 27 (2), 7-17. <https://doi.org/10.17979/ams.2020.27.2.7632>
- Holzman, D., Meletaki, V., Bobrow, I., Weinberger, A., Jivraj, R. F., Green, A., & Chatterjee, A. (2025). Natural beauty and human potential: Examining aesthetic, cognitive, and emotional states in natural, biophilic, and control environments. *Journal of Environmental Psychology*, 104, 102591. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2025.102591>
- Kovacs, L. N., Jordan, G., Berglund, F., Holden, B., Niehoff, E., Pohl, F., Younssi, M., Zavallos, I., Agoston, C., Varga, A. (2024). Acting as we feel: which emotional responses to the climate crisis motivate climate action. *Journal of Environmental Psychology*, 96, 102327. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2024.102327>
- López-Cassà, E., & Bisquerra, R. (2024). Educar en las emociones en tiempos de crisis. *RELIEVE - Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 30(1). <https://doi.org/10.30827/relieve.v30i1.30381>
- Lopez-Morinigo, J. D., Fiorillo, A., Dom, G., & Arango, C. (2025). Mental health status of the European population and its determinants: a cross-national comparison study. *European Psychiatry*, 1-27. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2025.2449>

- Ministerio de Educación y Formación Profesional (2021). Plan de Acción de Educación Ambiental para la Sostenibilidad.
- Musitu-Ferrer, D., Esteban-Ibañez, M., León-Moreno, C., & García, O. F. (2019). Is school adjustment related to environmental empathy and connectedness to nature? *Psychosocial Intervention*, 28, 101-110. <https://doi.org/10.5093/pi2019a8>
- Naciones Unidas (2015). Resolución A/70/1, aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015: Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://docs.un.org/es/A/RES/70/1>
- Naciones Unidas (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
- Novo, M. (2017). La Educación Ambiental. Bases éticas, conceptuales y metodológicas. UNED
- Oficina Española de Cambio Climático (2022). Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Ortony, A. (2022). Are all “basic emotions” emotions? A problem for the (basic) emotions construct. *Perspectives on Psychological Science*, 17(1), 41-61. <https://doi.org/10.1177/1745691620985415>
- Regalado, M., & Medina, A. (2024). Ecoansiedad: impacto del cambio climático en la salud mental. *SEMERGEN*, 50(8), 102279. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2024.102279>
- Red Europea de Educación Global (2022). Declaración Europea sobre Educación Global hacia 2050. Global Education Network Europe (GENE). <https://www.gene.eu/ge2050-congress>
- Serantes-Pazos, A. (2017). Educación Ambiental e Educación para a Cidadanía Global: encontro de movimientos educativos? *Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación*, Extr.(4), 1-4. <https://doi.org/10.17979/reipe.2017.0.04.3036>
- Skeirytė, A., & Liobikienė, G. (2025). Emotions related to climate change, and their impact on environmental behaviour. *Journal of Cleaner Production*, 488, 144659. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144659>
- Suleimenova, A., & Ivanova, O. (2018). Emotional competence and individual style of action of future teachers of higher education in the system of Education for Sustainable Development. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 20(2), 44-63. <https://doi.org/10.2478/jtes-2018-0014>

- UNESCO (2022). Reimaginar juntos nuestros futuros: un nuevo contrato social para la educación.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381560.locale=es>
- UNESCO (2024). Mainstreaming social and emotional learning in education systems: policy guide. <https://doi.org/10.54675/ORWD6913>
- Vecina, M. L., Alonso-Ferres, M., López-García, L., & Díaz-Silveira, C. (2024). Eco-anxiety and trust in science in Spain: Two paths to connect climate change perceptions and general willingness for environmental behavior. *Sustainability*, 16(8), 3187. <https://doi.org/10.3390/su16083187>
- White, B. P., Breakey, S., Brown, M. J., Smith, J. R., Tarbet, A., Nicholas, P. K., & Ros, A. M. V. (2023). Mental health impacts of climate change among vulnerable populations globally: An integrative review. *Annals of Global Health*, 89(1), 66. <https://doi.org/10.5334/aogh.4105>

GREENFLUENCERS COMO AGENTES PARA LA EDUCACIÓN AMBIENTAL INFORMAL

CARMEN VIZOSO-GÓMEZ
Universidad de León

1. INTRODUCCIÓN

De forma tradicional se ha defendido que existen tres tipos de educación que permiten adquirir los aprendizajes o las competencias principales: la educación formal, la educación no formal y la educación informal (Coombs, 1978; Foresto, 2020). Entre las características fundamentales de la educación formal o reglada se incide en que es institucionalizada, definida y limitada, que se justifica en programas determinados que abordan contenidos normalizados y que permite la obtención de un título certificado. Por su parte, la educación no formal sería aquella que puede ser o no institucionalizada, que es definida y limitada, que se basa programas variables de acuerdo con una necesidad, que aborda contenidos específicos y que puede permitir o no la obtención de un certificado tras superar la evaluación de la formación. Por último, la educación informal no está institucionalizada, es ilimitada, no sigue un programa, aborda contenidos muy amplios y no permite otorgar título alguno al finalizarla.

Desde la educación formal, tal y como se indica en la legislación en vigor (Ley Orgánica 3/2020, comúnmente conocida como LOMLOE) se debe considerar la educación para la transición ecológica para contribuir a la sostenibilidad ambiental, social y económica, así como al desarrollo de un estilo de vida saludable, promoviendo comportamientos proambientales como, por ejemplo, el reciclaje, el consumo responsable y el respeto hacia la naturaleza y hacia todos los animales.

No obstante, la concienciación sobre temáticas medioambientales y la educación para el desarrollo sostenible se puede realizar también desde la educación no formal y la educación informal (UNESCO, 2022). En este sentido, a modo de ejemplo, se puede destacar la estrategia de educación no formal denominada R.E.S.P.E.C.T., que se plantea desde la UNESCO (2024) para contribuir al desarrollo sostenible desde un enfoque socioemocional, promoviendo el respeto por el medioambiente y acompañando en el desarrollo de valores y habilidades como la responsabilidad, la empatía o la resiliencia.

Por lo que se refiere a la educación informal, en los últimos años destaca la opción que ofrecen las redes sociales como vía para transmitir y recibir información, conocimientos, recursos o simplemente ideas (Kumar y Nanda, 2024).

Las personas que comparten experiencias y conocimientos sobre una temática para tratar de inspirar y/o concienciar a quienes les siguen se denominan *influencers* (De Silva et al., 2025). De forma específica, los/as *greenfluencers* son “líderes de opinión que se preocupan por el planeta y que utilizan su capacidad de comunicación para divulgar y promover estilos de vida proambientales” (Cavazos-Arroyo y Melchor-Ascencio, 2023, p. 91). De ahí que sean vistos, en cierta manera, como educadores, líderes o modelos a seguir en cuanto a la temática medioambiental y la sostenibilidad (Dekoninck et al., 2023; Hartmann et al., 2025a).

Las redes sociales empleadas por los/as *greenfluencers* para transmitir su mensaje proambiental son múltiples, como por ejemplo Instagram, Telegram, Tik Tok, X (también conocida como Twitter) o Facebook (Boerman et al., 2022; Cavazos-Arroyo y Melchor-Ascencio, 2023; Hartmann et al., 2025a, 2025b; Kapoor et al., 2023; Olbermann et al., 2024; Oivo, 2025).

A modo de ejemplo, se puede citar a los siguientes *greenfluencers* (Conte et al, 2025; De Silva et al., 2025; Hartmann et al., 2025a): la sueca Greta Thunberg (@gretathunberg), que con más de 14 millones de seguidores/as es internacionalmente reconocida por su activismo político, la española Carlota Bruna (@carlotabruna), que promueve un estilo de vida sostenible y defiende los derechos de los animales, el brasileño Henrique Abrahão Charles (@biologohenrique), que publica contenidos sobre medio

ambiente y sostenibilidad, o la italiana Elisa Nicoli (@Eco.narratrice), que transmite el respeto hacia la Tierra y hacia sus diversos habitantes.

Conforme a lo expuesto, se podría considerar que los/as *greenfluencers* contribuyen a la Educación Ambiental de una manera informal. Llegado este punto, cabe recordar que la Educación Ambiental es una estrategia de acción educativa para promover cambios socioambientales a través del compromiso y la participación de la ciudadanía (Serantes-Pazos, 2017). En la misma línea, desde el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y el Ministerio de Educación y Formación Profesional, se define el término Educación Ambiental para la Sostenibilidad (EAS) como los procesos de “educación y formación, comunicación y participación orientados a desarrollar aprendizajes, reflexiones, actitudes y competencias para actuar frente la emergencia climática y ambiental, y ante el conjunto de los complejos retos socioambientales actuales, avanzando hacia una transición ecológica justa” (Oficina Española de Cambio Climático, 2021, p. 33).

En definitiva, en este trabajo se plantea que los/as *greenfluencers* son agentes para la Educación Ambiental informal porque tratan de concienciar a la ciudadanía sobre aspectos ecológicos y de inspirar a sus seguidores/as para que lleven a cabo conductas proambientales.

2. OBJETIVOS

Considerando la información presentada en el apartado anterior, el objetivo fundamental de este capítulo consiste en analizar el papel que desempeñan las personas identificadas como *greenfluencers* en la educación ambiental informal de la ciudadanía mediante la revisión de la literatura científica publicada hasta la fecha. Además, se trata de comprender las estrategias de persuasión que emplean estas personas para concienciar y convencer a sus seguidores/as y, finalmente, lograr que realicen conductas sostenibles.

3. METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo propuesto se realizó una revisión sistemática de las publicaciones indexadas en la base de datos Scopus. En concreto, la

búsqueda de información se desarrolló en el mes de junio de 2025. Los descriptores empleados fueron *greenfluencer* y *green influencer*, que debían estar en el título, el resumen o como palabras clave de la publicación.

Los criterios de inclusión aplicados para seleccionar las publicaciones a revisar fueron éstos: la temática principal del estudio, eligiendo las investigaciones centradas en evaluar aspectos relativos a estas personas con capacidad de influencia ambiental; el tipo de documento, eligiendo sólo los artículos científicos revisados por pares e indexados en Scopus; el año de publicación, incluyendo todos los años, y por último, el idioma, aceptando cualquier idioma, aunque en realidad todos los artículos encontrados estaban publicados en inglés.

Por otra parte, los aspectos analizados en los artículos revisados fueron los siguientes: el año de publicación, para descubrir la evolución del interés por conocer a este colectivo, el país en el que se realizaron los estudios, las palabras clave recogidas en los artículos, las principales aportaciones de las investigaciones y la trascendencia científica de las publicaciones en base al número de citas acumuladas en Scopus.

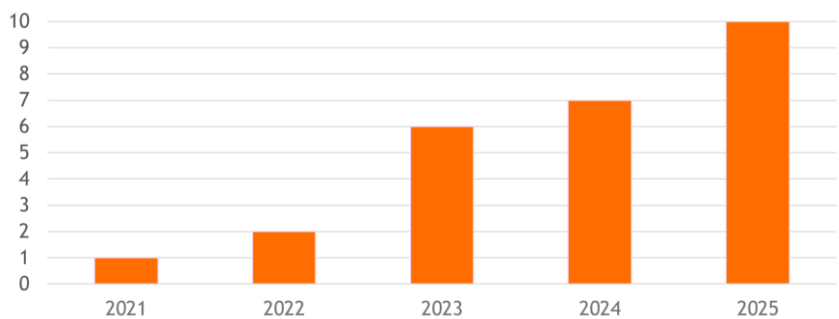
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRINCIPALES RESULTADOS CUANTITATIVOS

La muestra de artículos revisados en este estudio fue de un total de 26 publicaciones cuya temática central fue el análisis de las y los *greenfluencers*.

En cuanto al criterio cronológico, tal y como se puede observar en el Gráfico 1, el primer documento revisado se registró en 2021. Además, el año en el que se publicaron más artículos sobre esta temática fue 2025, es decir, el año en curso, por lo que este número podría incrementarse en los meses que quedan hasta concluirlo (que son seis). Esto indica que la investigación centrada en este colectivo ha ido creciendo a lo largo de este quinquenio y, por lo tanto, es un tema de radiante actualidad y de especial interés para la comunidad científica.

GRÁFICO 1. Producción anual de las publicaciones revisadas en este estudio.



Nota: Elaboración propia

Asimismo se encuentra que la mayoría de los estudios se ha realizado desde instituciones europeas (p. ej., España, Portugal, Italia, Alemania, Bélgica, Holanda, Noruega, etc.), aunque existen también artículos firmados en América (EEUU, Brasil o México), Asia (China, Malasia o India) y Oceanía (Australia).

Por último, en la Figura 1 se presenta una nube de palabras formada por las *keywords* incluidas en las publicaciones revisadas.

Tal y como se puede apreciar en la figura, entre las palabras clave más empleadas destacan las siguientes: *green influencers*, *greenfluencers* y *greenfluencer*, que representan los descriptores empleados para la búsqueda de información. También predominan otros términos como *influencer marketing*, *sustainable consumption* o *social media*. Es importante señalar que también aparece como palabra clave el ODS 12 (Wu et al., 2025), que hace referencia a la necesidad de garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles que permitan preservar los recursos necesarios para que las generaciones futuras puedan subsistir (Naciones Unidas, 2023).

Respecto a la repercusión de la investigación sobre esta temática, se descubre que es bastante importante, ya el número de citas acumuladas en Scopus es elevado porque asciende a más de 500 menciones. A modo de ejemplo, el primer estudio entre los revisados, que se publicó en 2021 en la revista *Journal of Interactive Marketing*, cuenta ya con 151 citas y, además, es el artículo más citado.

[illegible]

A continuación se reflejan las principales aportaciones que se derivan de los artículos revisados en cuanto a la caracterización de los/as *greenfluencers*, la relevancia de la credibilidad y la autenticidad de estas personas, las características de los mensajes transmitidos y el tipo de relaciones que se establecen entre los/as *greenfluencers* y sus seguidores/as.

Tal y como se indicó en el primer apartado de este capítulo, los/as *greenfluencers* o *influencers* ecológicos son las personas que tratan de inspirar un estilo de vida sostenible y de promover el desarrollo de comportamientos proambientales difundiendo sus mensajes a través de diferentes redes sociales. Bajo el criterio de Hartmann et al. (2025a) los/as *greenfluencers* “tienen el potencial de desempeñar un papel importante en la educación del público sobre la importancia de los hábitos de consumo sostenibles y en liderar con el ejemplo en sus estilos de vida ecoconscientes” (p. 3). Por lo tanto, los/as *green influencers* podrían ser descritos como educadores/as y modelos a seguir en cuanto a temas medioambientales se refiere (Dekoninck et al., 2023).

Cooke et al. (2022) sitúan a los/as *influencers* ecológicos dentro del marco de la realidad actual en la que se conjuga la defensa de prácticas responsables y sostenibles con el empleo de medios digitales, donde las políticas ecológicas se enfocan hacia la moderación del consumo, criticando tendencias como, por ejemplo, el turismo desbordado y la “*fast fashion*”, es decir, ropa de “usar y tirar”.

Es más, la relevancia de este tipo específico de *influencers* se ha vuelto tan significativa en los últimos años que, como indica Oivo (2025) su actuación en defensa de la sostenibilidad y del estilo de vida ecológico se mantiene incluso en lugares y circunstancias excepcionales como puede ser en Rusia durante el período de invasión de Ucrania, a pesar de que la represión mediática sea considerable.

Para caracterizar a los/as *greenfluencers* se puede tomar como referencia el caso particular de la italiana Elisa Nicoli (@Eco.narratrice en Instagram) detallado en el trabajo de Conte et al. (2025). Estos autores se centran en describir la capacidad persuasiva a la hora de promover la práctica de conductas relacionadas con la economía circular. Se considera que esta *influencer* mantiene una estrategia de comunicación eficaz y creíble, con un nivel de interacción alto, compartiendo ejemplos inspiradores y atractivos sin tratar de ser excesivamente adoctrinadora o instructiva. A grandes rasgos, se observa que los mensajes creíbles de los/as *greenfluencers* como Elisa y la interacción establecida con sus seguidores/as pueden incrementar los conocimientos de éstos/as y también reducir su reticencia hacia los principios de la economía circular. No obstante, esta interacción también puede incrementar la conciencia de los costes que supone adoptar este tipo de consumo, como por ejemplo la necesidad de un cambio de conductas (revelando los importantes sacrificios económicos o temporales que requiere apoyar la economía circular), la inercia (derivada de la preferencia por mantener los hábitos de consumo dados los sacrificios que conlleva el cambio) y el cinismo hacia el *greenwashing* o “ecoblanqueo” (i. e., la desconfianza hacia el lavado de imagen verde que se utiliza en la publicidad esgrimiendo argumentos ambientales engañosos para tratar de convencer a los/as

consumidores, aunque realmente exista una más que dudable coherencia con las normas sostenibles). Por último, estos autores recomiendan que los/as *greenfluencers* traten de incrementar la credibilidad de sus mensajes utilizando una información basada en fuentes fiables como son los estudios científicos, los informes oficiales o las entrevistas a expertos.

Además del caso de Elisa Nicoli, en los artículos revisados se estudia a otros *greenfluencers* como @lilyfairly y @going.zero.waste (Pittman y Abell, 2021) o @Laurafromthedesert y @Growthinkers (Dekoninck y Schmuck, 2025), que son representativos de esta corriente ecológica.

De manera puntual, Hartmann et al. (2025a) sugieren el concepto de *Inspirational Green Leadership*, que determina a un tipo de liderazgo inspirador orientado hacia la defensa de la sostenibilidad, y que implica el uso de una comunicación clara, motivadora y optimista para involucrar emocionalmente a las personas y lograr objetivos ecológicos colectivos. Tras sondear a múltiples usuarios/as de Instagram descubrieron que los/as *greenfluencers* con un alto grado de autenticidad, credibilidad y atractivo emocional, es decir, que presentan este tipo de liderazgo, son capaces de inspirar un estilo de vida ecológico, mediante la persuasión para comprar productos sostenibles o adoptar hábitos ecológicos relativamente fáciles de asumir. Además, los/as *Inspirational Green Leaders* promueven el activismo verde, que implica la práctica de acciones proambientales comprometidas, basadas en valores ideológicos y altruistas y que demandan un sacrificio personal significativo, como por ejemplo, utilizar el transporte público para reducir la huella de carbono o controlar el consumo de energía o de agua o implicarse en el activismo ambiental realizando protestas contra la degradación ambiental, denunciando a las empresas peligrosas para el medio ambiente o realizando donativos a grupos ambientalistas.

Realmente, la idea de este tipo de liderazgo, que introduce connotaciones emocionales y empáticas, es congruente con el discurso de Ding et al. (2024), quienes apuntan que el entusiasmo genuino y la pasión de los *greenfluencers* por las iniciativas ecológicas produce un efecto de contagio en las personas que ven sus mensajes.

4.2.2. Consideraciones sobre la credibilidad y la autenticidad de los/as *greenfluencers*

La credibilidad y la autenticidad son factores indispensables en los procesos de inspiración, influencia o persuasión y, por lo tanto, los/as *greenfluencers* deben considerarlos cuando transmiten información sobre la sostenibilidad y los estilos de vida proambientales (Cavazos-Arroyo y Melchor-Ascencio, 2023).

Pittman y Abell (2021) compararon la credibilidad y la confianza generada por la *micro-greenfluencer* Lily Fairly (@lilyfairly), que tiene un número moderado de seguidores/as, y las generadas por la *macro-greenfluencer* Kathryn Kellogg (@going.zero.waste), que es mucho más popular. Se observa que las *micro-greenfluencers* suscitan más confianza y esto repercute de forma positiva en la actitud hacia los productos que patrocinan, en la intención de compra y en la predisposición a realizar donativos a las organizaciones benéficas patrocinadas. En particular, las *micro-greenfluencers* se perciben como más cercanas y sencillas, mientras que las *macro-greenfluencers* se identifican con un estilo de vida lujoso, ostentoso y, por lo tanto, poco sostenible. Además, el incremento de la popularidad de los/as *greenfluencers* se suele asociar con el *greenwashing*, descrito como el lavado de imagen verde que realizan algunas marcas y empresas que quieren beneficiarse del prestigio asociado a la defensa del medioambiente en el ámbito de la publicidad, empleando afirmaciones engañosas o exageradas para parecer más ecológicas. En realidad, la población conoce estas prácticas y muestra desconfianza y/o rechazo hacia los productos de esas marcas y hacia quien los patrocina.

Por su parte, Boerman et al. (2022) no encuentran diferencias en cuanto a la capacidad de persuasión de *micro-influencers* y *meso-influencers*. En este estudio, el resultado más notable fue detectar el valor que tiene la coherencia entre la imagen y el mensaje que transmite el *greenfluencer* para incrementar su credibilidad, su fiabilidad y su autenticidad, y así promover un comportamiento proambiental en los/as usuarios/as de Instagram. A modo de ejemplo, un/a *greenfluencer* que promociona el estilo de vida sostenible y que acostumbre a viajar en jets privados no

muestra una imagen coherente con su mensaje y, por lo tanto, no se percibe como fiable ni creíble y no se atiende a sus consejos.

Posteriormente, Cavazos-Arroyo y Melchor-Ascencio (2023) evaluaron a seguidores de *greenfluencers* en Facebook y descubrieron que la credibilidad influye positivamente sobre la actitud hacia la compra de productos verdes, que esta actitud determina la intención de compra y que esta intención impacta sobre la conducta real de compra ecológica.

En la misma línea, Pittman y Milfeld (2023) exponen que la confianza y la credibilidad asignada a los/as *greenfluencers* ayudan a generar actitudes hacia determinadas marcas que son más favorables que las alcanzadas por los anunciantes, debido al escepticismo que provoca la publicidad ecológica y el *greenwashing*.

También Kılıç y Gürlek (2023) defienden que la confianza en los *greenfluencers* es uno de los factores más relevantes para las personas cuando deben tomar decisiones sobre sus viajes, convirtiéndose en agentes del marketing para productos turísticos ecológicos. El estudio de estos autores es especialmente excepcional debido a que expone el desarrollo y la validación de una escala para evaluar el marketing *green influencer*; de modo que este instrumento permite a los/as *greenfluencers* valorar sus fortalezas y sus debilidades y decidir cómo promocionar productos ecológicos de forma eficaz.

Por otra parte, Giambastiani et al. (2025) entienden que cuando los/as *greenfluencers* difunden contenidos patrocinados por empresas sus seguidores/as muestran un menor interés por sus consejos que cuando los contenidos no están patrocinados. En este sentido, especifican que existen diferentes factores que determinan la autenticidad asignada a los mensajes transmitidos por los/as *greenfluencers*. Concretamente, se distingue entre la precisión, la conectividad, la integridad, la legitimidad, la originalidad y la competencia. Estos factores pueden ayudar a atenuar la reticencia que muestran los/as seguidores/as hacia los contenidos patrocinados frente a los no patrocinados y adoptar un consumo sostenible.

Más recientemente, Wu et al. (2025) resaltan que la comunicación de los/as *greenfluencers* debe ser clara, sencilla y transparente para que sus

mensajes sobre sostenibilidad ambiental sean eficaces y fiables y, así, determinen las decisiones de consumo ecológico entre sus seguidores. Una vez más, se confirma que la confianza de los/as seguidores/as en los/as *greenfluencers* es indispensable para que aprueben y asuman los mensajes transmitidos, mientras que el *greenwashing* produce el efecto contrario.

Por último, cabe señalar que Buvár et al. (2023) añaden que los/as *influencers* no identificados como *greenfluencers* también pueden concienciar sobre la sostenibilidad y promover el consumo responsable si velan por reforzar la credibilidad de sus publicaciones recurriendo a la opinión de expertos. Es más, estos/as *influencers* más generales podrían llegar a un público más numeroso pero con una menor consciencia de los problemas ambientales, por lo que el efecto de la persuasión podría ser más impactante.

4.2.3. La relevancia del mensaje transmitido por los/as *greenfluencers*

En primer lugar, Kapoor et al. (2023) estudian cómo los/as *greenfluencers* deben formular sus mensajes sobre sostenibilidad para que resulten persuasivos. Encuentran que existen estrategias de comunicación realmente eficaces, ya que los mensajes concretos (i.e., contextualizados, racionales y objetivos) son más persuasivos y se perciben como más auténticos y veraces que los mensajes abstractos (i.e., generales y subjetivos). Por lo tanto, los mensajes concretos son los que determinan la conducta de los/as seguidores/as en pro del consumo sostenible, especialmente cuando se trata de promocionar productos utilitarios o funcionales.

También Köenig y Maier (2024b) investigan cuáles son las características de los mensajes que logran un mayor nivel de persuasión por parte de los/as *greenfluencers*. En este caso, encuentran que la estrategia más eficaz para promover el consumo sostenible es recurrir a un encuadre de ganancia (i.e., destacando los beneficios positivos de asumir comportamientos sostenibles, en vez de advertir sobre las consecuencias negativas de realizar conductas no sostenibles) y a un nivel de interpretación bajo (i.e., profundizando en la descripción de acciones específicas y fáciles de realizar). No obstante, se especifica que el momento en que se publican los mensajes es determinante, ya que las publicaciones de fin de semana deben centrarse en transmitir enfoques de ganancia

mientras que las publicaciones de semana son más eficaces si los mensajes se caracterizan por su baja interpretación.

Ahora bien, Dekoninck et al. (2023) advierten del peligro que conlleva el hecho de que muchos de los mensajes difundidos por *greenfluencers* están basados en información adquirida de forma autodidacta, ya que la mayoría no cuentan con formación formal sobre temas ambientales. Por lo tanto, recomiendan promover la alfabetización mediática de la ciudadanía y realizar campañas de concienciación pública para prevenir el riesgo de desinformación que acompaña a la educación informal transmitida desde las redes sociales por parte de algunos/as *greenfluencers*.

Por otra parte, Narayanan (2024) señalan que las publicaciones que contienen imágenes generadas por Inteligencia Artificial (IA en adelante) reciben menos respuestas favorables por parte de los/as seguidores en comparación con las publicaciones que utilizan fotografías reales. Esto se debe a que las imágenes creadas con IA se perciben como menos auténticas o creíbles porque son incongruentes con el esquema mental que se tiene sobre lo verde, lo ecológico y lo natural (es decir, no artificial). No obstante, cuando la herramienta utilizada para generar las imágenes es una IA específica y considerada como proambiental (como es el caso de PrevisAI, que ayuda a predecir la deforestación), el rechazo hacia el uso de la IA desaparece. Por lo tanto, el uso de la IA por parte de los/as *greenfluencers* debe ser consciente y coherente con el esquema mental o el imaginario sobre lo ecológico.

En efecto, Hartmann et al. (2025b) confirman que las imágenes de la naturaleza (p. ej., paisajes naturales con biodiversidad, aguas cristalinas, amaneceres, etc.) son uno de los principales contenidos que publican los/as *greenfluencers* en sus redes sociales para incrementar la conexión con la naturaleza, despertar la preocupación por el cambio climático y promover la acción proambiental. Los efectos de persuasión alcanzados son mayores cuanto más prístinas, genuinas, reales y auténticas sean las imágenes publicadas.

Por último, Olbermann et al. (2024) diseñaron un estudio para determinar si la música que se utiliza de fondo en los vídeos cortos de Instagram publicados por *greenfluencers* puede influir en la eficacia de la

comunicación ambiental. Para ello, crearon un *reel* con un *greenfluencer* ficticio y manipularon el tipo de música instrumental de fondo, que podía tener una valencia emocional positiva o negativa, y también controlaron el marco del mensaje, que podía ser de ganancia (p. ej., "Si cambiamos de bolsas de plástico a bolsas de tela ahora, ayudaremos al medio ambiente con cada compra que hagamos") o de pérdida (p. ej., "Si no cambiamos de bolsas de plástico a bolsas de tela ahora, dañaremos el medio ambiente con cada compra que hagamos"). De esta forma, analizaron la credibilidad del vídeo, las emociones (entusiasmo, ansiedad, etc.) de los/as participantes durante la observación de los *reels*, la intención de realizar conductas proambientales (como elegir bolsas de tela reutilizables para la compra o separar los residuos), su percepción de autoeficacia para contribuir al cuidado del medioambiente y la gravedad atribuida al problema ambiental. La principal aportación de este estudio radica en demostrar que los marcos de pérdida reducen la intención de realizar conductas proambientales porque generan emociones negativas, desencadenando miedo o ansiedad, y suelen provocar un rechazo de la información o comportamientos contraproducentes para evitar los peligros y/o las amenazas. Además, frente a lo esperado, se observó que la valencia emocional de la música no influye en el impacto de los mensajes. Por lo tanto, se concluye que para sensibilizar, concienciar y promover conductas proambientales, es importante que los/as *greenfluencers* utilicen mensajes de ganancia, formulados en positivo y que transmitan esperanza y optimismo.

4.2.4. Las relaciones entre los/as *greenfluencers* y sus seguidores/as

Las personas que siguen a *influencers* en general y a *greenfluencers* en particular perciben que la relación que mantienen con ellos/as es especial, cercana y, en cierto modo, también de amistad (Cui et al., 2024; Dekoninck et al., 2023; Knupfer et al., 2023; Le et al., 2025).

En este sentido, Dekoninck et al. (2023) señalan que *greenfluencers* y seguidores/as establecen vínculos (para)sociales que determinan su relación. Más concretamente, estas autoras indican que los/as *greenfluencers* son percibidos por la juventud como “supercompañeros”, es decir, como referentes con intereses afines que suplen la carencia de

amistades de su círculo interesadas por temas ambientales. Además, aunque la relación con los/as *greenfluencers* es claramente asimétrica y principalmente unidireccional, los/as seguidores/as estiman el potencial de reciprocidad a través de la intimidad transmitida en los mensajes, de los comentarios compartidos o de los excepcionales encuentros físicos reales. De este modo, teniendo en cuenta esta complicidad generada, la audiencia joven trata de imitar y reproducir las conductas proambientales observadas y las recomendaciones ofrecidas por sus “amigos/as” *greenfluencers*.

Posteriormente, Dekoninck y Schmuck (2025) confirman que los/as *greenfluencers* determinan las actitudes y las intenciones de realizar conductas proambientales en sus seguidores (y especialmente en sus seguidoras) debido a la empatía, la similitud y la identificación con sus deseos, así como la confiabilidad y la accesibilidad de las prescripciones y los ejemplos que plantean en sus mensajes. En esta ocasión, en lugar de utilizar el término “supercompañeros” para caracterizar los/as *greenfluencers* presentan la noción de “ciberguerreros”. Hay que mencionar, además, que estas autoras puntualizan que el poder persuasivo proambiental alcanzado por los/as *greenfluencers* es menor al que consiguen las organizaciones ambientales sin ánimo de lucro porque éstas se perciben como más confiables todavía.

También Knupfer et al. (2023) encuentran que las relaciones parasociales (i. e., de cierta identificación, intimidad y afectividad) que se establecen entre *greenfluencers* y jóvenes seguidores/as promueve el activismo ambiental tanto de bajo esfuerzo (p. ej. animar a las personas mayores a vivir de forma más sostenible) como de alto esfuerzo (p. ej., participar en protestas sobre el cambio climático).

En la misma línea, Cui et al. (2024) ratifican la relevancia de las interacciones y las relaciones parasociales que implican una conexión emocional y que se reflejan mediante los comentarios, los *likes* o los reenvíos. Este tipo de relaciones promueven estilos de vida ecológicos y además fomentan la intención de consumo sostenible. Entonces, los/as *greenfluencers* deben mantener y cuidar la relación con sus seguidores/as actualizando periódicamente los mensajes y también “deben crear contenido educativo, atractivo y de alta calidad para comunicar la

importancia de una vida ecológica a los usuarios e inspirar su interés y participación” (p. 12).

Sin embargo, resulta sorprendente el estudio de Köenig y Maier (2024a) porque cuestionan el efecto del ajuste o afinidad, ya que sus resultados revelan que el grado de influencia es mayor cuando hay disparidad de opiniones entre ambas partes: *greenfluencers* y seguidores/as. Así, concluyen que los/as *greenfluencers* deberían dirigirse a una audiencia “no verde” para lograr un mayor impacto y concienciación hacia el consumo sostenible. En esta línea, siguiendo la hipótesis de la incongruencia, intuyen que las actitudes proambientales podrían aumentar en las audiencias ya convencidas si los mensajes sostenibles proceden de personas influyentes no ecológicas (p. ej., del sector de la belleza).

No obstante, Torren-Peraire et al. (2024) especifican que la disparidad entre *greenfluencers* y seguidores/as debe ser relativamente pequeña para que mantengan la relación pero lo suficientemente grande para que aún exista un potencial de cambio de actitud.

Más recientemente, Le et al. (2025) plantean un modelo integral para explicar los efectos de las relaciones establecidas entre los/as *greenfluencers* y las prácticas de consumo sostenible llevadas a cabo por sus seguidores/as y, de este modo, poder diseñar estrategias eficaces de marketing ecológico. En concreto, se defiende que las relaciones sólidas y de confianza logradas por los/as *greenfluencers* hacia sus seguidores/as, manteniendo una actitud cordial, cercana y accesible (es decir, como si fueran “buenos amigos”) determinan la intención de compra ecológica y el activismo ambiental. Además, para fomentar la confianza es importante que los/as *greenfluencers* respondan de forma proactiva ante la información sesgada relacionada con el *greenwashing* (el engaño sobre las prácticas o los productos ecológicos, para conseguir un lavado de imagen y que son percibidos como una traición).

Por último, De Silva et al. (2025) recuerdan que tanto las intenciones como las conductas proambientales se incrementan cuando existe una percepción de semejanza, afinidad o congruencia entre el autoconcepto de los/as seguidores/as y la imagen que transmiten los/as *greenfluencers*. De este modo, se plantea que los/as *greenfluencers* pueden

contribuir a la formación de una intención, una predisposición o una actitud proambiental transmitiendo valores cívicos, concienciando a la ciudadanía sobre aspectos ecológicos y ayudando a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible.

5. CONCLUSIONES

En definitiva, los resultados obtenidos tras la realización de la revisión sistemática indican que la investigación centrada en este fenómeno ha ido creciendo año tras año y su repercusión es amplia, ya el número de citas acumuladas es elevado. Asimismo se encuentra que la mayoría de los estudios se ha realizado desde instituciones europeas.

Por otra parte, los artículos evidencian que los/as *greenfluencers* despiertan confianza entre sus seguidores/as, sobre todo si su popularidad es moderada y si se establece una relación parasocial, de proximidad emocional. Concretamente, estos/as *influencers* pueden desencadenar actitudes positivas hacia los productos ecológicos y hacia el consumo responsable. Es más, se observa que estas personas pueden promover en sus seguidores/as comportamientos respetuosos con el medio ambiente y una disposición a implicarse en el activismo ambiental cuando se transmite autenticidad y coherencia entre los mensajes y sus acciones (como reciclar, consumir, viajar o cocinar de forma sostenible, etc.).

Por lo tanto, se concluye que los/as *greenfluencers* pueden considerarse, en cierta manera, como agentes para la educación ambiental informal, líderes inspiracionales o modelos ecológicos a seguir en aspectos relacionados con la problemática ambiental.

En suma, tras el análisis de las investigaciones revisadas, en esta comunicación se defiende que la tendencia del *greenfluencing* está despertando un creciente interés científico porque puede inspirar un estilo de vida sostenible y promover comportamientos proambientales, que son iniciativas coherentes con los principios defendidos desde la Educación Ambiental.

Política de Inteligencia Artificial

La autora declara no haber hecho uso de Inteligencia Artificial (IA) para la elaboración del capítulo.

6. REFERENCIAS

- Boerman, S. C., Meijers, M. H., & Zwart, W. (2022). The importance of influencer-message congruence when employing greenfluencers to promote pro-environmental behavior. *Environmental Communication*, 16(7), 920-941. <https://doi.org/10.1080/17524032.2022.2115525>
- Buvár, Á., Zsila, Á., & Orosz, G. (2023). Non-green influencers promoting sustainable consumption: Dynamic norms enhance the credibility of authentic pro-environmental posts. *Frontiers in Psychology*, 14, 1112762. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1112762>
- Cavazos-Arroyo, J., & Melchor-Ascencio, A. (2023). Influencia de la credibilidad del greenfluencer en el comportamiento de compra de productos verdes. *PsyEcology*, 14(1), 81-102. <https://doi.org/10.1080/21711976.2022.2147656>
- Cooke, P., Nunes, S., Oliva, S., Lazzeretti, L. (2022). Open innovation, soft branding and green influencers: Critiquing 'Fast Fashion' and 'Overtourism'. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), 52. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010052>
- Coombs, P. H. (1978). La crisis mundial de la educación. Península.
- Conte, F., Sammartino, F., Bertolini, A., Siano, A., & D'Onza, I. (2025). The role of greenfluencers' communication in overcoming consumers' barriers to circular economy: An explorative study on @Eco.narratrice. *Sustainability*, 17(5), 1994. <https://doi.org/10.3390/su17051994>
- Cui, T., Tang, S., & Iqbal, Q. (2024). The role of green influencers on users' green consumption intention: an empirical study from China and Pakistan. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*. <https://doi.org/10.1108/APJML-05-2024-0561>
- De Silva, M. J. B., de Lima, M. I. C., dos Santos, M. D., da Silva Santos, A. K., da Costa, M. F., Melo, F. V. S., & de Farias, S. A. (2025). Exploring the interplay among environmental knowledge, green purchase intention, and pro-environmental behavior in greenfluencing scenarios: The mediating effect of self-congruity. *Sustainable Development*, 33(3), 4112-4127. <https://doi.org/10.1002/sd.3343>
- Dekoninck, H., & Schmuck, D. (2025). Battle of the E-cowarriors: Differential effects of environmental appeals by influencers and organizations on youth's pro-environmental attitudes and behavior intentions. *Computers in Human Behavior*, 162, 108478. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108478>
- Dekoninck, H., Van Houtven, E., & Schmuck, D. (2023). Inspiring G(re)en Z: Unraveling (Para)social Bonds with Influencers and Perceptions of Their Environmental Content. *Environmental Communication*, 17(7), 701-719. <https://doi.org/10.1080/17524032.2023.2237693>

- Ding, A., Legendre, T. S., Lee, H. S., & Min, J. (2024). The transferability of passion: how green influencers inspire tourists' green initiative support. *Journal of Sustainable Tourism*, 1-18.
<https://doi.org/10.1080/09669582.2024.2438245>
- Foresto, E. (2020). Aprendizajes formales, no formales e informales. Una revisión teórica holística. *Contextos de Educación*, 29(21), 24-36.
- Giambastiani, G., Romito, S., & Vurro, C. (2025). When does collaborating with green influencers backfire? An experimental analysis of how authenticity components shape consumer reactions to sponsored content. *Business Strategy and the Environment*, 34(3), 3385-3399.
<https://doi.org/10.1002/bse.4143>
- Hartmann, P., Apaolaza, V., Paredes, M. R., & D'Souza, C. (2025a). How greenfluencers boost climate action: why inspirational green leadership matters. *International Journal of Consumer Studies*, 49(3), e70050.
<https://doi.org/10.1111/ijcs.70050>
- Hartmann, P., Apaolaza, V., Paredes, M. R., & D'Souza, C. (2025b). Virtual nature experiences on Instagram: how greenfluencers' nature posts drive climate action. *International Journal of Advertising*, 44(4), 620-650.
<https://doi.org/10.1080/02650487.2024.2447218>
- Kapoor, P. S., Balaji, M. S., & Jiang, Y. (2023). Greenfluencers as agents of social change: The effectiveness of sponsored messages in driving sustainable consumption. *European Journal of Marketing*, 57(2), 533-561.
<https://doi.org/10.1108/EJM-10-2021-0776>
- Kılıç, İ., & Gürlek, M. (2023). Green influencer marketing: conceptualization, scale development, and validation: an application to tourism products. *Journal of Sustainable Tourism*, 32(10), 2181-2206.
<https://doi.org/10.1080/09669582.2023.2273755>
- König, S., & Maier, E. (2024a). Preaching to the choir: Do green influencers make a difference? *Journal of cleaner production*, 447, 141449.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141449>
- König, S., & Maier, E. (2024b). The effect of green influencer message characteristics: Framing, construal, and timing. *Psychology & Marketing*, 41(9), 1979-1996. <https://doi.org/10.1002/mar.22021>
- Knupfer, H., Neureiter, A., & Matthes, J. (2023). From social media diet to public riot? Engagement with "greenfluencers" and young social media users' environmental activism. *Computers in Human Behavior*, 139, 107527.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107527>
- Kumar, V., & Nanda, P. (2024). Social media as a learning tool: A perspective on formal and informal learning. *International Journal of Educational Reform*, 33(2), 157-182. <https://doi.org/10.1177/10567879221094303>

- Le, H. T. P. M., Van Nguyen, P., & Stokes, P. (2025). Green influencers and consumers' decoupling behaviors for parasocial relationships and sustainability. A comparative study between Korea and Vietnam. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 84, 104256. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2025.104256>
- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE). *Boletín Oficial del Estado*, 340. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3/con>
- Naciones Unidas (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
- Narayanan, P. (2024). Against the green schema: How gen-AI negatively impacts green influencer posts. *Psychology & Marketing*, 42(4), 970-986. <https://doi.org/10.1002/mar.22159>
- Oivo, T. (2025). The Environmental Agenda in exceptional and not-so-exceptional times in Russia. *Environmental Communication*, 19(4), 766-782. <https://doi.org/10.1142/S0219649225500510>
- Oficina Española de Cambio Climático (2022). Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Olbermann, Z., Mayer, F., & Schramm, H. (2024). Greenfluencing through the power of emotions? Impact of message frames and emotionally matching background music on the effectiveness of influencers' environmental communication. *Social Media + Society*, 10(2). <https://doi.org/10.1177/20563051241254381>
- Pittman, M., & Abell, A. (2021). More trust in fewer followers: Diverging effects of popularity metrics and green orientation social media influencers. *Journal of Interactive Marketing*, 56(1), 70-82. <https://doi.org/10.1016/j.intmar.2021.05.002>
- Pittman, M., & Milfeld, T. (2023). Enviro-Bragging: When influencers should not be humble about a brand's sustainability. *Journal of Interactive Advertising*, 23(3), 259-274. <https://doi.org/10.1080/15252019.2023.2232781>
- Serantes-Pazos, A. (2017). Educación Ambiental e Educación para a Cidadanía Global: encontro de movimientos educativos? *Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación*, Extr.(4), 1-4. <https://doi.org/10.17979/reipe.2017.0.04.3036>
- Torren-Peraire, D., Savin, I., & Van den Bergh, J. (2023). An agent-based model of cultural change for a low-carbon transition. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 27(1). <https://doi.org/10.18564/jasss.5291>

- UNESCO (2022). Berlin Declaration on Education for Sustainable Development; Learn for our planet: act for sustainability.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381228.locale=es>
- UNESCO (2024). Mainstreaming social and emotional learning in education systems: policy guide. <https://doi.org/10.54675/ORWD6913>
- Wu, S., Lim, A. F., & Lim, W. Y. (2025). The role of green influencers in shaping green brand image: A mediation analysis of green consumer trust. *Journal of Information & Knowledge Management*, 2550051.
<https://doi.org/10.1142/S0219649225500510>

COMPORTAMIENTO PROAMBIENTAL Y PREOCUPACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN FUTUROS/AS EDUCADORES/AS

CARMEN VIZOSO-GÓMEZ
Universidad de León

1. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), reconocida como una institución de referencia mundial, defiende el papel esencial de la educación para amparar la paz entre los pueblos y el desarrollo sostenible de las civilizaciones, garantizando así el futuro de la humanidad y del planeta (UNESCO, 2022a). En la Conferencia Mundial de la UNESCO celebrada en 2021 en Berlín, se acordó que la Educación para el Desarrollo Sostenible debe estar presente en todas las etapas de los sistemas educativos, aportando los conocimientos necesarios y las habilidades socioemocionales para que las personas puedan llevar a cabo comportamientos sostenibles de forma individual y colectiva, animando especialmente a la juventud para que desempeñe un papel protagonista en la transformación social hacia un futuro sostenible en el que se respete el bienestar colectivo (UNESCO, 2022b).

En cuanto al sistema educativo español, uno de los principios esenciales reside en contemplar una educación para la transición ecológica, tal y como aparece reflejado en la normativa en vigor, es decir, en la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE, en adelante). En este contexto, se defiende la relevancia de la Educación para el Desarrollo Sostenible y la Ciudadanía Mundial porque contribuye a la sostenibilidad ambiental, social y económica, así como al desarrollo de un estilo de vida saludable, promoviendo la práctica de conductas como

el reciclaje, el consumo responsable, el contacto con la naturaleza y el respeto hacia el medio ambiente y los animales.

Este principio pedagógico está estrechamente relacionado con la necesidad de asumir los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, en adelante) y la Agenda 2030, formulados por la Asamblea General de las Naciones Unidas (2015, 2023). Más concretamente, se fundamenta en el ODS número 4 y la meta 4.7, donde se plantea que es preciso “asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles” (Naciones Unidas, 2015, p. 20) y también con el ODS número 13 y la meta 13.3, en la que se insta a “mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana” (Naciones Unidas, 2015, p. 26).

A modo de ejemplo, en la etapa de Educación Primaria se debe trabajar la educación para el consumo responsable y el desarrollo sostenible junto con otros contenidos como la educación para la salud o la educación emocional y en valores, promoviendo el ejercicio de la reflexión y de la autonomía. De la misma manera, en la etapa de Educación Secundaria Obligatoria se deben incluir contenidos relacionados con el respeto de los Derechos Humanos y de la Infancia, la educación para el desarrollo sostenible y la ciudadanía mundial. Es más, tanto en el Bachillerato como en la Formación Profesional, así como en la Educación de personas adultas y en los procesos de formación del profesorado se incide en la promoción de capacidades que permitan al alumnado asumir una actitud de responsabilidad y compromiso para luchar frente al cambio climático y para fomentar el desarrollo sostenible. Así mismo, en la educación superior se deben asumir también los ODS y contribuir en la construcción de un sociedad más sostenible, justa y pacífica para lograr el bien común (UNESCO, 2023). En particular, existen titulaciones universitarias, como los estudios de Pedagogía y o los de Educación Social, en las que se incluyen materias relacionadas con la Educación Socioambiental y con la Educación para la Salud y Medio Ambiente que tienen por objetivo esencial el promover el desarrollo sostenible

(Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, 2005). En este sentido, se dibuja el perfil profesional de Educador/a ambiental, que debe defender y concienciar sobre un desarrollo sostenible que permita preservar el medio ambiente así como la calidad de vida, aportando respuestas educativas a la problemática ambiental.

En definitiva, desde el sistema educativo se pretende lograr que todo el alumnado como también el profesorado, adquiera los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo conveniente. Se trata, pues de defender la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida equilibrados, los derechos humanos, la ciudadanía mundial, la valoración de la diversidad cultural y la contribución de la cultura al desarrollo sostenible. Por lo tanto, cabría esperar que las personas que a lo largo de su vida han accedido al sistema educativo formal hayan adquirido conocimientos y alcanzado aptitudes que les capaciten para llevar a cabo comportamientos proambientales.

A grandes rasgos, se puede definir el comportamiento proambiental o responsable ecológicamente como “la acción que realiza una persona, de forma individual o colectiva, a favor de la conservación de los recursos naturales y dirigidos a obtener una mejor calidad del ambiente” (Palavecinos et al., 2008, p. 245). Además, esta conducta debe ser efectiva, deliberada, anticipatoria, solidaria y austera.

Entre los comportamientos identificados como proambientales se puede mencionar, por ejemplo, los siguientes (Centro de Investigaciones Sociológicas, 2010): separar los diferentes componentes reciclables de la basura (i. e., vidrio, latas, plásticos o periódicos); comprar frutas o verduras ecológicas (i. e., cultivadas sin productos químicos ni pesticidas), dejar de utilizar el coche, reducir el consumo de energía o gasóleo en casa, ahorrar o reutilizar agua y también evitar comprar ciertos productos por razones medioambientales. Según Rivera-Torres y Garcés-Ayerbe (2018) las conductas sostenibles podrían clasificarse como conductas de activismo (p. ej., inscribirse en una asociación ecológica), conductas de buena ciudadanía (p. ej., reutilizar los envases o usar las papeleras), y conductas de consumo saludable (p. ej. comprar alimentos de temporada). Además, estas acciones se pueden realizar desde el

ámbito privado (p. ej., plantar árboles el jardín de casa) o desde el ámbito público (p. ej., participar en manifestaciones contra la deforestación). Por otra parte, Olivos et al. (2014) diferencian entre conductas proambientales ecologistas (p. ej., ser voluntario/a en organizaciones ecologistas), conductas proambientales urbanas (p. ej., usar los contenedores de residuos), y conductas proambientales campistas (p. ej., realizar acampadas en las zonas habilitadas).

Ahora bien, cabe señalar que en diversos estudios científicos se defiende que la educación ambiental y los conocimientos sobre ecología y sostenibilidad no son suficientes para determinar la puesta en práctica de conductas proambientales. Así, es oportuno recordar las palabras de Puig et al. (2014), quienes aportan la siguiente reflexión:

Nos enfrentamos al reto de aprender e integrar de continuo en nuestra conducta individual y social, en todas y cada una de las disciplinas y ocupaciones humanas, las lecciones que el contacto con el medio natural, las ciencias del medio ambiente, y en particular la ecología, nos ofrecen. Las necesitamos para entender nuestra identidad de una forma que nos permita construir humanidad en cada lugar social concreto, de la mano de la naturaleza y su conocimiento. De esa comprensión del ser humano depende que «seamos» más y más humanos a través de nuestras elecciones, más y más coherentes con la humanidad de nuestra dimensión corporal. Una dimensión que nos abre, de suyo, a la relación con el ecosistema y a estar necesitados de él como seres humanos, no sólo como cuerpos. (p. 136)

En este sentido, se entiende que para actuar de forma ética y responsable es necesario asumir un compromiso más allá del simple hecho de conocer saber las normas. Respecto al comportamiento proambiental, las personas pueden saber que es conveniente usar el transporte público pero, sin embargo, siguen utilizando su vehículo particular de combustión para desplazarse porque no están dispuestas a realizar el esfuerzo o el sacrificio de renunciar a cierto grado de comodidad e independencia. Así, es evidente que resulta complicado (y en ocasiones costoso) cambiar algunas rutinas insostenibles que están arraigadas en el repertorio de conductas de la mayoría de las personas. Tal y como señalan Díaz y Páramo (2024), para que se tome la decisión de llevar a cabo conductas sostenibles es preciso ser consciente de los beneficios personales y colectivos que se obtienen a corto y a largo plazo.

Un aspecto importante para cambiar las rutinas es desarrollar una Inteligencia Ambiental que, según Torroba et al. (2023) determina la capacidad para comprender la situación medioambiental pero, además, permite mantener una cierta sensibilidad y responsabilidad respecto a las consecuencias de los propios actos y, por lo tanto, afecta al comportamiento ambiental. Los indicadores de esta Inteligencia Ambiental serían la capacidad para disfrutar con la naturaleza, la implicación en la protección de la naturaleza y la consciencia sobre los hábitos de consumo para proteger el medio ambiente. Otros factores que resultan significativos a la hora de tomar decisiones sostenibles serían la Identidad Ecológica o Ambiental, que comprende tanto actitudes y valores como comportamientos que definen el autoconcepto personal desde un profundo apego emocional hacia la naturaleza (Olivos y Aragonés, 2011), el Compromiso con la naturaleza, que representa el apego y la orientación de respeto e interdependencia hacia el entorno natural (Davis et al., 2009), y la Empatía Ambiental, que refleja un proceso socioemocional que capacita para comprender y sentir todos los elementos relacionados con el medioambiente (Esteban et al., 2022). Por el contrario, la Apatía Ambiental evidencia una ausencia de preocupación por los problemas ambientales, por lo que sería uno de los principales obstáculos para la realización de comportamientos proambientales o sostenibles (Amérigo et al., 2012; 2020).

En particular, desde la UNESCO (2025) se afirma que la Educación para el Desarrollo Sostenible debe asumir un enfoque socioemocional, garantizando así “un equilibrio equitativo entre las áreas cognitiva, social y emocional afectivas y conductuales del conocimiento, competencias, aptitudes y actitudes” (p. 10). De esta forma, la educación debería ir más allá de la simple transmisión de conocimientos, contemplando también aspectos actitudinales y afectivos.

En definitiva, se entiende que las personas que han recibido una educación formal desde la que se defienden los ODS y en la que se incluye la Educación para el Desarrollo Sostenible y la Ciudadanía Mundial, deben contar con conocimientos sobre ecología, medio ambiente y sostenibilidad. Esta formación debería haber despertado cierto grado de preocupación por la situación de crisis medioambiental actual y, por ende, de

implicación por revertirla; es decir, la juventud (que ha cursado los estudios obligatorios de educación formal) debería conocer los retos de sostenibilidad, (pre)ocuparse por el cuidado de la naturaleza y de todos los seres vivos y llevar a la práctica comportamientos proambientales.

En la literatura científica existen múltiples estudios en los que se evalúa la conducta proambiental y la conectividad con el medio ambiente en estudiantes de diferentes etapas educativas (p. ej., Cuadrado et al., 2022; Ibáñez et al., 2022; Mathew y Parameswari, 2023; Palacios et al., 2023; Pasca et al., 2020), sobre todo en jóvenes estudiantes universitarios/as (Amérigo et al., 2020; Burgos-Espinoza et al., 2024; Cuadrado et al., 2023; Davis et al., 2009; Olivos et al., 2014; Saz y Pérez, 2022). En este capítulo, se trata de estudiar los comportamientos proambientales y también la preocupación/apatía ambiental en estudiantes universitarios. De este modo se podría comprobar si los/as estudiantes han asumido cierta responsabilidad medioambiental y si ponen en práctica los conocimientos y las competencias desarrolladas durante el período de educación formal.

2. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta lo expuesto, el principal objetivo del presente estudio consiste en analizar el comportamiento proambiental y la (des)preocupación o apatía medioambiental en estudiantes universitarios/as.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer la relevancia concedida a la Educación para el Desarrollo Sostenible desde las instituciones educativas internacionales.
- Subrayar la importancia que tiene la Educación para el Desarrollo Sostenible y la Ciudadanía Mundial en el sistema educativo español.
- Considerar los principales factores que pueden influir en la realización de conductas proambientales.

- Evaluar el comportamiento proambiental y la (des)preocupación o apatía medioambiental en estudiantes universitarios/as.
- Proponer posibles actuaciones para promover el compromiso y la motivación hacia el cuidado del medio ambiente en la juventud.

3. METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo propuesto se evaluó a una muestra de conveniencia formada por 126 estudiantes universitarios (87% mujeres y 13% hombres). Todas las personas participantes estaban matriculadas en el Grado en Educación Social y asistían a las clases (ya que el registro se realizó en las aulas). La media de edad de las personas participantes fue de 20 años (DT = 1,97).

En un primer momento, las personas implicadas debían indicar que participaban voluntariamente en el estudio tras haber leído el consentimiento informado. Además, debían aportar datos sociodemográficos relativos a la edad y al sexo (hombre / mujer). Los instrumentos empleados fueron los siguientes: la escala de Comportamiento Proambiental y la escala de Apatía Medioambiental.

Se empleó una metodología cuantitativa, con un diseño descriptivo de corte transversal. Los datos se registraron mediante la técnica de encuesta.

La Escala de Comportamiento Proambiental utilizada en este estudio se compone de nueve ítems tomados de la Escala de Intención de Comportamiento Proambiental (Olivos et al., 2014; Sevillano et al., 2017), que son los siguientes: 1) Realizo actividades de voluntariado en organizaciones ecologistas, 2) Cambio de productos por razones ecologistas, 3) Aconsejo sobre conductas ecológicas a otras personas, 4) Evito comprar ropa hecha con pieles, 5) Reciclo papel, 6) Tiro envoltorios, papeles o colillas al suelo (este ítem puntúa de forma inversa), 7) Uso las papeleras, 8) Respeto las plantas de parques y jardines, y 9) Recojo los restos de barbacoas, botellones, reuniones, realizadas al aire libre.

En cuanto a la (des)preocupación, el instrumento empleado fue la Escala de Apatía Medioambiental (Amérigo et al., 2012; 2020) que consta de cinco ítems: 1) La cuestión de la contaminación global no me afecta

demasiado porque estoy saturada/o de esas cuestiones, 2) No me importan los problemas ambientales, 3) Mi bienestar personal es independiente del bienestar del mundo natural, 4) No estoy dispuesta/o a dedicarme más de la cuenta a las cuestiones de la ecología porque es trabajo del gobierno, 5) La contaminación no es algo que esté afectando directamente a mi vida.

Para ambos cuestionarios, las respuestas se registraron en una escala tipo Likert de 5 puntos, donde 1 significa estar “Totalmente en desacuerdo” y 5 equivale a estar “Totalmente de acuerdo”.

Los instrumentos empleados se aplicaron en sesiones presenciales grupales en el aula habitual, contando con la colaboración de las profesoras. Los/as participantes recibían información sobre el estudio y sus características, además de conocer la voluntariedad respecto a la participación. La persona responsable de la investigación estaba presente para responder a las dudas que planteasen los/as estudiantes. Para analizar los datos se utilizó el software de cálculo Excel, ya que sólo se realizaron análisis descriptivos para conocer específicamente las conductas proambientales realizadas, así como el grado de apatía o preocupación que presentan los/as estudiantes examinados.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados encontrados en relación con cada uno de los instrumentos empleados.

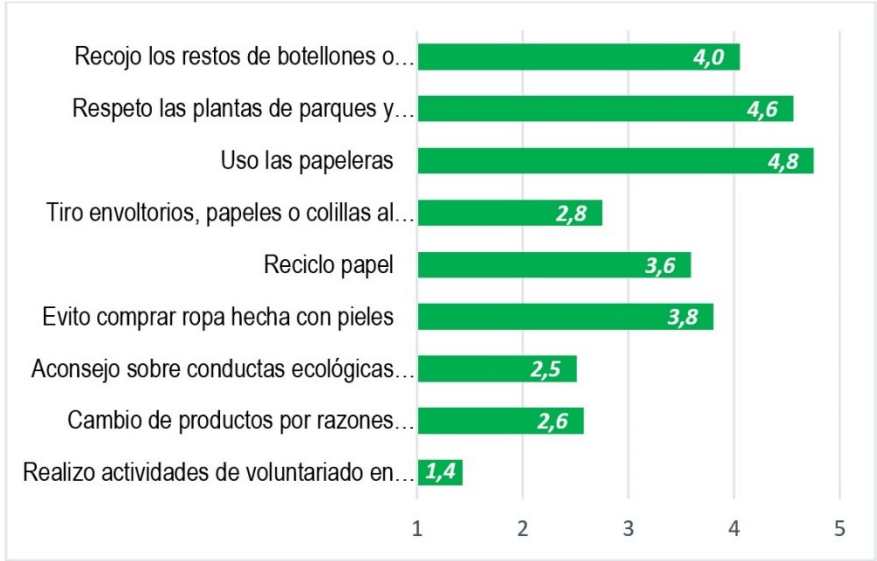
4.1. COMPORTAMIENTO PROAMBIENTAL

Respecto al comportamiento proambiental, se observa que el índice general de conductas es relativamente alto con una puntuación total media de 3,32 frente a un máximo de 5 puntos, lo que equivaldría a estar relativamente de acuerdo con la determinación para realizar comportamientos proambientales.

En el Gráfico 1 se puede apreciar que las puntuaciones medias más altas se registraron para las afirmaciones “Uso las papeleras” y “Respeto las plantas de parques y jardines” (que revelan un

comportamiento más cívico que de activismo proambiental). Por el contrario, las puntuaciones medias más bajas se dieron en los enunciados “Realizo actividades de voluntariado en organizaciones ecologistas”, “Aconsejo sobre conductas ecológicas a los otros” y “Cambio de productos por razones ecologistas”, que son los verdaderamente identificados como propiamente ecologistas.

GRÁFICO 1. *Puntuaciones medias para cada comportamiento proambiental.*



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 1 se presentan de forma más específica las respuestas registradas para cada ítem. Así, se encuentra que nadie ha afirmado que nunca use las papeleras y muy pocas personas indican que no respetan las plantas de los parques, que tiren envoltorios al suelo o que no compren ropas hechas con pieles; por el contrario, la mayoría indican que están totalmente de acuerdo con esas afirmaciones.

Sin embargo, menos de la mitad están totalmente de acuerdo con que realizan conductas como recoger los residuos que han generado en botellones, barbacoas, etc. Además, la mitad de los/as participantes reflejan que reciclan el papel. Por último, cabe destacar que la mayoría reconocen que no participan en organizaciones ecologistas, ni aconsejan

sobre conductas ecologistas a los demás, y tampoco cambian sus hábitos de consumo por razones ecologistas.

TABLA 1. *Porcentaje de respuestas para cada rango en cada comportamiento proambiental.*

	Respuestas				
Comportamiento proambiental	1	2	3	4	5
Recojo los restos de botellones...	7,9%	6,3%	19%	22,2%	44,4%
Respeto las plantas de parques ...	0,8%	0,8%	3,2%	34,9%	60,3%
Uso las papeleras	0%	0,8%	3,2%	19%	77%
Tiro envoltorios, ..., colillas al suelo*	49,2%	18,3%	17,5%	10,3%	4,8%
Reciclo papel	9,5%	13,5%	26,2%	21,4%	29,4%
Evito comprar ropa hecha con pieles	7,9%	15,9%	14,3%	15,9%	46%
Aconsejo sobre conductas ecologistas...	26,2%	22,2%	27,8%	19,8%	4%
Cambio de productos por razones...	21,4%	28,6%	31%	13,5%	5,6%
Realizo actividades de voluntariado...	71,4%	15,9%	9,5%	1,6%	1,6%

* Puntuación inversa.

Fuente: Elaboración propia

4.2. APATÍA MEDIOAMBIENTAL

De forma general, los resultados hallados revelan que los/as estudiantes participantes muestran un nivel de apatía medioambiental relativamente bajo, con una puntuación global media de 2,04 frente un máximo de 5 puntos, lo que se correspondería con estar parcialmente en desacuerdo con esta actitud.

Tal y como se puede observar en el Gráfico 2, las puntuaciones medias más altas se dieron respecto a las afirmaciones “La contaminación no es algo que esté afectando directamente a mi vida” y “Mi bienestar personal es independiente del bienestar del mundo natural”. Sin embargo, las puntuaciones medias más bajas de apatía medioambiental se registraron en la afirmación “No me importan los problemas ambientales”.

En la Tabla 2 se puede observar que poco más de la mitad de los/as participantes niegan rotundamente que no les importen los problemas ambientales. Es más, hay personas que se muestran indiferentes hacia los problemas ambientales o directamente no les importan.

GRÁFICO 2. Puntuaciones medias para cada afirmación sobre preocupación/apatía medioambiental.



Fuente: Elaboración propia

TABLA 2. Porcentaje de respuestas para cada rango en cada afirmación sobre preocupación/apatía medioambiental.

	Respuestas				
Apatía medioambiental	1	2	3	4	5
La contaminación global no me afecta...	32,5%	31,7%	24,6%	8,7%	2,4%
No me dedico a cuestiones ecológicas...	24,6%	47,6%	24,6%	2,4%	0,8%
Mi bienestar no depende del natural	26,2%	39,7%	19,8%	10,3%	4%
No me importan estos problemas	58,7%	30,2%	6,3%	3,2%	1,6%
Estoy saturado/a de estas cuestiones	29,4%	42,1%	18,3%	8,7%	1,6%

Fuente: Elaboración propia

También cabe destacar que más de la cuarta parte de los/as participantes piensan, en cierta medida, que la contaminación es algo que no les afecta demasiado y que su bienestar no depende del bienestar natural. Por último, se encuentra que parte de las personas señalan que están ya saturadas de las cuestiones medioambientales y ecológicas y que no se dedican a solucionar estos problemas, delegando responsabilidades en el gobierno.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los descritos por otros/as autores/as en investigaciones realizadas con estudiantes universitarios.

En primer lugar, se encuentra que los/as estudiantes universitarios/as afirman que están moderadamente de acuerdo con que realizan comportamientos proambientales, pero también se observa que no todas las conductas se realizan en el mismo grado.

En particular, las conductas más realizadas son las que se podrían considerar proambientales pero al mismo tiempo tradicionalmente cívicas o de convivencia en el espacio público, como por ejemplo utilizar las papeleras, no tirar envoltorios o colillas al suelo o respetar los jardines y los parques. Sin embargo, son muy pocos los/as participantes que confirmen que realizan comportamientos que entrañan un activismo ecológico de mayor implicación, sacrificio o esfuerzo, como colaborar con organizaciones ecologistas o guiar a otras personas sobre cómo realizar conductas ecológicas o cambiar los hábitos de consumo. También Olivos et al. (2014) indicaron que las conductas que ellos denominan urbanas son los comportamientos proambientales que los/as universitarios/as han asumido, mientras que las conductas que ellos llaman ecologistas son las que menos se practican. Estos autores explican que el comportamiento proambiental ecologista, es decir, el más proactivo, está estrechamente relacionado con la conectividad con la naturaleza (i. e., sentir proximidad, admiración y vinculación hacia la naturaleza), con la identidad ambiental (i. e., el sentido de ser parte de y pertenecer al mundo natural) y con el medioambientalismo (i. e., un “compromiso con el medio ambiente de acuerdo con un código moral, un compromiso ideológico, o una identificación ecológica”, p. 375), y, sin embargo, se relaciona de forma negativa con el antropocentrismo (i. e., valorar la naturaleza porque contribuye a la calidad de vida y al bienestar de los seres humanos). Del mismo modo, Cuadrado et al., (2022) establecen una relación directa entre los comportamientos proambientales y la conexión cognitiva (pertenencia e identificación), conductual (p. ej., escuchar, observar o cuidar la naturaleza y los animales) y afectiva (p. ej.,

sentir amor, felicidad o alegría) con la naturaleza. En la misma línea, Davis et al. (2009) plantearon que el comportamiento proambiental depende del grado de compromiso ambiental que presente cada individuo.

Un resultado llamativo, respecto a las conductas proambientales, es que la mitad de los/as participantes indican que están bastante o totalmente de acuerdo con que reciclan el papel, lo cual revela que en torno a la mitad de los/as estudiantes universitarios que han participado en este estudio no suelen reciclar el papel. Este dato es sorprendente porque durante los años de educación formal previa, en las distintas etapas educativas, se les ha debido formar y concienciar para que realicen conductas como el reciclaje o el consumo responsable, tal y como se recoge en la normativa española de educación en vigor, es decir, la LOMLOE.

Por lo tanto, puede ser que los/as estudiantes universitarios/as participantes en este estudio tomen sus decisiones y realicen sus conductas en base a una perspectiva esencialmente antropocéntrica (no ecocéntrica), interpretando que la naturaleza se debe usar para atender principalmente a las necesidades de la especie humana.

En relación con la (des)preocupación o la apatía ambiental, los/as estudiantes presentan un nivel de apatía medioambiental global relativamente bajo, similar al descrito por Amérigo et al. (2012) en el estudio de validación de la Escala de Preocupación Ambiental. Es más, los resultados en cuanto a las afirmaciones con las que están más de acuerdo y más en desacuerdo los/as estudiantes que participaron en este estudio y en el de Amérigo et al. (2012) son las mismas: la mayoría no están de acuerdo con que no les importen los problemas ambientales pero no son tan contundentes al negar que su bienestar personal sea independiente del bienestar ambiental o natural.

En el presente estudio, dado que se analiza cada uno de los enunciados de forma independiente, se advierte que poco más de la mitad de los/as participantes rechazan totalmente la falta de preocupación hacia la situación ambiental. No obstante, algunos/as muestran indiferencia hacia estos problemas ambientales y a otros realmente no les importan. Resulta sorprendente que existan estudiantes universitarios/as, aunque sean una minoría, que sientan esa falta de preocupación medioambiental, dado que

han recibido una educación formal en la que se incide en la Educación para el Desarrollo Sostenible y la Ciudadanía Mundial a lo largo de todas las etapas educativas, tratando de promover la sostenibilidad ambiental, social y económica y también el desarrollo de un estilo de vida saludable, siguiendo las indicaciones dispuestas desde la LOMLOE.

Por otra parte, hay que resaltar que más de la cuarta parte de los/as estudiantes universitarios/as indican que la contaminación no les afecta demasiado y que su bienestar no depende del bienestar natural. Esto revela que estas personas no son conscientes de la interdependencia que existe entre la salud del entorno y la salud de los seres humanos, es decir, de la necesidad de cuidar el medio ambiente y establecer un compromiso de desarrollo sostenible con la naturaleza para que la especie humana pueda sobrevivir, que es uno de los principios básicos de la educación ambiental para el desarrollo sostenible (Novo, 2017; Caride et al., 2025).

No se puede obviar que sólo cuando se asume que para que las personas puedan estar y vivir bien (incluso regular o mal) es necesario que la naturaleza sea respetada y esté bien protegida, se puede aseverar que se ha alcanzado una alfabetización ambiental que debería haberse desarrollado durante la educación obligatoria (Martínez-Aznar et al., 2022).

Por lo tanto, los resultados relativos a la apatía ambiental podrían explicarse también, como los conductuales, desde un enfoque antropocentrista defendido por parte de los/as estudiantes universitarios/as participantes en el estudio.

Por último, algunos/as participantes confiesan que están ya saturados/as acerca de las cuestiones medioambientales y ecológicas y que no se dedican a ellas porque delegan su responsabilidad en el gobierno. Si bien es cierto que los gobiernos, las empresas y las diferentes instituciones y organizaciones deben luchar por combatir la crisis climática y velar por el bienestar del medio ambiente y por mantener la biodiversidad (Novo, 2017; Caride et al., 2025), esto no exime a la ciudadanía de su responsabilidad individual y colectiva respecto al cuidado del entorno.

En definitiva, se puede establecer que la mayoría de los/as estudiantes universitarios llevan a cabo diferentes conductas proambientales y cívicas y que, además, se preocupan moderadamente por la situación

ambiental actual. Sin embargo, un número considerable de estudiantes presentan cierto grado de apatía o despreocupación por el medio ambiente y, además, no realizan conductas comprometidas con el cuidado de la naturaleza y con el desarrollo sostenible ya que delegan su responsabilidad en el gobierno y consideran, entre otros aspectos, que su bienestar no depende del bienestar del entorno natural.

Además, se puede concluir que no todo el estudiantado universitario ha alcanzado una alfabetización ambiental al acceder a la educación superior. Esto resulta inesperado porque estas personas, a lo largo de todos los años de formación obligatoria previa, es decir, al menos desde que tenían seis años, deben haber participado en programas que contemplan los estilos de vida sostenible basados en el marco de una cultura de la sostenibilidad ambiental (en los que se promueve el reciclaje, se defiende el consumo responsable y se fomenta el contacto con los espacios verdes), como se ordena en la LOMLOE).

Por lo tanto, tal vez sea necesario revisar los planes y programas de educación para la transición ecológica implementados dentro del sistema educativo formal, desde el que se pretende que el alumnado asuma las consecuencias de sus acciones diarias en el planeta, incremente su conciencia ecológica y desarrolle empatía hacia su entorno natural y social. Recordando las palabras de María Novo (2020), “la sostenibilización curricular, supone no solo educar sobre sostenibilidad sino también educar para la sostenibilidad” (p. 10). En este sentido, en diversos estudios se incide en la necesidad de potenciar el contacto con la naturaleza para incrementar la empatía, la conectividad con la naturaleza porque repercuten en el bienestar, en la asunción de responsabilidades y en realización de conductas proambientales (Pasca y Aragonés, 2020).

A modo de ejemplo, cabe destacar las propuestas de educación para la sostenibilidad y de agroecología escolar a través de los huertos ecológicos en los centros educativos para fomentar la concienciación y la responsabilidad ambiental mediante el contacto y la conexión con la naturaleza (Barrón y Muñoz, 2015; Estrella, 2020; Marques y Cuéllar, 2021).

También son muy interesantes las propuestas en las que se pretende fomentar la implicación y el compromiso proambiental entre estudiantes

universitarios recurriendo a campañas medioambientales con cierto impacto emocional que impulsan la reflexión, provocan el cambio de actitudes y motiven la práctica de conductas sostenibles específicas (Del Moral et al., 2022; 2023). En este sentido, se defiende que a través de los programas educativos se promueva tanto el conocimiento sobre el medio ambiente como el desarrollo de una inteligencia ambiental caracterizada por la empatía, la preocupación por el medio ambiente y el pensamiento crítico sobre los efectos de las acciones sobre el medio ambiente (Torroba et al., 2023).

Del mismo modo, se debe tener en cuenta la relevancia de la educación ambiental extraescolar en los distintos ámbitos de la práctica educativa para impulsar una transición socioecológica (Caride et al., 2025). Por otra parte, se puede implicar a los/as greenfluencers (i. e., las personas influyentes preocupadas por la naturaleza que utilizan su capacidad de persuasión en las redes sociales para divulgar y promover estilos de vida sostenibles) para que actúen como educadores/as informales (Dekoninck et al., 2023; Hartmann et al., 2025).

Para terminar el capítulo, se debe mencionar que este estudio presenta algunas limitaciones. Así, cabe señalar que el número de participantes es pequeño, por lo que se debería ampliar en futuros trabajos. También hay que tener en cuenta los posibles problemas vinculados a la deseabilidad social, que suelen afectar a las investigaciones en las que se utiliza la técnica de encuesta. En cualquier caso, la presente investigación aporta nuevos datos al estudio de la preocupación ambiental y el comportamiento proambiental en estudiantes universitarios/as.

6. AGRADECIMIENTOS

Llegado este punto, es preciso agradecer al Grupo de Investigación en Educación para la Ciudadanía Global, ECIGAL, por su acogida y apoyo, especialmente a la doctora Araceli Serantes Pazos.

También cabe agradecer su disposición a los/as estudiantes de las Facultades de Educación de la Universidad de León y de la Universidade da Coruña que participaron en este estudio de forma totalmente altruista y voluntaria.

Finalmente, la autora de este capítulo declara no haber hecho uso de la Inteligencia Artificial (IA) para su elaboración.

7. REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. (2005). Libro Blanco. *Título de grado de Pedagogía y Educación Social*. ANECA.
- Amérigo, M., Aragonés, J. I., & García, J. A. (2012). Explorando las dimensiones de la preocupación ambiental. Una propuesta integradora. *PsyEcology*, 3(3), 299-311. <https://doi.org/10.1174/217119712802845705>
- Amérigo, M., García, J. A., Pérez-López, R., Cassullo, G., Ramos, A., Kalyan Venumbaka, S., & Aragonés, J. I. (2020). Analysis of the structure and factorial invariance of the Multidimensional Environmental Concern Scale (MECS). *Psicothema*, 32(2), 275-283. <https://doi.org/10.7334/psicothema2019.281>
- Barrón, Á., & Muñoz, J. M. (2015). Los huertos escolares comunitarios: fraguando espacios socioeducativos en y para la sostenibilidad. *Foro de Educación*, 13(19), 213-239. <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.010>
- Bautista-Cerro, M. J., Murga-Menoyo, M. A. y Novo, M. (2019). La Educación Ambiental en el S. XXI. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 1(1). https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2019.v1.i1.1103
- Burgos-Espinoza, I. I., García-Alcaraz, J. L., Gil-López, A. J., & Díaz-Reza, J. R. (2024). Effect of environmental knowledge on pro-environmental attitudes and behaviors: a comparative analysis between engineering students and professionals in Ciudad Juárez (Mexico). *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13412-024-00991-5>
- Caride, J. A., Gutiérrez-Pérez, J., & Meira-Carteá, P.- Ángel. (2025). Las narrativas climáticas en las agendas educativas: sobre el valor del tiempo para la investigación pedagógica y las políticas ambientales. *Revista Española de Pedagogía*, 83(290), 83-103. <https://doi.org/10.22550/2174-0909.4147>
- Centro de Investigaciones Sociológicas (2010). *Estudio 2837*. CIS
- Cuadrado, E., Macías-Zambrano, L., J. Carpio, A., & Tabernero, C. (2022). The ABC connectedness to nature scale: development and validation of a scale with an approach to affective, behavioural, and cognitive aspects. *Environmental Education Research*, 29(2), 308-329. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2111407>

- Cuadrado, E., Macias-Zambrano, L., Guzman, I., Carpio, A. J., & Tabernero, C. (2023). The role of implicit theories about climate change malleability in the prediction of pro-environmental behavioral intentions. *Environment, Development and Sustainability*, 25(10), 11241-11261. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02525-x>
- Davis, J. L., Green, J. D., & Reed, A. (2009). Interdependence with the environment: commitment, interconnectedness, and environmental behavior. *Journal of Environmental Psychology*, 29(2), 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.11.001>
- Del Moral, M. E., Bellver, M. C., Castañeda, J., & López-Bouzas N. (2022). Elementos potenciadores del 'engagement' de los jóvenes con narrativas proambientales. *Área Abierta. Revista de comunicación audiovisual y publicitaria*, 22(3), 297-319. <https://doi.org/10.5209/arab.83549>
- Del Moral, M. E., López-Bouzas, N., Castañeda, J., & Bellver, M. C. (2023). Impacto proambiental en jóvenes universitarios: emociones generadas e implicación promovida por un storytelling de la ONU. *Doxa Comunicación. Revista Interdisciplinar de Estudios de Comunicación y Ciencias Sociales*, 37, 193-212. <https://doi.org/10.31921/doxacom.n37a1864>
- Dekoninck, H., Van Houtven, E., & Schmuck, D. (2023). Inspiring G(re)en Z: Unraveling (para)social bonds with influencers and perceptions of their environmental content. *Environmental Communication*, 17(7), 701-719. <https://doi.org/10.1080/17524032.2023.2237693>
- Díaz, L. V., & Páramo, P. F. (2024). La formación en reglas proambientales: implicaciones para la educación ambiental y el cambio climático. *Revista Española de Pedagogía*, 82(289), 491-513.
- Esteban, M., Musitu, D., & Amador, L. V. (2022). Ajuste escolar, empatía y conectividad con el medio ambiente natural en el marco de la educación ambiental en educación secundaria en España. *Interdisciplinaria*, 39(3), 243-262.
- Estrella, A. (2020). Educación para la ciudadanía global: Los huertos escolares y los ODS. *Comillas Journal of International Relations*, (19), 91-99. <https://doi.org/10.14422/cir.il9.y2020.007>
- Hartmann, P., Apaolaza, V., Paredes, M. R., & D'Souza, C. (2025a). How greenfluencers boost climate action: why inspirational green leadership matters. *International Journal of Consumer Studies*, 49(3), e70050. <https://doi.org/10.1111/ijcs.70050>
- Ibáñez, M. E., Musitu Ferrer, D., & Amador Muñoz, L. V. (2022). Ajuste escolar, empatía y conectividad con el medio ambiente natural en el marco de la educación ambiental en educación secundaria en España. *Interdisciplinaria*, 39(3), 243-262. <https://doi.org/10.16888/INTERD.2022.39.3.14>

- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE). *Boletín Oficial del Estado*, 340. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3/con>
- Marques, T., & Cuéllar, M. (2021). Los huertos escolares y su potencial como innovación educativa. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 39(2), 163-180. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2886>
- Martínez-Aznar, J., Calvo, G., & Sánchez-León, N. (2022). Alfabetización ambiental y crisis ecosocial: diseño y validación de un cuestionario para 4º de ESO. *Revista de Investigación en Educación*, 20(2), 257-273. <https://doi.org/10.35869/reined.v20i2.4229>
- Mathew, T., & Parameswari, J. (2023). Exploring the relationship between spirituality, environmental attitude, and positive youth development: The mediating role of environmental commitment and psychological well-being. *Trends in Psychology*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s43076-023-00350-3>
- Naciones Unidas (2015). *Resolución A/70/1, aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015: Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://docs.un.org/es/A/RES/70/1>
- Naciones Unidas (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
- Novo, M. (2017). *La Educación Ambiental. Bases éticas, conceptuales y metodológicas*. UNED
- Olivos, P., & Aragonés, J. I. (2011). Propiedades psicométricas de la Escala de Identidad Ambiental (EID). *PsyEcology*, 2(1), 15-24. <https://doi.org/10.1174/217119711794394671>
- Olivos, P., Talayero, F., Aragonés, J. I., & Moyano-Díaz, E. (2014). Dimensiones del comportamiento proambiental y su relación con la conectividad e identidad ambientales. *Psico*, 45(3), 369-376. <https://doi.org/10.15448/1980-8623.2014.3.17309>
- Palacios, M. D., Torío, S., & Murga-Menoyo, M. Á. (2023). Conductas prosostenibilidad y percepciones del estudiantado adolescente sobre prácticas parentales y valores familiares. *Interdisciplinaria*, 40(2), 409-423. <https://doi.org/10.16888/interd.2023.40.2.24>
- Palavecinos, S.M., Martín, R., Díaz, M.J., Piñeiro, C., Benayas, J., Alonso, L.E., & Jiménez, A. (2008). Comportamiento proambiental: estudio del comportamiento de queja ciudadana. Implementación de un sistema participativo de gestión ambiental en Madrid. *International Journal of Social Psychology*, 23(2), 243-257. <https://doi.org/10.1174/021347408784135878>

- Pasca, L., & Aragonés, J. I. (2020). Contacto con la naturaleza: favo-reciendo la conectividad con la naturaleza y el bienestar. *Revista CES Psicología*, 14(1), 100–111. <https://doi.org/10.21615/cesp.14.1.8>
- Pasca, L., Paniagua, D., & Aragonés, J. I. (2020). Psychometric Properties of the Measure of Love for Nature. *The Spanish Journal of Psychology*, 23, e47. <https://doi.org/10.1017/SJP.2020.49>
- Puig, J., Echarri, F., & Jericó, M. C. (2014). Educación ambiental, inteligencia espiritual y naturaleza. *Teoría de la Educación*, 26(2), 115-140. <https://doi.org/10.14201/teoredu201426115140>
- Rivera-Torres, P., & Garcés-Ayerbe, C. (2018). Desarrollo del comportamiento proambiental en los individuos y sus determinantes. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 163, 59-78. <http://dx.doi.org/10.5477/cis/reis.163.59>
- Saz, S., & Pérez, L. (2022). Exploring the Differential Effect of Life Satisfaction on Low and High-Cost Pro-Environmental Behaviors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 277. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010277>
- Sevillano, V., Corraliza, J. A., & Lorenzo E. (2017). Versión española de la escala de Empatía Disposicional hacia la Naturaleza. *International Journal of Social Psychology*, 32(3), 624-658. <https://doi.org/10.1080/02134748.2017.1356548>
- Torroba, M., Bajo-Sanjuan, A., Callejón, A.M., Rosales-Pérez, A., & López, L. (2023). Environmental behavior of university students. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 24(7), 1489-1506. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2022-0226>
- UNESCO (2022a). Reimaginar juntos nuestros futuros: un nuevo contrato social para la educación. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381560.locale=es>
- UNESCO (2022b). *Berlin Declaration on Education for Sustainable Development; Learn for our planet: act for sustainability*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381228.locale=es>
- UNESCO (2023). *Acciones basadas en el conocimiento: transformar la educación superior para la sostenibilidad global*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000387267.locale=es>
- UNESCO (2025). *Integrar el aprendizaje social y emocional en los sistemas educativos: resumen ejecutivo*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391761_spa.locale=es

LA EDUCACIÓN PARA LA SALUD EN EL CONTROL DEL ASMA Y SU RELACIÓN CON LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

LAURA ILLAMOLA MARTÍN

Institut Català de la Salut

Fundació Institut d'investigació en Atenció Primària de Salut Jordi Gol

ISABEL VILAFRANCA MANGUÁN

Universitat de Barcelona

1. INTRODUCCIÓN

A modo de definición se puede decir que el asma es una enfermedad inflamatoria crónica de las vías respiratorias, caracterizada por una hiperreactividad bronquial y una obstrucción variable del flujo aéreo. En general, afecta aproximadamente entre el 6 % y el 10 % de la población adulta (CAMFiC, 2023). El tratamiento de elección son los corticoides inhalados, que actúan directamente sobre la inflamación, el mecanismo central de la enfermedad. Está claro que su uso regular permite aliviar los síntomas, mejorar la función pulmonar, reducir el riesgo de exacerbaciones y disminuir la dependencia de la medicación de rescate. Además, es fundamental no fumar y evitar la exposición al humo del tabaco, por lo que se aconseja la deshabituación tabáquica en pacientes asmáticos fumadores.

Al margen de su tratamiento, es recomendable que los pacientes con asma sigan un programa de educación que incluya conocimientos sobre su enfermedad, el tratamiento, un plan de acción personalizado, la técnica adecuada de inhalación y la identificación de factores ambientales desencadenantes —como la contaminación, los alérgenos o el humo del tabaco—. Sea como fuere, toda esta información debe proporcionarse

al paciente por escrito, constituyendo un elemento clave en el abordaje integral de su enfermedad.

En este contexto, la Educación para la Salud (EpS) se convierte en un pilar esencial del abordaje integral del asma. Más allá del tratamiento farmacológico, es fundamental que los pacientes comprendan cómo el entorno influye en el control de su enfermedad y aprendan a identificar y minimizar la exposición a factores de riesgo a fin de evitar, en la medida de lo posible, la excesiva medicalización del afectado.

Como es sabido, el dióxido de nitrógeno (NO₂), emitido principalmente por el tráfico rodado y la industria, es uno de los contaminantes más relevantes con un elevado y directo impacto en la salud respiratoria (Martínez et al, 2019). De hecho, la evidencia científica muestra que la exposición continuada a concentraciones elevadas de NO₂ se asocia con un mayor riesgo de crisis asmáticas, un aumento en la demanda de atención sanitaria y un uso más frecuente de inhaladores de rescate. Actualmente, existen redes oficiales de control de la calidad del aire que informan sobre los niveles de contaminación. Para una mejor protección de la salud pública, la OMS recomienda un límite anual de 10 µg/m³, mientras que el Parlamento Europeo lo ha fijado en 20 µg/m³. Enseñar a los pacientes a consultar estas fuentes —disponibles en páginas web y aplicaciones móviles— y a adaptar sus actividades diarias en días de alta polución (por ejemplo, evitando el ejercicio al aire libre durante las horas pico de contaminación) resulta clave para proteger su salud.

Al mismo tiempo, el cambio climático ha intensificado la frecuencia de fenómenos extremos como olas de calor, incendios forestales o tormentas de polvo, lo que agrava aún más las condiciones respiratorias en personas vulnerables. Esta realidad refuerza la necesidad de una EpS ambiental que prepare al paciente asmático para identificar estos riesgos y actuar de manera preventiva. Por consiguiente, no solo se aprende a evitar crisis asmáticas, sino que se reduce significativamente el uso prolongado y excesivo de fármacos de rescate.

En rigor, el uso correcto de los inhaladores es esencial para garantizar la eficacia del tratamiento y prevenir exacerbaciones. La EpS debe enfocarse en asegurar una técnica adecuada de inhalación, fomentar la adherencia

terapéutica y enseñar a reconocer señales de empeoramiento. Desde una perspectiva de sostenibilidad, también es conveniente que los profesionales sanitarios prescriban inhaladores de polvo seco (DPI), siempre que sea clínicamente posible, que tienen una menor huella ambiental en comparación con los presurizados. En esta línea de sostenibilidad resulta necesario, también, promover programas de reciclaje de dispositivos, contribuyendo a una atención más respetuosa con el medio ambiente.

En conclusión, la EpS ambiental prepara y forma a los pacientes con asma para que comprendan el impacto del entorno en su enfermedad, identifiquen y reduzcan factores de riesgo, utilicen correctamente sus tratamientos y adopten medidas preventivas frente a la contaminación. No en vano, este enfoque integral no solo mejora el control del asma y reduce las exacerbaciones, sino que también promueve el autocuidado, la sostenibilidad y una mayor conciencia sobre la estrecha relación entre salud y medio ambiente.

2. EL CONCEPTO DE ASMA Y SU TRATAMIENTO

Si bien ya se ha realizado una primera aproximación, resulta imprescindible abordar específicamente y profundizar en el concepto de asma. Como se ha dicho, el asma se caracteriza por ser una enfermedad inflamatoria crónica de las vías respiratorias, determinada por una hiperreactividad bronquial y, en consecuencia, una obstrucción variable del flujo aéreo. Se estima que aproximadamente entre el 6 % y el 10 % de la población adulta padece esta enfermedad (CAMFiC, 2023). Para su tratamiento se prescriben, principalmente, corticoides inhalados, que minimizan la inflamación reduciendo el mecanismo central de la enfermedad. Este medicamento administrado por el inhalador permite aliviar los síntomas, optimizar la función pulmonar, reducir el riesgo de crisis asmáticas y disminuir el uso de la medicación de rescate. Si bien es un método generalizado, es fundamental evitar la inercia terapéutica revisando periódicamente los tratamientos —cada 3 o 6 meses— para ajustar el escalón terapéutico, ya sea ascendiendo o descendiendo, aumentando la frecuencia o espaciando las dosis, según el control de los síntomas y la evolución del paciente.

Por su parte, los pacientes con EPOC pueden manifestar exacerbaciones de su patología que desencadenan un empeoramiento agudo de los síntomas respiratorios. En el caso del asma, los episodios agudos se conocen como crisis asmáticas y se deben a una obstrucción reversible de las vías respiratorias, provocada por inflamación e hiperreactividad bronquial. Resulta evidente que los factores de riesgo más importantes para sufrir estas exacerbaciones incluyen el uso incorrecto o el tratamiento insuficiente —ya sea por falta de prescripción, baja adherencia o una técnica inhalatoria inadecuada— así como la exposición a agentes ambientales que pueden desencadenarlas, como el humo del tabaco o alérgenos en pacientes sensibilizados. La contaminación del aire, con partículas en suspensión, óxidos de nitrógeno y otros contaminantes, agrava la inflamación y la hiperreactividad bronquial, aumentando la frecuencia y severidad de las crisis. La contaminación del aire, con partículas en suspensión, óxidos de nitrógeno y otros contaminantes, agrava la inflamación y la hiperreactividad bronquial, incrementando la frecuencia y gravedad de las crisis. Por ello, es imprescindible, además de realizar revisiones periódicas (al menos una vez al año) para evaluar la técnica inhalatoria y el cumplimiento del tratamiento, revisar la posible exposición a estos factores ambientales, con el fin de reducir riesgos y mejorar el control de la enfermedad.

De esta forma, el manejo adecuado del asma tiene como finalidad alcanzar un buen control clínico y la prevención de crisis. Se basa fundamentalmente en el control de los factores desencadenantes. Entre ellos destacan los neumo-alérgenos, el tabaco, los irritantes ambientales y los sensibilizantes laborales. A fin de evaluar el control de la enfermedad, es necesaria la visita continuada de seguimiento realizada por profesionales sanitarios. Este examen incluye una revisión de la técnica inhalatoria, adhesión al tratamiento y de los planes de automanejo. Así como el uso de cuestionarios validados, que nunca deben emplearse como única herramienta para valorar el control.

3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y NO₂

Antes de continuar, y una vez definida la enfermedad, sus síntomas, sus consecuencias y tratamiento, conviene ver las causas que pueden

provocar su aparición o empeorar la situación en los afectados. Nada nuevo se aporta si se afirma que la contaminación atmosférica es uno de los principales factores ambientales que afectan a la salud humana, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas. Es sabido que representa un riesgo significativo para la salud pública, siendo responsable aproximadamente, según informó la OMS en 2016, de 7 millones de muertes al año en todo el mundo. En el caso que nos ocupa, por ejemplo, la contaminación se ha relacionado con una señalada intensificación de la incidencia de enfermedades, entre ellas respiratorias, como el asma (Martín et al, 2018). Más aún, los niños y adolescentes expuestos a niveles altos de contaminación atmosférica tienen un mayor riesgo de desarrollar asma (Gutiérrez et al, 2018; Khreis et al, 2016).

Cabe destacar que la prevalencia del asma en niños ha crecido considerablemente desde la década de 1950. Aunque no se conoce con exactitud la causa de este incremento, se contempla que está relacionada con cambios en las exposiciones ambientales, especialmente la contaminación atmosférica.

En suma, entre los contaminantes atmosféricos más relevantes se encuentra el dióxido de nitrógeno (NO_2), un gas marrón con un olor intenso que, en elevadas concentraciones, puede afectar negativamente la función pulmonar. Entre las principales fuentes antropogénicas de NO_2 cabe resaltar la combustión derivada de la quema de carburantes fósiles, tanto para fines de movilidad (transporte terrestre, aéreo y marítimo) como de tipo estacionario (industria).

Por ejemplo, en Cataluña, se dispone de 67 puntos de medida de NO_2 . Según el informe *La qualitat de l'aire a Catalunya 2024: diòxid de nitrogen (NO_2)*, los niveles de NO_2 en muchas áreas metropolitanas han disminuido, aunque en algunos puntos concretos aún se superan los límites recomendados, especialmente en zonas de tráfico intenso (Generalitat de Catalunya, 2024). Este contaminante mantiene la tendencia a la baja observada en los últimos años, especialmente en los centros de las ciudades donde se han implementado medidas para mejorar la movilidad (Generalitat de Catalunya, 2025). No obstante, es importante destacar que en los “Días sin coches”, los niveles de NO_2 pueden llegar a reducirse hasta un 40 %, lo que pone de manifiesto la influencia

significativa del tráfico en la calidad del aire. Dado que se prevé que casi el 70% de la población mundial vivirá en áreas urbanas para 2050, la exposición a la contaminación del aire relacionada con el tráfico es un problema global de salud importante y se necesita una rápida y eficaz actuación (Khreis et al, 2016).

Por su parte, los óxidos de nitrógeno (NO₂), que incluyen el NO₂, son precursores de contaminantes secundarios como el ozono troposférico (O₃) y las partículas finas (PM_{2.5}). Dicho con mayor precisión, estos contaminantes secundarios también tienen efectos adversos sobre la salud respiratoria y cardiovascular, aumentando tanto la mortalidad como la morbilidad (Stern, Wang, 2020). De hecho, un estudio realizado por investigadores en Barcelona analizó los efectos en la salud de hacer ejercicio en la ciudad bajo exposición a la contaminación del tráfico. El estudio, con 30 personas sanas en Barcelona, mostró que, aunque el ejercicio mejora la función respiratoria a corto plazo, la exposición a altos niveles de contaminación reduce estos beneficios. A este respecto, se observó una disminución en la función de las vías respiratorias, independientemente del nivel de actividad física. Además, la contaminación previa influye en la función pulmonar. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar la calidad del aire en las recomendaciones para la actividad física en entornos urbanos (Aguilera et al, 2017).

De forma general, la red de control de calidad del aire mide la concentración media anual de NO₂. Históricamente, este valor no debía superar los 40 µg/m³, según el valor límite anual (VLA) establecido por la Directiva Europea 2008/50/CE y también por la Organización Mundial de la Salud (OMS) hasta el año 2021. No obstante, a partir de 2021, la OMS actualizó su recomendación y redujo el límite anual para el NO₂ a 10 µg/m³ con el objetivo de garantizar una mejor protección de la salud pública. En esta línea, el Parlamento Europeo aprobó en 2024 una nueva reducción del límite anual de NO₂, situándolo en 20 µg/m³ (Generalitat de Catalunya, 2024).

Está claro que, tal como demuestran diversos estudios, niveles elevados de NO₂ tienen efectos adversos sobre la salud. Por ejemplo, una investigación realizada en Madrid asoció las superaciones de los 40 µg/m³ con un aumento de las consultas pediátricas por enfermedades respiratorias

(Martín et al, 2018). Al mismo tiempo, se puede afirmar que la contaminación atmosférica podría contribuir a casi la mitad de los nuevos casos de asma infantil en Barcelona cada año. Por consiguiente, cumplir con las directrices de la OMS podría prevenir cientos de estos casos.

Pues bien, el impacto de la contaminación atmosférica no afecta por igual a todos los grupos sociales. Diversos estudios han señalado que los grupos socioeconómicamente más desfavorecidos presentan una mayor carga de enfermedad atribuible, incluyendo el asma infantil (Saleh et al, 2020). Esto se debe, en parte, a que suelen residir en zonas cercanas a vías con alto tráfico o en barrios con menor acceso a espacios verdes.

4. IMPACTO DE LA EXPOSICIÓN AL NO₂ EN LA SALUD RESPIRATORIA

Diversos estudios europeos han evidenciado el impacto negativo de la exposición al NO₂ sobre la salud respiratoria, mostrando una relación significativa entre el aumento de las concentraciones ambientales de NO₂ y el incremento de casos de bronquitis (Ashworth et al, 2021).

En Estrasburgo, incrementos de 10 µg/m³ de NO₂ se han asociado con un aumento del 8,4 % en la venta de salbutamol (un inhalador de rescate) (Laurent et al, 2009). En Bruselas, la exposición a NO₂ se ha relacionado con un incremento en el consumo de medicación respiratoria, especialmente entre adolescentes (Casas et al, 2016). En Londres, se ha observado un aumento de consultas médicas y prescripciones de inhaladores vinculado a la exposición a NO₂, lo que indica una mayor morbilidad respiratoria.

Varios estudios realizados en Cataluña refuerzan esta evidencia. En Barcelona, se estima que hasta el 48 % de los casos de asma infantil podrían atribuirse a la contaminación atmosférica por NO₂ (Pierangeli et al, 2020). En Badalona, se ha documentado un aumento de las visitas a urgencias y de las hospitalizaciones por asma asociado a niveles elevados de NO₂. Además, en el Camp de Tarragona, la reducción de los niveles de NO₂ se correlacionó con una disminución tanto de la mortalidad como de la carga de enfermedad por EPOC (Rovira et al, 2020). También se ha observado que el efecto de los contaminantes

atmosféricos es más significativo en personas con obesidad ($\text{IMC} > 30 \text{ kg/m}^2$) y en mayores de 60 años.

5. LOS INHALADORES DE RESCATE

Uno de los principales objetivos en el control del asma es evitar el uso frecuente de medicación de rescate (SABA), ya que un uso excesivo (más de 200 dosis o ≥ 3 dispositivos al año) se asocia con un mayor riesgo de exacerbaciones, incluso en pacientes con síntomas leves (CAMFIC 2023). De hecho, aproximadamente el 50 % de los broncodilatadores dispensados son inhaladores presurizados (pMDI). El salbutamol en este formato es uno de los medicamentos más prescritos, lo que evidencia la necesidad de una gestión más racional, segura y sostenible (Ecodes, 2022).

Los pMDI utilizan hidrofluorocarbonos (HFC) como propelentes, compuestos con un alto potencial de calentamiento global que contribuyen significativamente a la huella de carbono de los medicamentos (Ecodes, 2022). En consecuencia, conocer esta huella de carbono es clave para priorizar opciones menos contaminantes, ajustar la duración de los tratamientos, evitar prescripciones innecesarias y reducir la polimedicación.

Se puede constatar que muchos pacientes hacen un uso excesivo e inadecuado de los SABA en formato pMDI, y su eliminación no siempre sigue los protocolos establecidos de recogida en farmacias, lo que incrementa aún más su impacto ambiental.

Finalmente, incorporar herramientas de EpS ambiental en la práctica clínica diaria permite un abordaje más preventivo, personalizado y sostenible del asma.

6. EPS AMBIENTAL EN LA PRÁCTICA CLÍNICA

A la luz de todo lo dicho, resulta necesario incorporar herramientas de EpS ambiental en la práctica clínica diaria que permitan un manejo más integral y sostenible del asma. En términos generales, la EpS es una disciplina encargada de orientar y organizar procesos educativos que influyan positivamente en conocimientos, prácticas y hábitos tanto de individuos como de comunidades en relación con su salud. Desde un

punto de vista de sostenibilidad, es importante integrar en este enfoque educativo aspectos relacionados con la salud planetaria y que se impartan conocimientos sensibles sobre el medio ambiente y el impacto de nuestros comportamientos sobre el cuidado del planeta.

La educación ambiental, en términos genéricos, aborda cuatro ámbitos fundamentales. A saber, el desarrollo sostenible, el conocimiento de la naturaleza y los procesos naturales, la cultura del reciclaje y el uso responsable de recursos. En concreto, aplicado al campo de la salud implica considerar las competencias sobre el propio cuidado y promover la salud del planeta. Entre las competencias para lograr y velar por la salud planetaria se incluyen, evitar desplazamientos para minimizar los efectos del cambio climático, atender a las poblaciones vulnerables como la infancia, los ancianos o los colectivos más empobrecidos, incentivar la seguridad alimentaria y del agua, evitar el uso de contaminantes aéreos y atender la salud mental. Para lograr estos objetivos, la educación ambiental se implementa a través de programas escolares, campañas comunitarias, talleres participativos y recursos digitales, que buscan fomentar cambios sostenibles en hábitos y comportamientos individuales y colectivos. En definitiva, se trata de conocer y dar a conocer la interdependencia de los ecosistemas y la salud humana, conocer los efectos del cambio ambiental en la salud, así como el impacto del sector sanitario y su dependencia del medio ambiente (Álvarez et al, 2021).

De esta forma, la EpS ambiental en la práctica clínica sobre el asma, además de mejorar el control de la enfermedad, estas acciones contribuyen a reducir su impacto ambiental. El sistema sanitario, así como el sistema educativo formal, deben asumir un rol activo frente al cambio climático, promoviendo la prescripción responsable, el uso de dispositivos menos contaminantes, el reciclaje de inhaladores y la sensibilización ambiental de pacientes y profesionales.

En este contexto, la hoja verde se presenta como un recurso sencillo y visual que puede incorporarse en la anamnesis clínica. Su aplicación, que toma entre 5 y 7 minutos, permite evaluar y orientar al paciente asmático sobre aspectos ambientales y sostenibles relacionados con su enfermedad. Su objetivo es integrar la educación ambiental en el

manejo clínico del asma, fomentando hábitos saludables que protejan tanto la salud del paciente como la del planeta.

7. IMPACTO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD EN EL USO DE INHALADORES

El sector sanitario es responsable aproximadamente del 4,4 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, porcentaje que en España se sitúa en el 4,5 %. De estas emisiones, el 71 % corresponde a la cadena de suministro (producción, transporte y eliminación de productos como fármacos o dispositivos médicos), el 17 % a emisiones directas de hospitales y el 12 % a fuentes de energía comprada (Ecodes, 2022).

En el tratamiento del asma, los inhaladores presurizados (pMDI) tienen un impacto ambiental considerable debido a los gases propelentes que utilizan, los hidrofluorocarbonos (HFC), compuestos con un alto potencial de calentamiento global. Estos dispositivos suponen aproximadamente el 50 % de los broncodilatadores dispensados en España, siendo el salbutamol pMDI uno de los más prescritos.

La mayor proporción de emisiones asociadas a los inhaladores proviene de la prescripción de dispositivos de rescate, por lo que es necesario realizar esfuerzos adicionales para limitar su uso, adecuando el tratamiento de base y optimizando su gestión. Se estima que sustituir un pMDI por un DPI o un SMI puede reducir la huella de carbono entre un 95 % y un 98 %.

Para reducir esta huella, es clave promover un uso racional de la medicación, evitando el uso excesivo de broncodilatadores de rescate (SABA), que se asocia con un mayor riesgo de exacerbaciones incluso en pacientes con síntomas leves.

En cuanto a la sostenibilidad, muchos inhaladores pMDI se eliminan incorrectamente, depositándolos en la basura en lugar de en puntos de recogida específicos, como el Sistema Integrado de Gestión y Recogida de Envases (SIGRE) en farmacias. Este sistema español asegura que los residuos farmacéuticos se gestionen de forma segura y sostenible para proteger el medio ambiente y la salud pública. Además, permite la

correcta gestión y reciclaje de los inhaladores, separando sus componentes para un tratamiento seguro y responsable.

Por tanto, para mitigar el impacto ambiental del tratamiento respiratorio, se recomiendan varias estrategias:

- Priorizar el uso de inhaladores DPI o SMI cuando sea clínicamente adecuado.
- Incluir criterios medioambientales en la prescripción, equilibrando eficacia y sostenibilidad.
- Educar a pacientes y profesionales en el uso racional y el reciclaje responsable de inhaladores.
- Promover el depósito de inhaladores usados o caducados en los puntos SIGRE para su correcta gestión.

Estas acciones contribuyen a un enfoque integral que protege la salud de los pacientes y del planeta (SEMFYC 2022).

8. PROPUESTAS DE FUTURO PARA UN MANEJO SOSTENIBLE Y AMBIENTALMENTE RESPONSABLE DEL ASMA

1. Fortalecer la Educación para la Salud ambiental
Desarrollar e implementar programas educativos dirigidos a pacientes, profesionales sanitarios y comunidad en general, que promuevan la comprensión del impacto del entorno en el asma y la importancia de adoptar conductas preventivas y sostenibles (Álvarez et al, 2021).
2. Fomentar el uso racional y sostenible de inhaladores
Promover la prescripción preferente de inhaladores con menor huella de carbono, como los DPI y SMI, siempre que sean clínicamente adecuados. Impulsar el uso de dispositivos con contador de dosis y recargables para optimizar el consumo y reducir el desperdicio (Ecodes, 2022).
3. Optimizar el seguimiento clínico y la adherencia terapéutica
Realizar revisiones periódicas para evaluar la técnica inhalatoria y ajustar tratamientos. Utilizar cuestionarios validados

y planes de automanejo personalizados que incluyan aspectos ambientales (CAMFiC, 2023).

4. Reducir la exposición a contaminantes atmosféricos
Integrar en el plan de manejo del paciente estrategias para minimizar la exposición a contaminantes, especialmente en días de alta polución, mediante el acceso a información actualizada sobre la calidad del aire (Generalitat de Catalunya, 2024).
5. Implementar sistemas de reciclaje y gestión adecuada de inhaladores
Extender y promover el uso de puntos de recogida como SIGRE para la correcta eliminación y reciclaje de inhaladores. Realizar campañas de sensibilización para evitar la eliminación inadecuada de residuos (Ecodes, 2022, Khreis et al, 2016).
6. Abordar las desigualdades sociales en salud ambiental
Diseñar políticas y programas que atiendan a los grupos vulnerables, garantizando un acceso equitativo a entornos saludables y a recursos educativos y sanitarios, reduciendo las desigualdades en estas poblaciones (Pierangeli et al, 2020).
7. Fomentar la investigación y vigilancia ambiental
Impulsar estudios epidemiológicos que evalúen el impacto de la contaminación en el asma y la efectividad de intervenciones ambientales. Mejorar y ampliar las redes de monitorización de calidad del aire para facilitar la toma de decisiones informadas (Rovira et al, 2020).
8. Integrar la sostenibilidad en las políticas sanitarias
Incorporar criterios medioambientales en las guías de práctica clínica, contribuyendo a la reducción global de la huella de carbono del sector salud (SEMFYC 2022).

8. CONCLUSIONES

Como se ha visto a lo largo del capítulo, la huella de carbono generada por inhaladores de rescate es relativamente alta. Igualmente, se ha observado una progresiva tendencia al aumento de enfermedades respiratorias, entre las que se encuentra el asma, derivadas, entre otros aspectos, por la contaminación y el cambio climático. Ante esta realidad, resulta necesario abordar una EpS ambiental que permita concienciar,

tanto al personal sanitario como a los educandos del sistema educativo formal, del impacto de nuestras acciones y comportamientos para el cuidado de nuestra salud a la vez que ser responsables con la salud planetaria. En efecto, la EpS ha de ser sostenible e intentar velar porque las personas se responsabilicen no únicamente del cuidado de sí mismas sino también del cuidado del planeta.

En conclusión, la EpS ambiental tiene como principal objetivo formar y enseñar a los pacientes asmáticos a fin de empoderarlos a que comprendan el impacto del entorno en su enfermedad, identifiquen y reduzcan factores de riesgo, utilicen correctamente sus tratamientos y adopten medidas preventivas frente a la contaminación. Este enfoque integral no solo mejora el control del asma y reduce las exacerbaciones, sino que también promueve el autocuidado, la sostenibilidad y una mayor conciencia sobre la estrecha relación entre salud y medio ambiente.

9. REFERENCIAS

- Aguilera, I., Rivas, I., Basagaña, X., et al. (2017). Exposure to traffic-related air pollution during physical activity and acute changes in blood pressure, heart rate variability, and respiratory function in healthy adults. *Environmental Research*, 158, 650-658. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.07.029>
- Álvarez, C., López Medina, I., Sanz Martos, S., Álvarez, N. (2021). Salud Planetaria: educación para una atención primaria sostenible, *Educación Médica*, 22 (6), 352-357. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2021.08.001>
- Ashworth, M., Analitis, A., Whitney, D., Samoli, E., Zafeiratos, S., Atkinson, R., Dimakopoulou, K., Beavers, S., Schwartz, J., Katsouyanni, K. (2021). Spatio-temporal associations of air pollutant concentrations, GP respiratory consultations and respiratory inhaler prescriptions: a 5-year study of primary care in the borough of Lambeth, South London. *Environ Health*, 20 (1), 54. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00730-1>
- CAMFiC (Societat Catalana de Medicina Familiar i Comunitària) (2023). Guía práctica para el manejo del asma 2023. <https://gestorweb.camfic.cat/uploads/Guia-practica-per-al-maneig-de-asma-2023.pdf>
- Casas, L., Simons, K., Nawrot, T.S., Brasseur, O., Declerck, P., Buyl, R., et al. (2016). Respiratory medication sales and urban air pollution in Brussels (2005 to 2011). *Environ Int.*, 94, 576-582. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.019>

- Ecodes (2022). Informe sobre el canvi climàtic i la salut: impacte dels inhaladors en la salut planetària https://ecodes.org/images/que-hacemos/MITERD-2022/cambio_climatico/Informe_Inhaladores.pdf
- Generalitat de Catalunya (2024). La qualitat de l'aire a Catalunya 2024: diòxid de nitrogen (NO₂). Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural. https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/avaluacio/qa_avaluacio_balancos_informes/La-qualitat-de-laire-a-Catalunya-2024-NO2.pdf
- Generalitat de Catalunya (2025). Les concentracions de diòxid de nitrogen en l'aire baixen ostensiblement a la conurbació de Barcelona i es mantenen estables a tot Catalunya. <https://govern.cat/gov/notes-premsa/689523/concentracions-dioxid-nitrogen-aire-baixen-ostensiblement-conurbacio-barcelona-mantenen-estables-catalunya>
- Gutiérrez Oyarce, A., Ferrero, A., Estarlich, M., Esplugues, A., Iñiguez, C., Ballester, F. (2018). Exposición ambiental a dióxido de nitrógeno y salud respiratoria a los 2 años en la Cohorte INMA-Valencia. *Gac Sanit*, 32 (6), 507-512. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.05.012>
- Khreis, H., Kelly, C., Tate, T., Parslow, R., Lucas, K., Nieuwenhuijsen, M. (2016). Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma. A systematic review and meta-analysis. *Environmental International*, 94, 576-582, DOI: 10.13140/RG.2.2.13217.81760.
- Lauren,t O., Pedrono, G., Filleul, L., Segala, C., Lefranc, A., Schillinger, C., et al. (2009). Influence of socioeconomic deprivation on the relation between air pollution and beta-agonist sales for asthma. *Chest.*, 135 (3), 717-723. <https://doi.org/10.1378/chest.08-1604>
- Martín, R., Sánchez-Bayle, M. (2018). Impacto de la contaminación ambiental en las consultas pediátricas de Atención Primaria: estudio ecológico. *An Pediatr (Barc)*, 89 (2),80–85.
- Martínez-Rivera, C., Garcia-Olivé, I., Stojanovic, Z., Radua, J., Ruiz Manzano, J., Abad-Capa, J. (2019). Association between air pollution and asthma exacerbations in Badalona, Barcelona (Spain), 2008-2016. *Med Clin (Barc)*, 152 (9), 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2018.06.027>
- Matt, F., Cole-Hunter, T., Donaire-Gonzalez, D., Kubesch, N., Martinez, D., Carrasco-Turigas, G., Nieuwenhuijsen, M. (2016). Acute respiratory response to traffic-related air pollution during physical activity performance. *Environ Int*, 97, 45-55
- Pierangeli, I., Nieuwenhuijsen, M. J., Cirach, M., Rojas-Rueda, D. (2020). Health equity and burden of childhood asthma - related to air pollution in Barcelona, *Environmental Research*, 186, 109067. ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109067>.

- Rovira, J., Domingo, J.L., Schuhmacher, M. (2020). Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM10, PM2.5, NO2 and O3): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). *Sci Total Environ.*, 703, 135538. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135538>
- Saleh, S., Shepherd, W., Jewell, C., Lam NL, Balmes J, Bates MN, Lai, P.S., Ochieng, C.A., Chinouya, M., Mortimer, K. (2020). Air pollution interventions and respiratory health: a systematic review. *Int J Tuberc Lung Dis.*, 24 (2), 150-164. doi: 10.5588/ijtld.19.0417. PMID: 32127098.
- SEMFYC (2017). Asma bronquial. AMF - Medicina de Familia semFYC. <https://amf-semfyc.com/index.php/es/web/articulo/asma-bronquial-2>
- SEMFYC. (2022). Document 45. Què fer i no fer en salut planetaria. SEMyC. <https://www.semfyc.es/storage/wp-content/uploads/2023/10/Semana-Autocuidado-Farmacos-6.pdf>
- Stern, R. L, Wang, C. (2020). Atmospheric nitrogen oxides (NOx) in coastal regions. *Atmos Environ.* 223. 117–28.

LA INNOVACIÓN DOCENTE ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA EXPERIENCIA PEDAGÓGICA EN EL ÁMBITO DEL CLIMA DEL SUR DE EUROPA

CARLOS ANTONIO DOMÍNGUEZ-TORRES
*Higher Technical School of Architecture
University of Seville (Spain)*

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un hecho ya reconocido por la comunidad científica internacional y numerosas publicaciones e informes como los emitidos por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) así lo atestiguan (IPCC-AR5, 2014), (IPCC-AR6, 2023).

En concreto, estos informes predicen para fines de siglo un notable aumento de las temperaturas que, dependiendo del nivel de emisiones de gases de efecto invernadero que se produzcan hasta entonces, pueden oscilar entre 1.4 °C y 4.4 °C a nivel global (IPCC-AR6, 2023).

Este aumento de temperaturas vendrá acompañado, según se pronostica en el referido informe, de fenómenos extremos meteorológicos, como olas de calor, con cada vez mayor frecuencia, intensidad y duración.

Estos fenómenos impactarán en toda la sociedad, pero lo hará con mayor intensidad en los sectores más vulnerables de la misma. Un caso arquetípico de esta vulnerabilidad social lo constituye el parque de viviendas sociales construidos en España a mediados del siglo pasado que se caracteriza por una ausencia casi total de medidas de eficiencia energética que permita a las viviendas de dicho parque afrontar con garantías los efectos del clima.

Asociado a este problema está el de la vulnerabilidad social del sector de la población usuaria de este parque. Dicho sector se ve afectado por la

dificultad de asumir el alto consumo energético para obtener confort interior derivado de su obsoleta e ineficiente adaptación energética. Ello conlleva situaciones de dificultad para afrontar los gastos derivados de dicho consumo, lo que se traduce en situaciones de pobreza energética y de incapacidad de mantener situaciones de confort térmico interior con el consiguiente impacto sobre la salud de los usuarios de dicha vivienda social.

En este trabajo se presenta y desarrolla un proyecto de innovación docente que parte del reconocimiento de la necesidad urgente de formar a los futuros estudiantes universitarios con responsabilidades en el área social, como arquitectos e ingenieros de la edificación, para afrontar el impacto del cambio climático en el parque de viviendas. De forma específica, por su significado y vulnerabilidad, se plantea con especial atención el caso de la vivienda social construida a mediados del siglo 20 en el Sur de España con la finalidad de mejorar las condiciones de habitabilidad y de confort para los usuarios de dicho parque a la luz de dicho cambio.

Es fundamental que los alumnos de los grados implicados, como Arquitectura o Ingeniería de la Edificación, comprendan la urgencia de emprender medidas para optimizar la eficiencia energética en los edificios en general y en los del parque de vivienda social en particular. Disminuir el consumo de energías fósiles no solo contribuye a mitigar la contaminación ambiental, sino que también disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta acción, ya prioritaria hoy, será aún más necesaria frente a los retos crecientes del cambio climático global (CCG).

En este contexto, resulta fundamental sensibilizar al alumnado de los grados mencionados y, en general, a toda la comunidad universitaria, sobre la necesidad de promover el uso de técnicas y procesos energéticamente eficientes. Esta exigencia no solo proviene del marco regulador y normativo, como reflejan las directrices de la Unión Europea para el Horizonte 2030 (H2030) o el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7) impulsado por la ONU, sino también de la propia realidad social. El encarecimiento progresivo de la energía acentúa fenómenos como la pobreza energética y genera consecuencias directas sobre la salud y el confort de la población, lo que hace aún más urgente la toma de conciencia y la acción en este ámbito.

La formación de los alumnos de Arquitectura e Ingeniería de la Edificación debe contemplar aspectos como la determinación de las distintas soluciones de rehabilitación que se pueden implementar a fin de disminuir el consumo de energía, a la vez que, se deben atender cuestiones económicas como la viabilidad económica de la implementación de las soluciones propuestas y qué papel juega en este marco la subida de temperaturas consecuencia del cambio climático que parece irreversible que tenga lugar desde la actualidad hasta fin de siglo.

A mediados del siglo pasado, tuvo lugar una gran expansión del parque de viviendas urbano en Europa de forma que según datos de la oficina de estadística de la Unión Europea (Eurostats, Newsrelease-Euroindicators, 2019), más del 40% del parque inmobiliario europeo tiene más de 50 años siendo las medidas de eficiencia energética de la envolvente en general obsoletas o deficientes para las viviendas de dicho parque. En el caso concreto de España, en años recientes, numerosos estudios han subrayado la urgencia de actuar ante el deterioro y obsolescencia energética de muchos edificios construidos durante la expansión urbana de mediados del siglo XX debido en buena parte al éxodo desde el ámbito rural al urbano. Este problema, común en muchas ciudades españolas, se manifiesta con especial intensidad en lugares como Sevilla, donde el envejecimiento del parque residencial plantea importantes retos en términos de sostenibilidad y habitabilidad (Santangelo y Tondelli, 2017).

En consecuencia, los alumnos de los grados implicados deben comprender la importancia de la rehabilitación energética del parque de viviendas existente y ser capaces de valorar su impacto en el rendimiento energético de los edificios. Este análisis debe enfocarse en garantizar condiciones de confort y salubridad, especialmente en aquellas viviendas que presentan deficiencias significativas en materia energética y en reducir de la forma más significativa posible la emisión de gases de efecto invernadero asociadas a la propia rehabilitación como al consumo energético necesario para mantener adecuadas condiciones de confort a lo largo del marco temporal asociado a la vida útil de la solución de rehabilitación considerada. Asimismo, deben tener presente que las decisiones adoptadas en el diseño de estas intervenciones tendrán efectos duraderos en el tiempo mientras que las condiciones climáticas

irán evolucionando a lo largo del mismo, evolución asociada a la prevista subida de temperaturas. Por ello, es imprescindible integrar en el proceso de diseño una evaluación prospectiva del comportamiento energético de las medidas, considerando los escenarios futuros derivados del cambio climático global.

En este marco, el rápido desarrollo en las últimas décadas de la tecnología informática y el progreso de los programas de simulación energética de edificios (BES) han facilitado la posibilidad de estudiar de manera detallada y rigurosa el comportamiento energético de los edificios, así como el impacto de las medidas de rehabilitación sobre dicho comportamiento energético y sus implicaciones dentro de un análisis de costes durante el ciclo de vida, por lo que las herramientas necesarias para poder incorporar el análisis combinado energético-económico de medidas de rehabilitación en un marco temporal desde el presente al fin de siglo, intervalo de tiempo marcado por el CCG, es posible ser llevado a cabo en las aulas de las escuelas técnicas sin mayores requisitos que la formación adecuada a través del desarrollo de contenidos docentes como los que se proponen en el marco del presente propuesta de innovación docente.

Con la finalidad de que el alumnado se inicie en el uso de herramientas de simulación energética y comprenda su utilidad para evaluar medidas de rehabilitación dirigidas a disminuir el consumo energético en un marco de clima cambiante, esta práctica propone el análisis del comportamiento energético de la envolvente de un edificio durante un periodo de tiempo que va desde el presente hasta el fin de siglo, usando para ello diferentes marcos de evolución de las temperaturas asociados a diferentes proyecciones de cambio climático.

Utilizando programas de simulación, se estudia el efecto de aplicar medidas de mejora a viviendas energéticamente ineficientes, en el contexto actual y en diferentes escenarios futuros vinculados al cambio climático, siguiendo las propuestas de proyecciones de los diferentes informes IPCC.

A través de esta práctica se pretende que el alumnado explore las repercusiones que el CCG puede tener sobre el parque de viviendas sociales mencionado, sobre el consumo energético asociado a obtener confort térmico interior y al análisis de la evolución de este confort cuando se

vea influenciado por las distintas curvas de evolución de la temperatura para las diferentes proyecciones de cambio climática. Asimismo, y de forma fundamental, se busca formar al alumno en la evaluación y análisis de medidas de rehabilitación que sirvan de escudo frente al impacto del CCG, de forma que se optimicen tanto la variable del consumo energético, como la de costes asociados a la intervención de rehabilitación y ello para todo el intervalo de tiempo mencionado. En paralelo, se persigue también sensibilizar sobre las ventajas ambientales y sociales asociadas a una intervención eficiente en la envolvente de los edificios.

En definitiva, con el desarrollo de esta práctica de innovación docente, se busca:

- Que los estudiantes de los grados de Arquitectura e Ingeniería de la Edificación comprendan la gravedad de los efectos del cambio climático sobre la sociedad en general y sobre la vivienda social en particular.
- Que reflexionen con criterio técnico sobre sus implicaciones y valoren el papel clave de una rehabilitación energética adecuada para mejorar la calidad de vida de los usuarios de viviendas vulnerables.
- Se propongan medidas de rehabilitación para hacer frente a los efectos del cambio climático sobre el parque construido dentro de un marco de respeto y adecuación a las exigencias de una construcción sostenible.

2. OBJETIVOS

Los objetivos que plantean y pretenden alcanzar con el desarrollo de esta práctica de innovación docente son:

Formar al alumno en la valoración de los efectos del cambio climático sobre el parque de vivienda social construido en el Sur de España a mediados del siglo pasado.

Formar al alumno en el conocimiento de los organismos que analizan el cambio climático y los distintos escenarios que dichos organismos plantean.

Fomentar en el alumnado la toma de conciencia respecto a los efectos negativos que el cambio climático genera sobre sectores especialmente vulnerables de la población.

Diseñar intervenciones de rehabilitación energética para la vivienda social analizada y evaluar su sostenibilidad y su eficacia frente a las consecuencias negativas del cambio climático sobre sus usuarios.

Adquirir destreza en el manejo de herramientas que proporcionen proyecciones del cambio climático y su uso en programas de simulación energética para edificios.

3. METODOLOGÍA

En esta sección se hace una exposición del flujo de trabajo que se plantea para la realización de la práctica de innovación propuesta.

Como eje central de la metodología se adopta un desarrollo que sigue el flujo de trabajo propio del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). El ABP es una forma de aprender donde el estudiante es el actor principal. En lugar de recibir todo el contenido de manera pasiva, el alumno debe enfrentarse a problemas reales o simulados que debe resolver en grupo. De esta forma se potencia el desarrollo de habilidades y competencias como el análisis, la investigación y la creatividad. El profesor acompaña y guía el proceso de aprendizaje para que los alumnos construyan su propio conocimiento.

Entre las ventajas más reconocidas del ABP podemos señalar:

- Estimula el pensamiento crítico y la toma de decisiones de forma razonada y fundamentada.
- Potencia el trabajo en equipo y el desarrollo de habilidades sociales y colaborativas.
- Favorece la autonomía, la iniciativa y el aprendizaje activo.
- Integra conocimientos de diversas áreas de manera práctica.
- Favorece la motivación del alumno al involucrarlo en la resolución de problemas contextualizados y significativos.

En definitiva, podemos decir que el ABP ofrece un marco más flexible y práctico que las metodologías habituales siendo especialmente adecuada para el desarrollo pedagógico de problemas prácticos como el que aquí se plantea.

Seguidamente se presentan las distintas etapas de desarrollo de la propuesta.

Etapas 1.

En esta etapa inicial, se efectúa una introducción al cambio climático tratando conceptos básicos sobre escenarios climáticos, proyecciones climáticas y organismos más importantes que lo analizan.

Si bien el cambio climático es un concepto que hoy en día se trata de forma generalizada en los medios de comunicación y existe un conocimiento de su existencia a nivel divulgativo y no especializado, la primera tarea de esta práctica es dar una visión lo más rigurosa posible de su significado, causas que lo motivan, y efectos pronosticados para las próximas décadas.

A este efecto, se insistirá en clase en el análisis, por lo menos a nivel de introducción y comparación, de distintas proyecciones climáticas de entre las diferentes proyecciones elaboradas por instituciones como el IPCC. Como mínimo se analizarán dos casos extremos de entre las múltiples proyecciones elaboradas, por ejemplo, en el IPCC's Sixth Assessment Report (IPCC -AR6, 2023), como pueden ser la SSP1-1.9 que ante un escenario de muy bajas emisiones prevé un aumento global de temperaturas para fines de siglo de alrededor de 1.4 °C y la SSP1-8.5 que ante un escenario de muy altas emisiones prevé un aumento global de temperaturas para fines de siglo de alrededor de 4.4 °C. Si bien, estos dos casos constituyen la exigencia mínima de análisis, la exposición y estudio de los otros escenarios previstos por el IPCC -AR6 (2023), puede ser también enriquecedor de cara a tener una imagen global de lo que implican estos escenarios de cambio climático.

Etapas 2.

En esta etapa se procede a introducir a los alumnos a los generadores de proyecciones de cambio climático. Para ello, después de la

introducción efectuada en la etapa anterior, se desarrollan conceptos como los modelos climáticos globales, escenarios de emisiones y software de elaboración de escenarios futuros de cambio climático con especial atención a los que proporcionan datos horarios de temperaturas como la aplicación CCWorldWeatherGen (Universidad de Southampton, Reino Unido) especialmente útiles para su uso por los programas de simulación energética de edificios (BES).

Asimismo, se da la formación necesaria para proceder a la ejecución de dichos códigos de proyecciones climáticas con el objetivo de que el alumnado adquiera las competencias necesarias para elaborar de forma autónoma proyecciones de cambio climático para cualquier localidad de interés, posibilitando de esta manera el desarrollo de las siguientes etapas del proyecto.

Etapas 3.

En esta etapa se plantea el problema o caso sobre el que se va a trabajar en la práctica docente. Si bien se puede dar libertad de elección dentro de un marco de referencia similar al que se plantea, el profesor debe elegir un caso del que existe suficiente información y a la vez reúna los requisitos de interés y necesidad que se han planteado anteriormente.

En el presente caso, y de forma ilustrativa, se elige como caso de estudio una vivienda arquetípica del parque de vivienda social construida en las décadas de 1960 y 1970 en la ciudad de Sevilla. Hay numerosos casos de barrios y promociones de viviendas sociales que reúnen los requisitos anteriores, por lo que se puede dar cierta libertad a los distintos grupos de trabajo para elegir el caso que le resulte de más interés.

En cualquier caso, el profesor supervisará la elección de los casos de estudio que como rasgo esencial deben ser viviendas del parque social construidas antes de la entrada en vigor de la primera regulación sobre eficiencia energética en edificaciones residenciales, en el año 1979., la *Norma básica de la edificación sobre Condiciones Térmicas en los edificios* (NBE-CT-79). Uno de los rasgos distintivos de dicho parque de viviendas es la ausencia o escasa presencia de medidas de adecuación energética en la envolvente, lo que las hace poco capacitadas para

afrontar las condiciones meteorológicas adversas y especialmente las que se prevén por el CCG.

Una vez elegido el caso de estudio que será objeto de análisis efectuado a través ABP, el alumno debe recopilar en primer lugar las características constructivas del edificio, materiales de la envolvente, variables termofísicas de los mismos, secciones constructivas, distribución interior, orientación, uso y cargas internas.

Asimismo, partiendo de la localización geográfica del caso de estudio se calcula usando el software introducido de proyecciones climáticas al menos dos proyecciones climáticas sobre escenarios diferentes para 2050 y 2080, que servirán para los cálculos energéticos y de costes presentes y futuros.

Etapa 4.

Seguidamente, se introduce al alumno en el manejo de algún software de simulación energética. A este respecto, el software Energy Plus (EnergyPlus, 2024) es una opción gratuita y que ha demostrado ampliamente su capacidad de proporcionar resultados fiables en el ámbito del cálculo del comportamiento energético de edificios a la vez que su curva de aprendizaje para casos no complejos como viviendas es relativamente rápida.

A continuación, se evalúa el consumo energético necesario para mantener confort en la vivienda caso de estudio en los tres momentos temporales elegidos: actualidad, 2050 y 2080, y ello para al menos dos escenarios climáticos diferentes, a nivel general, el mejor y el peor como se señaló más arriba. Este cálculo proporcionará el marco de referencia para comparar las posibles mejoras que se puedan introducir en el edificio inicial mediante soluciones de rehabilitación energéticas.

Etapa 5.

En esta etapa se procede a la propuesta por parte de los alumnos, y bajo la guía del profesor, de posibles medidas de rehabilitación energéticas para su aplicación en el caso de estudio elegido.

A este respecto, el profesor, actuando como moderador en el aula, debe promover la diversificación de las medidas de rehabilitación seleccionadas,

con el objetivo de disponer de un conjunto suficientemente amplio que posibilite el análisis comparativo de sus efectos sobre las viviendas.

Seguidamente, se procede al cálculo del consumo energético necesario para mantener confort en la vivienda caso de estudio ya rehabilitada en los mismos tres momentos temporales: actualidad, 2050 y 2080, y ello para los mismos escenarios climáticos ya usados en la Etapa 4, o sea, al menos el mejor y el peor de los escenarios previstos en el (IPCC -AR6, 2023).

Etapla 6.

En esta etapa se procede a la evaluación comparativa de los resultados obtenidos en las etapas 4 y 5. Así, se determina si en las tres fechas temporales elegidas, actualidad, 2050 y 2080, la introducción de las medidas de rehabilitación propuestas suponen, o no, una disminución del gasto energético necesario para proporcionar confort interior en dichas fechas.

Esta etapa tiene por tanto determinar la viabilidad energética, en cuanto a reducción del consumo energético, de las propuestas de rehabilitación seleccionadas por los alumnos.

Etapla 7.

En la fase final, correspondiente a las conclusiones, se realizará una sesión crítica en el aula donde se presentarán los resultados obtenidos durante las fases previas. Dichos resultados serán comparados y debatidos colectivamente. Por último, en base a lo debatido y de forma colectiva se procederá a la redacción de un documento en el se incluirán el proceso seguido por cada grupo de alumnos y los resultados obtenidos, previamente elevados a conclusiones de forma consensuada.

4. TEMPORALIZACIÓN

La propuesta de proyecto que se plantea está elaborada para su desarrollo a lo largo de un cuatrimestre, quince semanas, con una docencia semanal de cuatro horas.

Esta docencia supone temporalmente la duración habitual, en el grado de Arquitectura de la ETSA de Sevilla, de las asignaturas optativas de

quinto curso, donde el proyecto presentado encuentra su principal encaje, especialmente en aquellas optativas centradas en sostenibilidad y eficiencia energética.

Asimismo, el desarrollo de este proyecto podría efectuarse en el seno de alguno de los másteres ofrecidos por dicha escuela, tanto en el master oficial de habilitación como en los másteres propios que estén centrados en temas de sostenibilidad.

Atendiendo a los contenidos que se imparten en cada etapa del proyecto y a la carga de trabajo asociada para los alumnos, la estructura temporal que propone para cada etapa es la siguiente:

- Etapas 1.** Etapa inicial de formación sobre el cambio climático.
..... 2 semanas.
- Etapas 2.** Iniciación al software de proyecciones de cambio climático
..... 2 semanas.
- Etapas 3.** Análisis inicial del caso de estudio. Cálculo de las proyecciones de cambio climático para la localidad objeto de estudio
.....3 semanas.
- Etapas 4.** Formación en software de análisis energético de edificios. Determinación del consumo energético para confort en la actualidad y bajo los escenarios de cambio climático propuestos para la vivienda de referencia 3 semanas.
- Etapas 5.** Propuestas por parte de los alumnos de medidas de rehabilitación energética. Análisis del consumo energético de la vivienda rehabilitada en la actualidad y bajo los escenarios de cambio climático propuestos 3 semanas.
- Etapas 6.** Análisis comparativo de los resultados obtenidos en las Etapas 4 y 5 1 semana
- Etapas 7.** Sesión crítica de presentación de resultados. Debate y elaboración de conclusiones. 1 semana

Esta temporalización que se plantea tiene carácter flexible de forma que el profesor puede ajustar los tiempos de desarrollo de cada etapa a la marcha de la clase, de forma que se puedan compaginar los ritmos del aprendizaje tipo ABP con la temporalización propuesta de forma global. Los ajustes que se efectúen deberán realizarse procurando una adecuada integración

dentro de la programación general de la asignatura, con el objetivo de garantizar el cumplimiento efectivo de los objetivos establecidos.

5.- PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

El procedimiento de evaluación que se propone de la presente práctica se basa en el seguimiento y valoración de las diferentes etapas que configuran el proyecto y se han expuesto en la sección de Metodología.

Dado que la metodología de desarrollo de esta práctica está orientada hacia el Aprendizaje Basado en Problemas, la evaluación que se propone atiende al propio proceso de aprendizaje, a las competencias desarrolladas por el alumnado, a la originalidad y calidad del trabajo desarrollado, y finalmente al rigor, fundamentación y claridad de las conclusiones del trabajo.

La evaluación de cada etapa debe considerar el flujo general del trabajo, entendiendo que cada etapa está interrelacionada con las demás. Por tanto, aunque se asignen calificaciones parciales a cada fase del trabajo, la valoración global del proyecto debe atender a la coherencia del conjunto y a la forma en que los estudiantes han integrado, desarrollado y comprendido el trabajo de manera integral.

Por otro lado, el sistema de evaluación implementado debe garantizar que el estudiante ha alcanzado los conocimientos y competencias mínimas en cada una de las fases establecidas en el apartado metodológico. En consecuencia, se propone un modelo de evaluación en el que todas las fases sean valoradas individualmente y requieran una calificación mínima para poder acceder a la calificación final de aprobado, sin que ello vaya en detrimento de lo expuesto en el párrafo anterior respecto a la visión global de la evaluación del proyecto desarrollado.

El cuadro de evaluación que se propone, en base a lo anterior, queda como sigue:

- A. Evaluación de la Etapa 1: en esta fase se valorará fundamentalmente la adquisición de los conocimientos básicos acerca del cambio climático. A lo largo del desarrollo de esta etapa y una vez que el profesor introduzca los contenidos iniciales, se procederá en clase a una fase de indagación sobre las distintas perspectivas y matices que ofrece el tratamiento social y científico del cambio climático. En base a este desarrollo los alumnos deben preparar un documento, que formará parte de su trabajo final, acerca de las implicaciones del cambio climático, el papel antropogénico en los distintos escenarios de cambio que se prevén, el significado de las proyecciones. Asimismo, dicho documento debe recoger información acerca de las instituciones más relevantes que estudian el cambio climático y los informes más significativos emitidos por las mismas. Tras la evaluación, el profesor deberá poder valorar qué conocimientos ha adquirido el alumno sobre el significado del cambio climático, sus consecuencias y posibles impactos en la sociedad y el mundo. Esta parte del trabajo se calificará con un máximo de 1 punto.
- B. Evaluación de la Etapa 2: en esta etapa se valorará en primer lugar la comprensión por parte de los alumnos del significado de proyecciones climáticas y los escenarios que las justifican. Asimismo se valorará de forma especial la capacidad y autonomía de los alumnos para generar proyecciones de cambio climático a través de las herramientas que se propongan en clase. Como resultado de esta evaluación el profesor deberá estar en condiciones de determinar el grado de conocimiento y competencia adquirida por el alumno para el cálculo de modelos de proyección climática y la comprensión de su significado. La calificación de este apartado será de 1.5 puntos.
- C. Evaluación de la Etapa 3: En esta etapa se evaluará la autonomía y destreza de los alumnos para elegir el caso de estudio dentro de las pautas establecidas en el proyecto. Se valorará por parte del profesor la capacidad de los alumnos para justificar la elección efectuada y el rigor con el que dicha elección se fundamenta. Asimismo, formará parte de la evaluación la destreza a la hora de reunir la información necesaria acerca del estudio, valorando su capacidad para obtener todos los datos necesarios sobre el caso de estudio que permita su posterior tratamiento desde el punto de vista de su comportamiento energético. El proceso de evaluación de esta fase se completará con la valoración del procedimiento de obtención de las proyecciones climáticas descritas y para, al menos, dos escenarios de emisiones diferentes. Esta etapa se calificará con una puntuación de 1.5 puntos.

- D. Evaluación de la Etapa 4: En esta etapa el profesor valorará la adquisición de competencias en el manejo del software de análisis energético de edificios. Así, en base a la destreza y autonomía del alumno para el cálculo de los consumos energéticos de la vivienda de referencia, en la actualidad y en las fechas futuras afectadas por el cambio climático, el profesor podrá valorar la consecución de las competencias señaladas. Esta etapa se calificará con una puntuación de 1.5 puntos.
- E. Evaluación de la Etapa 5: En esta etapa del proyecto se valorará la capacidad del alumno de analizar la vivienda de referencia y proponer medidas de rehabilitación energética de forma coherente y fundamentada. Asimismo, se tendrá en cuenta la habilidad del alumno para cuantificar el consumo energético de la vivienda para obtener confort en los escenarios previstos, valorando el grado de destreza en la elaboración de los cálculos necesarios combinando las proyecciones climáticas con el programa BES elegido. Esta etapa se calificará con una puntuación de 1.5 puntos.
- F. Evaluación de la Etapa 6: En esta etapa se valorará la capacidad del alumno para presentar los resultados con rigor y claridad, establecer comparaciones de forma razonada y deducir los resultados adecuados en base a todo el material generado en las etapas anteriores. Asimismo, en esta etapa, el profesor debe evaluar la capacidad de los alumnos para establecer conexiones entre los resultados obtenidos, prestando especial atención a la interpretación de los indicadores energéticos. Esto debe hacerse teniendo en cuenta el contexto del cambio climático, comparando el estado inicial del caso de estudio con el escenario tras la implementación de las medidas de rehabilitación propuestas y todo ello en los distintos marcos temporales y climáticos propuestos. Esta etapa se valorará con un máximo de 1.5 puntos.
- G. En esta etapa final, Etapa 7, se valorará el grado de participación de los alumnos en la sesión crítica, la exposición clara y razonada de sus resultados y la defensa argumentada de las conclusiones que elaboren. Asimismo, el profesor valorará la participación de los alumnos en el debate que se plantea en esta etapa,

valorando la defensa y argumentación de sus propuestas y su capacidad para responder de forma argumentada a cuántas cuestiones se le planteen en relación con su trabajo, tanto por parte del resto de la clase como del propio profesor. Como colofón final de la etapa y del proyecto los alumnos presentarán una memoria detallada del proceso seguido para el desarrollo de su trabajo, así como una relación ordenada y coherente de las conclusiones fruto del desarrollo de su trabajo. Se valorará de forma especial la atención a la problemática de la reducción de los gases de efecto invernadero mediante la reducción del consumo energético para conseguir confort interior tras la introducción de las medidas de rehabilitación que se han propuesto, analizado dicha posible reducción en el presente y en los futuros escenarios climáticos considerados a mediados y finales del presente siglo.

A modo de conclusión, como fase final de la propuesta de innovación planteada, los alumnos deben hacer una síntesis de los resultados obtenidos considerando puntos como se enumeran a continuación:

- La evaluación de las proyecciones climáticas para los años 2050 y 2080 en comparación con el clima actual.
- Evolución del consumo energético para obtener confort en la vivienda social analizada para las distintas fechas estudiadas a la luz de las proyecciones de cambio climático elaboradas.
- Estimación del consumo energético para obtener confort en la vivienda social analizada para las distintas fechas estudiadas a la luz de las proyecciones de cambio climático elaboradas una vez implementadas las medidas de rehabilitación decididas.
- Análisis comparativo entre los gastos energéticos y económicos para obtener condiciones de confort interiores en las fechas estudiadas.
- Análisis de la sostenibilidad de las medidas de rehabilitación propuestas para mitigar los efectos del cambio climático sobre la vivienda caso de estudio considerada.

Síntesis final de la importancia de la aplicación de medidas rehabilitadoras adecuadas ante el futuro cambio de escenario climático.

Esta etapa se valorará con un máximo de 1.5 puntos.

6.- RESULTADOS

Los resultados que se esperan obtener de la práctica son:

- Toma de conciencia por parte del alumnado del impacto que el cambio climático tendrá en las próximas décadas sobre la sociedad en general y sobre la vivienda social del Sur de España en particular.
- Análisis y elaboración de propuestas que puedan contribuir a mitigar los efectos del cambio climático sobre la vivienda social construida en España a mediados del siglo XX.
- Evaluación y valoración de las ventajas que aportan las distintas medidas de rehabilitación propuestas.
- Evaluación rigurosa con el uso de programas de simulación energética de los consumos energéticos para mantener confort en la vivienda social analizada en los distintos escenarios climáticos considerados y la cuantificación del impacto de la aplicación de medidas rehabilitadoras adecuadas sobre dichos costes.
- Análisis de la sostenibilidad de las propuestas planteadas.

Realización de un informe global, teniendo en cuenta las distintas variables analizadas, sobre la adecuación de las medidas planteadas para combatir los efectos del cambio climático sobre la vivienda social.

7.- CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha descrito una propuesta para el desarrollo de un proyecto de innovación docente para formar a los futuros estudiantes universitarios con responsabilidades en el área social, especialmente arquitectos e ingenieros de la edificación, ante las consecuencias que puede tener el impacto del cambio climático en el parque de viviendas, con especial atención a la vivienda social construida a mediados del

siglo 20 en el Sur de España. Con el fin de afrontar dichas consecuencias y de buscar vías mitigación de las mismas, se propone en el proyecto un análisis de medidas de rehabilitación energética con la finalidad de mejorar las condiciones de habitabilidad y de confort para los usuarios de dichas viviendas ante las consecuencias del predicho y constatado cambio climático analizando diversas propuestas y sometiéndolas a evaluación para distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero con las consiguientes proyecciones climáticas asociadas.

8. REFERENCIAS

- Eurostats (2019). Newsrelease-Euroindicators Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9967985/3-10072019-BP-EN.pdf/e152399b-cb9e-4a42-a155-c5de6dfe25d1>.
- European Commission (2016). An EU Strategy on Heating and Cooling (COM(2016) 51 Final); Brussels, Belgium, February 2016. Available online: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2016\)51&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2016)51&lang=en)
- CCWorldWeatherGen. Universidad de Southampton. (Reino Unido) <https://energy.soton.ac.uk/ccworldweathergen/>
- EnergyPlus (2024). Energy Plus 24.1.0, U.S. Department of Energy. <https://www.energyplus.net>
- IPCC-AR5, 2014. IPCC Fifth Assessment Report (AR5). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC-AR6, 2023, IPCC Sixth Assessment Report (AR6). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35–115. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- NBE-CT-79 (1979). Norma básica de la edificación sobre Condiciones Térmicas en los edificios. Gobierno de España (1979). NBE-CT-79; Real Decreto 2429/1979, BOE 253; 6 Julio.
- Santangelo, A.; Tondelli, S. (2017). Occupant behaviour and building renovation of the social housing stock: Current and future challenge. *Energy Build.*, 145, 276–283.

SECCIÓN VI.

FILOSOFÍA Y PENSAMIENTO CRÍTICO
EN EL CONTEXTO DE LA TRIPLE CRISIS PLANETARIA
Y LA SOSTENIBILIDAD

CUANDO EL CAMBIO GLOBAL DEVIENE ARTE

IGNACIO ASENJO FERNÁNDEZ
Universidad Complutense de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

El cambio global y el cambio climático son realidades arraigadas de manera permanente entre nosotros. Sus efectos influyen en procesos fundamentales del funcionamiento del sistema Tierra, produciendo consecuencias de suma importancia en el medio ambiente. No son problemas del futuro, sino certezas actuales cuyos efectos han trascendido la esfera de la investigación científica para infundir un impulso “semi-consciente” en el ánimo de la sociedad contemporánea. Adaptarse a estas realidades y responder a sus desafíos son retos difíciles de llevar a cabo, y constituyen por ello un incentivo para quienes los afrontan. Y, precisamente por eso, los artistas del presente encaran esta adversidad en sus obras como vía para revelarla y denunciarla.

Pese a todo, el cambio global es más que un cambio climático. De acuerdo con Carlos Duarte (2006), investigador del CSIC, el primero define al conjunto de cambios ambientales obrados por la actividad humana, con especial referencia a los que afectan al funcionamiento del planeta Tierra tanto en sus sistemas naturales como en sus compartimentos ambientales —atmósfera, océanos, aguas continentales, suelos, masas forestales—. El segundo, que es consecuencia del primero, se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos; dichos cambios pueden ser naturales —variaciones en la actividad solar, erupciones volcánicas grandes—, pero desde el siglo XIX también son efecto de la actividad humana, que ha sido el principal motor del cambio sobre el sistema climático global —el Antropoceno (Crutzen y Stoermer, 2000)—, máxime con las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono y metano.

Con todo, este estudio se enfoca especialmente en cómo los efectos del cambio global han influido en la forma, los métodos, los procedimientos y la organización de ciertos proyectos artísticos de las últimas décadas.

El arte contemporáneo crea un discurso único y original, distinto al de otros ámbitos, utilizando una miscelánea de elementos diversos relacionados con hechos del entorno, para dar forma y lenguaje a ideas innovadoras. Un ejemplo de ello es el arte vinculado con los efectos del cambio global, a saber: el cambio climático, la acelerada pérdida de la biodiversidad en la biosfera, las emisiones de GEI y el agotamiento de los recursos, en especial, de los combustibles fósiles, solo por citar algunos de ellos.

Obviamente, el devenir global es un hecho que se aprecia con gran transparencia en la escena de la actual crisis ecosocial y cuyas repercusiones se conocen sobradamente. Cabe preguntarse entonces: ¿Cómo pueden las artes visuales cooperar en el rumbo de nuestra sociedad a este respecto? En primer lugar, creando un nivel de alerta, porque el cambio global no ocupa —todavía— el lugar que le corresponde entre las alarmas inherentes de los ciudadanos. En segundo lugar, revelando la responsabilidad de muchas de nuestras conductas y determinaciones con las causas del referido cambio. Y en tercer lugar, proponiendo medidas precisas y factibles a nivel artístico, en forma individual o colectiva, que además de tener una manifiesta influencia o repercusión, den firmeza a una cultura de transición, cuya fragilidad requiere entendimiento, identificación y capacidad de adaptación.

2. OBJETIVOS

De cara a esta propuesta, el cambio global se erige en un *leitmotiv* para determinadas obras de arte contemporáneo, convirtiéndose en un rasgo característico que se repite. Afrontar la atenuación y adecuación a dicho cambio exige la participación y la corresponsabilidad —con diferente nivel de proporción— de todas las instancias políticas, económicas y sociales, así como de todas las personas físicas, y en nuestro caso, de las que cultivan las bellas artes. En tales circunstancias, el compromiso de los creadores plásticos con las repercusiones del cambio global tiene

también su reflejo en la esfera del arte de hoy día, lo cual posibilita cooperar en la transformación de la sociedad.

Indagar en las implicaciones de este devenir global, repasarlas y hacer una valoración desde los planteamientos del arte son los objetivos de este trabajo. El propósito es contestar una pregunta: ¿Qué dirección puede tomar el arte que sea totalmente diferente de todo lo establecido desde otras disciplinas? Esta interpelación sirve para fijar el objetivo prioritario de esta investigación: analizar el grado de inserción que tiene en la actualidad el cambio global dentro del ámbito artístico. Diseño que se afianza con dos objetivos suplementarios: ver en qué rutas de investigación se centra el arte y conocer qué aspectos de la creciente influencia de “nuestra especie” (Harris, 2011) sobre los procesos que regulan el funcionamiento de la biosfera confieren especial valor a los hechos del binomio arte/ecología. De este modo, se lleva a cabo una exploración de la praxis artística actual que reflexiona sobre los problemas medioambientales, englobando los componentes que intervienen en la investigación artística.

3. METODOLOGÍA

El fundamento metodológico de este estudio permite articular el nexo que determina la vinculación entre las complejas particularidades del cambio global y las distintivas técnicas investigativas de las bellas artes.

Respecto al marco referencial característico de dicha concatenación, se realiza una investigación cualitativa, de acuerdo con Steven J. Taylor y Robert Bogdan (1984), cuyo plan se centra en comprender e interpretar los fenómenos del análisis ecoartístico de forma holística e interconectada. Ello proporciona datos descriptivos y especulativos. Por ende, el examen se focaliza en la gestión perceptible que indaga sobre el arte, el cuidado del entorno y la relación con los seres humanos. A tal efecto, se propone examinar la capacidad crítica del arte para cuestionar los problemas ambientales. Así pues, se presentan determinadas intervenciones artísticas que plantean preguntas sobre los desafíos de la crisis ecológica a la que nos enfrentamos hoy en día, poniéndola de manifiesto conscientemente.

Para justificar estas líneas estratégicas, se elabora un examen que responde a una metodología hermenéutica (Ricoeur, 1985; Lafuente, 1998; Ríos, 2005). Este proceso de investigación implica un desarrollo constante de reflexión crítica sobre el rol e influencia del arte en el cambio global, o viceversa. Procediendo así no solo se revisan de manera continua las interpretaciones realizadas en sendos conceptos, sino que se determina el desarrollo dinámico y recursivo de su comprensión. Ello permite diferenciar entre lo debatido y lo enunciado como condición necesaria para su reciprocidad.

En concreto, este trabajo se articula en torno a cuatro ejes metodológicos. El primero esboza el devenir global como transformación artística. El segundo reseña el reglaje de nuestro hábitat como espacio para el juego artístico. El tercero expone los planteamientos conceptuales que el arte aporta a los problemas ambientales que genera la actividad humana. Y el cuarto ejemplifica algunas rutas de investigación artística para con los argumentos del entorno natural.

Se desarrollan seguidamente las cuatro ideas clave para analizar la conexión arte/cambio global desde una perspectiva general.

3.1. EL DEVENIR GLOBAL COMO ESTRATEGIA DE TRANSFORMACIÓN ARTÍSTICA

El cambio global del planeta y sus efectos van en concordancia con el devenir global. Conviene recordar que los verbos cambiar y devenir manifiestan la transmutación de un atributo físico, psíquico o personal de una persona, animal o cosa. De hecho, ambos términos guardan correspondencia con la orientación estratégica que persiguen las prácticas artísticas que se ocupan del medio ambiente.

La definición normativa del término devenir tiene dos designaciones. Como verbo transitivo, se refiere a algo que puede sobrevenir, suceder o acaecer, empleándose como sinónimo de “llegar a ser” y de “ir siendo”; es un concepto que se relaciona con la transformación acontecida con el transcurso del tiempo. Como sustantivo masculino, la idea que se tiene de esta noción está asociada al cambio, a la mutación, a la evolución de las cosas; pero también versa sobre algo que se supone no extinguido del todo, es decir, con voluntad para producir aún lo múltiple.

En esta línea, el filósofo francés Gilles Deleuze caracteriza a la materia como múltiple transformación azarosa y al devenir como una transformación corporal, o sea, una perpetua metamorfosis; y puntualiza así: “el devenir no produce otra cosa que a sí mismo” (Deleuze 1988, p. 244).

Con certeza, el concepto de devenir global está conectado con el proceso y el estado de cambio que se produce en el tiempo y el espacio. Enlazado asimismo con los conceptos de transformación y evolución, supone un cambio y un movimiento “hacia”. De manera obvia, el cambio es algo consustancial a nuestra *Terra Mater*. Implica una concepción dinámica del mundo, donde las cosas y los eventos están interconectados y se influyen mutuamente. En realidad, no hay una línea clara que marque el inicio o el final de un proceso de devenir, y no solo en los problemas del cambio global, sino también en las interpelaciones del arte. Necesariamente, ese devenir en arte supone que todo está en constante transición.

Como reflejo de esta sugestiva actividad cambiante, la hipótesis que marca el desarrollo de este estudio parte de la consideración actual del referido cambio global, el cual tiene un área de acción plural que se incentiva mediante un enfoque multidisciplinar e interdisciplinario. Y es ahí donde tiene un papel activo el arte. Este resulta ser un aliado que reúne dos caracteres distintos: 1) Forma en la mente una imagen visual de los efectos de dicho concepto abstracto. 2) Imagina con rasgos visibles algo que no se tiene a la vista, pero existe.

3.2. EL REGLAJE DE NUESTRO HÁBITAT COMO ESPACIO PARA EL JUEGO ARTÍSTICO

El concepto de *homo ludens* resalta la importancia del juego en el desarrollo humano, destacando que no es solo una actividad de ocio, sino una función esencial para explorar, aprender y crear. El filósofo Johan Huizinga (2012), uno de los pensadores que abordó esta idea, consideraba que la cultura tiene una naturaleza lúdica y que el juego es fundamental en su evolución. Jugar implica explorar con cuidado, investigar y descubrir, siendo una forma de aprender sobre el mundo y sobre uno mismo. Por otro lado, John Dewey (1912), pedagogo y psicólogo estadounidense, también analizó el juego en relación con el crecimiento personal, pero con una visión diferente. Para Dewey, juego y trabajo

están estrechamente ligados y no son actividades separadas. Él veía el juego como un proceso que enriquece y desarrolla al individuo, como una actividad inconsciente, “placentera en su propia ejecución, sin referencia a un propósito” (Dewey, 1912-13, p. 318). Y el filósofo alemán Hans-Georg Gadamer afirmaba que el arte coincide con el juego en sus rasgos esenciales:

- El juego es una función elemental de la vida humana, hasta el punto de que no se puede pensar en absoluto la cultura humana sin un componente lúdico (Gadamer, 2002, p. 66).
- En el contexto de la creación artística, el juego se define por cuatro elementos clave: la composición del juego artístico, su objetivo o fin, las reglas y herramientas que lo rigen, y el reto que presenta, que suele ser difícil y estimulante para el artista.

En lo que respecta al arte vinculado con la conexión ecológica, enfrentarse a los desafíos de nuestro hábitat requiere reorientar la actividad artística para resolver problemas creativos, como, por ejemplo, representar en una obra la complejidad medioambiental mediante la performance, la videoinstalación, el fotomontaje digital, el arte generativo o cualquier otra disciplina artística contemporánea.

El ecoarte ejemplifica cómo el pensamiento lúdico puede potenciar la creatividad. El proceso involucra la programación de métodos que combinan imaginación, curiosidad, indagación y resolución de problemas, permitiendo innovar en las formas y soluciones.

Además, la utilización del marco y los materiales de la naturaleza se articula en torno a un trinomio: creación, reflexión y juego, y su carácter correlativo (Delaiglesia, 2009), que son inseparables en su esencia. Este enfoque lúdico no solo ayuda a entender y aplicar las reglas del arte enlazado a las redes ecológicas, sino que también fomenta la innovación y la reinterpretación de los principios sostenibles o amenazados.

El juego en el arte ambiental permite construir nuevas formas, comprender mejor el mundo artístico y ofrecer soluciones originales a los desafíos que acechan al planeta. También ayuda a descubrir reglas nuevas y a reajustar las existentes, manteniendo vivo el espíritu lúdico. Este

enfoque aporta una visión contemporánea del arte ecológico, enriqueciendo su significado y posibilidades.

El concepto de juego artístico en la estética ambiental abre nuevas perspectivas para la interpretación y la producción. Facilita la superación de obstáculos sociales que puedan limitar la creatividad, activando al artista al darle un sentido más profundo. Precisamente, el juego puede manifestarse en diversas formas, como el azar, la transformación de objetos reconocibles, la asociación de fragmentos o la creación de nuevas realidades a partir del acto lúdico.

3.3. LOS PLANTEAMIENTOS ARTÍSTICOS FRENTE A LOS PROBLEMAS AMBIENTALES

El arte vinculado con los comportamientos ambientales aborda sus causas y efectos desde la crítica, enjuiciando los hechos y conductas generalmente de forma desfavorable. En opinión de Boris Groys (2023), el artista que se ocupa de estas cuestiones, consciente de que sus acciones se dirigen a los demás, “transforma su entorno en un espacio de exhibición” (p. 48), buscando que el colectivo responda con su aprobación.

Para este fin, advierte Anthony Julius (2003), el arte colabora con su propio desafío: la transgresión. De hecho, en el arte es consustancial lo distinto y lo transgresor:

El arte tiene la obligación de impactarnos de una manera que nos permita descubrir una verdad sobre nosotros mismos, o sobre el mundo, sobre el propio arte; la manera de conseguirlo es alejándonos de nuestras ideas preconcebidas, y haciendo que lo familiar se vuelva extraño y lo que no se cuestiona, problemático (Julius, p. 26).

El artista, sabedor de la ventaja que supone la contravención, quebranta los preceptos establecidos y sobrepasa los límites del orden, rechazando los patrones reconocidos. En realidad, la estética de la transgresión supone una abertura en el sistema aceptado voluntariamente para el arte, una mejora del mismo. Al no seguir las pautas aceptadas, llega al interior de los demás, sorprendiendo y conmoviendo. Y como posee capacidad para resistir, puede saltarse las barreras sociales y rehusar los poderes instituidos evitando lo preconcebido.

Esta premisa transgresora repercute en otra estética hermenéutica, donde el arte es interpretación de la verdad: la teoría de la formatividad. Elaborada por el filósofo italiano Luigi Pareyson (1988), propone que el arte es “formativo”, esto es, expresa una forma de hacer que, a la vez que hace, inventa el modo de hacer. En la formatividad, el arte no se asienta sobre reglas fijas, sino que se determinan según y como se realiza la obra, proyectándose exactamente en ese momento. Pareyson señala que la obra artística encuentra esa regla que la define en concreto al descubrir su propio y único camino. Por ende, la forma artística es en exclusiva la consecuencia del proceso de producción. Ahora bien, no es un resultado en sí misma, sino un logro. Efectivamente, acceder a una obra artística significa realizarla, es decir, hacerla vivir su propia vida.

Teniendo en cuenta estas proposiciones y otras ideas complementarias, para vislumbrar y visibilizar cómo y cuáles son las consecuencias del cambio global en los espacios y lugares aprehendidos por los creadores visuales, el arte emplea una estrategia: formular preguntas a través de sus obras. De tal manera, presenta o enmarca problemáticas importantes referidas al devenir global y a la preservación de los aspectos de la vida en el sistema Tierra. El propósito es concienciar a quienes las miran con atención para adquirir consciencia de sí mismos, de sus actos y reflexiones. De todo ello da cuenta un amplio elenco de trabajos artísticos, investigaciones desde la polimatía, proyectos de innovación docente y grupos de investigación que ponen la atención en la actuación recíproca entre el arte y las múltiples encrucijadas del aludido devenir (TABLA 1).

TABLA 1. *Grupos de Investigación y Centros españoles que estudian la relación entre arte y entorno natural*

DENOMINACIÓN	OBJETO	INSTITUCIÓN
Grupo de Investigación Climatologías del Planeta y la Consciencia	Analizar valores en obras sobre naturaleza. Identificar ideas representadas. Rastrear creaciones que proponen nuevas relaciones ecológicas. Promover el abordaje del cambio climático en el arte.	Universidad Complutense de Madrid
Grupo de Investigación Arte, Ciencia y Naturaleza	Investigar en las conexiones entre el mundo de la ciencia y las humanidades a través de los diferentes lenguajes artísticos y sus hibridaciones. Multiplicar y complementar la capacidad de conocimiento y reconocimiento de ambas	Universidad Complutense de Madrid

Centro de Investigación Arte y Entorno (CIAE, UPV)	Desarrollar programas de investigación que exploren la interacción entre disciplinas artísticas y el entorno, promoviendo conocimiento y soluciones para una sociedad en constante modernización	Universitat Politècnica de València
Grupo de Investigación Paisaje Cultural (GIPC)	Estudiar el significado cultural del entorno construido. Comprender su condición contemporánea a través de la investigación histórica, crítica y especulativa. Construir los futuros de nuestra sociedad	Universidad Politécnica de Madrid
Red Temática de Investigación en Paisajes Culturales. Coordinada por GIPC	Crear un espacio de colaboración entre expertos en conservación de paisajes culturales en España, para desarrollar acciones científicas prioritarias frente a los desafíos que enfrentan estos bienes culturales	Universidad Politécnica de Madrid
Grupo de Investigación Sociedad, Paisaje y Patrimonio (GeoSpace)	Investigar y publicar resultados en temas referidos a la sociedad, el paisaje y el patrimonio, entendiendo estos conceptos geográficos de manera amplia y desde una doble perspectiva natural y cultural	Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Grupo de Investigación Arte y Patrimonio Cultural en la Edad Contemporánea (ARPACEC)	Investigar el patrimonio cultural y el arte contemporáneo, como parte de la herencia cultural de la humanidad. Este patrimonio es un recurso educativo y turístico importante que requiere formar profesionales especializados para su gestión	Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Grupo de investigación en Humanidades Ecológicas (GHECO)	Investigar en humanidades ecológicas, ecología política, ética ecológica, transiciones ecosociales, filosofía de la tecnología	Universidad Autónoma de Madrid
Grupo de Investigación Paisaje, Patrimonio y Educación (EduScape)	Investigar en Paisaje y Educación, Paisaje Cultural y Natural y Educación, Didáctica del Paisaje, Patrimonio y Educación, Didáctica del Patrimonio Natural y Cultural, así como en Gestión educativa de espacios naturales	Universidad Autónoma de Madrid
Grupo de investigación Arte, Espacio Público y Paisaje	Crear proyectos artísticos en espacios públicos y naturales, promoviendo la reflexión, el arte contextual y relacional, y entendiendo su evolución, dependencia e hibridación con el medio ambiente y la sociedad	Universidad de Murcia
Grupo de investigación Art Globalization Inter-culturality (AGI)	Analizar el arte hispano de las últimas dos décadas, crear un archivo, diagnosticar la crisis ecosocial, estudiar investigaciones internacionales sobre terraformación y promover encuentros entre arte y otros conocimientos	Universitat de Barcelona
Grupo de Investigación Creación en Arte y Estéticas Aplicadas para la Ciudad, el Paisaje y la Comunidad (IKREA-REak)	Reconocer la integración Arte/Arquitectura en el espacio público, las transformaciones del territorio en paisaje y ciudad, y la influencia de Jorge Oteiza en la relación entre arte, pensamiento y cultura actual	Universidad del País Vasco

Grupo de Investigación Educación, Naturaleza, Arte y Excursionismo (Edunartex)	Investigar a educación na natureza, recursos, fontes, pensamento pedagóxico, excursións, arte, música, paisaxe sonora, ecoloxía acústica, actividade física, deporte, itinerarios urbanos saudables e sendeirismo no medio natural	Universidade de Santiago de Compostela
Grupo de Investigación Conexiones y extensiones de la escultura en el s. XX y s. XXI (escultura expandida)(CEXE/XX/XXI)	Investigar la escultura en sus dimensiones, incluyendo fenomenología, espacio, cuerpo, memoria, tecnología, feminismos, prácticas colaborativas, intervenciones públicas y relaciones con la naturaleza y el arte contemporáneo	Universidad de Salamanca
Grupo de investigación Por otra Escultura Pública: Conservación de la Memoria	Investigar el arte, el espacio público, el monumento, la escultura, la gestión cultural, la escultura social, el arte y cuerpo, la naturaleza y las estrategias artísticas	Universidad de Granada
Fundación Montenmedio Contemporánea	Impulsar a jóvenes artistas emergentes, ofrecerles exposiciones junto a reconocidos internacionales y facilitar oportunidades para artistas sin experiencia previa en España, promoviendo su crecimiento y visibilidad	Fundación NMAC Vejer de la Frontera. Cádiz
Centro de Arte y Naturaleza (CDAN)	Referenciar el estudio del arte contemporáneo. Crear un espacio que combine arte y naturaleza, fomentando reflexiones sobre la relación entre creación artística y paisaje	Fundación Beu-las. Huesca

Fuente: elaboración propia. 2025

Precisamente, en las últimas décadas, se ha producido un fuerte desarrollo de movimientos artísticos a favor del medio ambiente. Existe un nutrido repertorio de expresiones artísticas vinculadas con los comportamientos ambientales (arte ecológico, ecologista, sostenible, activista, ecofeminista, ecosofista...), que visibilizan no solo la ética o la estética, sino también la huella o el activismo ecológicos, definiendo sus obras “como patrones de pensamiento, en lugar de como actos visuales” (Grande, 2005, p. 13).

3.4. LAS RUTAS DE INVESTIGACIÓN ARTÍSTICA PARA CON EL ENTORNO NATURAL

El arte es una actividad humana que busca el equilibrio y el encuentro de un orden. Como manifiesta Juan Manuel Álvarez Junco (2016), su misión no está dedicada a una exploración genérica, sino a la búsqueda fundamental de ese orden en base a encuentros específicos:

La vida en general supone una lucha contra la entropía, el desorden y el caos, por lo que el hombre necesita un sistema que le proporcione un equilibrio. Este conflicto entre lo particular y lo universal es el que lleva a las personas a la búsqueda de paradigmas para abordar el mundo (Álvarez Junco, p. 93).

En tal sentido, el arte que se relaciona con la disyuntiva ambiental precisa un procedimiento de concreción. Busca fundamentalmente ese concierto, la buena disposición de las cosas entre sí, la estabilización. En este marco, el artista encuentra, halla o descubre tanto satisfacción como objeción, ocasionalmente reparo, durante el proceso creativo. Por consiguiente, la obra es el resultado de otro proceso, el de investigación.

Fruto de esta situación, y dentro de este contexto —equilibrado—, el presente estudio centra su interés en las recónditas características del cambio global y en su vinculación con las específicas propuestas metodológicas de las bellas artes. En correspondencia con esta directriz, se propone relacionar dicho cambio con los cuatro elementos del arte, que actúan conjuntamente y en íntima relación como rutas de investigación, a saber: la aptitud de hacer, la potencia volitiva de comprender, la disposición lúdica de crear y la ordenación geográfica de ubicar, así como otras tantas expresiones indagadoras distintivas, como, por ejemplo, la capacidad simbólica de significar.

Habida cuenta de las mencionadas premisas investigativas del arte, a renglón seguido se ejemplifican cinco posicionamientos que pugnan ante el reto de las insólitas direcciones del cambio global. En concreto, con obras de Andy Goldsworthy, Michael Pinsky, David Nash, David Buckland y Joseph Beuys. No obstante, es pertinente resaltar que estas disposiciones conceptuales, más o menos claras en sus fundamentos, se vuelven imprecisas al aplicarlas a obras de arte concretas, pues se dan por naturaleza a la vez, interrelacionadas intrínsecamente, sin prioridad escalonada en el desarrollo de la práctica artística. Y ocupan a veces emplazamientos simultáneos e indeterminados.

3.4.1. La aptitud de hacer. *Homo faber cum natura*

La obra *Cairn* (en español: montículo de piedras) de Andy Goldsworthy, creada en 2016 en el Domaine de Chaumont-sur-Loire, es un ejemplo de

cómo el ser humano, en su condición de *homo faber*, expresa su relación con la naturaleza a través del hacer (FIGURA 1). Goldsworthy, reconocido artista británico y figura destacada del *Land Art*, ha dedicado su vida a intervenir en espacios naturales, reinterpretando y dialogando con el entorno en formas que reflejan tanto su sensibilidad como su preocupación por el deterioro del medioambiente y el cambio climático.

FIGURA 1. *Cairn. Instalación de Andy Goldsworthy, para el Domaine de Chaumont-sur-Loire, Francia, 2016*



Fuente: © Éric Sander

Goldsworthy trabaja en armonía con los elementos naturales, utilizando materiales como piedras, ramas, hojas, hielo y agua, y aprovechando las estaciones del año para crear obras efímeras que capturan la esencia del paisaje. *Cairn* es un túmulo donde las piedras y vegetales se entrelazan, simbolizando un acto de hacer que trasciende la mera construcción: es una reinterpretación de la naturaleza, una forma de entenderla y respetarla. La obra no solo refleja la belleza del entorno, sino también la interacción consciente del artista con su medio, en un acto que puede considerarse una manifestación del hombre que crea y transforma su entorno con intención y sensibilidad.

Este acto de hacer, en el caso de Goldsworthy, va más allá de la simple manipulación; es una forma de diálogo con la naturaleza, donde cada intervención es una expresión de respeto, reflexión y conciencia ecológica. La obra *Cairn* se convierte en un símbolo de la fragilidad y la belleza del mundo natural, recordándonos que nuestras acciones tienen un impacto y que, como seres humanos, tenemos la responsabilidad de cuidar y reinterpretar nuestro entorno en un momento en que el cambio climático y el deterioro ambiental son alarmantes.

Además, la naturaleza efímera de sus creaciones, documentadas mediante fotografías y vídeos, subraya la idea de que el hacer humano en la naturaleza está ligado a un ciclo de vida, muerte y renovación. Goldsworthy nos invita a reflexionar sobre la importancia del acto de crear, no solo como una expresión artística, sino como un acto de vinculación y compromiso con el planeta. En definitiva, su obra *Cairn* ejemplifica cómo el hacer humano puede ser una forma de reinterpretar, respetar y, en última instancia, colaborar con la naturaleza en un momento crucial para nuestro medioambiente.

3.4.2. La potencia volitiva de comprender. *Homo sapiens cum natura*

Michael Pinsky, artista británico, es reconocido por su compromiso con el medio ambiente y la sociedad a través del arte público. Su obra *Pollution Pods*, creada en 2017, es un ejemplo claro de cómo el arte puede convertirse en un instrumento de conciencia y activismo ecológico (FIGURA 2). La instalación consiste en cinco cúpulas geodésicas interconectadas, cada una recreando los niveles de contaminación de diferentes ciudades del mundo: Tautra en Noruega, Londres, Nueva Delhi, Pekín y São Paulo. A través de estas cápsulas, los visitantes experimentan de manera sensorial y emocional la diferencia en la calidad del aire, desde un entorno limpio hasta uno altamente contaminado.

Este proyecto refleja la capacidad del *homo sapiens* para comprender y afrontar su impacto en el medio ambiente. La potencia volitiva de entender —esa facultad que nos permite reconocer las consecuencias de nuestras acciones— se pone en evidencia en la intención de Pinsky de generar conciencia. La obra no solo muestra datos o estadísticas, sino que invita a la experiencia directa, haciendo que la problemática de la

contaminación sea tangible y emocionalmente impactante. La interacción con las *Pollution Pods* despierta en el espectador una reflexión profunda sobre cómo nuestras decisiones y estilos de vida afectan la salud del planeta y de nosotros mismos.

FIGURA 2. *Pollution Pods*. Instalación de Michael Pinsky, para Somerset House, Gran Bretaña, 2018



Fuente: © Michael Pinsky

Además, la obra sitúa en la intersección del arte, la arquitectura y el activismo, demostrando que el arte puede ser un medio poderoso para promover cambios sociales y ambientales. La exhibición en lugares como la COP 25 en Madrid, la ONU y otros foros internacionales evidencia su potencial para influir en las políticas y en la conciencia global. La obra de Pinsky nos recuerda que, como seres humanos, tenemos la capacidad y la responsabilidad de comprender la gravedad de la crisis ecológica y actuar en consecuencia.

Pollution Pods es una manifestación artística que no solo denuncia la contaminación, sino que también moviliza la potencia volitiva del hombre sabio para comprender y transformar su relación con el medio

ambiente. Nos invita a ser conscientes de nuestro impacto y a usar esa comprensión para impulsar un cambio real y necesario.

3.4.3. La disposición lúdica de crear. *Homo ludens cum natura*

David Nash, nacido en 1945 en Esher, es un reconocido artista británico cuya obra se centra en la madera y en la interacción con la naturaleza. Nash trabaja con árboles vivos y materiales naturales, aprovechando los procesos orgánicos y el paso del tiempo para crear sus esculturas, muchas de las cuales forman parte de su concepto de *Going Artwork*, obras en progreso que evolucionan con el tiempo. Su interés por la ecología y el medio ambiente se refleja en su respeto por los ciclos naturales y en su capacidad para transformar la madera en una expresión artística que dialoga con el entorno.

FIGURA 3. *Wooden Boulder.* Intervención de David Nash, iniciada en 1978, en un río cerca de su estudio en Blaenau Ffestiniog, al norte de Gales, hasta la actualidad



Fuente: © David Nash

Wooden Boulder (Roca de madera) es una de sus obras más emblemáticas, creada en 1978 (FIGURA 3). Nash taló un árbol y le dio la forma de una esfera de madera, que dejó rodar por un río cercano a su estudio en Gales. La obra no fue simplemente una escultura fija, sino un acto lúdico y experimental: Nash ayudó inicialmente a que la roca de madera

se moviera, pero luego la dejó en libertad, permitiendo que el azar, el tiempo, las corrientes y las estaciones la llevaran a diferentes lugares. Durante años, Nash documentó su viaje, observando cómo la madera se degradaba, se agrietaba y cambiaba de aspecto, convirtiéndose en una “escultura viva” que evolucionaba con el entorno. La obra se convirtió en una especie de juego natural, en una interacción lúdica entre el arte, la naturaleza y el azar.

Este acto de dejar que la obra se mueva libremente refleja la disposición lúdica del *homo ludens*, ese concepto que destaca la importancia del juego y la creatividad en la cultura humana. Nash no solo crea arte, sino que participa en un proceso de exploración, experimentación y sorpresa, donde el acto de crear se convierte en un juego con la naturaleza y sus cambios. La obra, en su movimiento y transformación, ejemplifica cómo el arte puede ser una forma de diálogo lúdico con el medio ambiente, promoviendo una visión ecológica y respetuosa del mundo natural.

A fin de cuentas, *Wooden Boulder* encarna esa actitud lúdica de Nash, donde el acto de crear se convierte en una celebración del devenir, del viaje y de la interacción con la naturaleza, recordándonos que el arte puede ser una forma de jugar, aprender y respetar el mundo que nos rodea.

3.4.4. La ordenación geográfica de ubicar. *Homo geographicus cum natura*

David Buckland, artista, cineasta y marinero británico, es el creador y promotor del proyecto *Cape Farewell. The cultural response to Climate Change*, una iniciativa que combina arte, ciencia y exploración en el contexto del cambio climático (FIGURA 4). *Cape Farewell* (Cabo del adiós) es un promontorio en la costa sur de la isla de Egger. Es el punto meridional más extremo de Groenlandia. Desde 2003, Buckland ha liderado expediciones al Ártico a bordo de la goleta *Noorderlicht*, donde artistas, científicos y pensadores creativos trabajan juntos en un entorno extremo y espectacular. La finalidad de estas expediciones es sensibilizar sobre los efectos del cambio climático, utilizando intervenciones artísticas en el paisaje, fotografía documental, instalaciones alimentadas por energía solar, esculturas y sonidos que reflejan la fragilidad del ecosistema polar.

El proyecto no solo busca crear obras efímeras en el hielo, sino también promover una reflexión profunda sobre el futuro del planeta. La obra artística en Groenlandia, como las excavaciones en el hielo, collages o instalaciones sonoras, se convierten en testimonios visuales y sensoriales del impacto humano en la naturaleza. Además, muchas de estas obras se registran fotográficamente, permitiendo que su mensaje trascienda el lugar y el tiempo.

FIGURA 4. *Pregnant Ice Work. Intervención de David Buckland, para la Exposición Cape Farewell's Carbon 12, en Espace Foundation EDF, París, 2012*



Fuente: © David Buckland

Este enfoque artístico se relaciona con el concepto del *homo geographicus*, esa idea que describe al ser humano como un ser que no solo habita el planeta, sino que también lo configura y lo ordena a través de sus acciones y conocimientos. Buckland, en su proyecto, actúa como un explorador y ordenante del paisaje, utilizando el arte como herramienta para mapear, comprender y comunicar la transformación del

territorio polar. La intervención artística en el paisaje del Ártico, en un entorno tan extremo y vulnerable, refleja cómo el ser humano puede convertirse en un “geógrafo” que estudia y modifica su entorno, pero también en un cuidador que busca sensibilizar y promover cambios.

Cape Farewell ilustra cómo el arte puede ser una forma de ordenación geográfica, no solo en el sentido de mapear territorios, sino también en el de ordenar ideas, emociones y acciones frente a la crisis climática. La obra de Buckland nos invita a entender que somos parte activa del planeta, capaces de explorar, intervenir y, sobre todo, cuidar nuestro hogar común desde una perspectiva creativa y consciente.

3.4.5. La capacidad simbólica de significar. *Homo symbolicus cum natura*

Joseph Beuys, artista alemán de gran influencia en el arte contemporáneo, presentó en la Documenta VII de Kassel, en 1982, su emblemática obra *7.000 Eichen* (7.000 robles). Este proyecto no solo fue una intervención ecológica a largo plazo, sino también un acto profundamente alegórico que conecta con el concepto del *homo symbolicus*, esa faceta del ser humano que se expresa a través de símbolos, mitos y significados profundos (FIGURA 5).

Beuys, con su visión de que “todos somos artistas”, utilizó el árbol como emblema de regeneración, tiempo y conexión con la tierra, en un acto que trasciende lo meramente estético para convertirse en un mensaje de conciencia ecológica y social. El proyecto consistió en la plantación de 7.000 robles en Kassel, acompañados de piedras de basalto, que inicialmente se apilaron fuera del museo Fridericianum y que posteriormente se retiraron al plantar cada árbol. Cada piedra, negra y sólida, simbolizaba la conexión con el magma interior de la Tierra, el *axis mundi* del árbol, que proviene del magma fluido en el interior del planeta. La relación entre el árbol y la piedra representa la dualidad entre lo vivo y lo inmutable, entre el crecimiento natural y la permanencia, creando un símbolo de equilibrio ecológico y cultural.

FIGURA 5. *7.000 Eichen.* Intervención de Joseph Beuys, presentada en la Documenta VII de Kassel, Alemania, 1982



Fuente: Dieter Schwerdtle. Archivo Documenta

Este acto de plantación, desarrollado a lo largo de varios años, fue mucho más que una simple acción ecológica; fue una declaración emblemática sobre la necesidad de reconectar con la naturaleza en un mundo cada vez más urbanizado. La obra se convirtió en un símbolo de resistencia y esperanza, un recordatorio de que la humanidad puede y debe

actuar para restaurar su vínculo con el planeta. La elección del roble, árbol de crecimiento lento y símbolo de fuerza y longevidad desde los druidas³⁶, refuerza esta idea de un tiempo profundo y de una memoria colectiva que trasciende generaciones.

Desde la perspectiva del *homo symbolicus*, *7.000 Eichen* funciona como un lenguaje visual y cultural que invita a la reflexión. Los árboles, como metáforas universales, representan la vida, la continuidad y la conexión con lo sagrado. La obra de Beuys, por tanto, no solo busca transformar el paisaje urbano, sino también activar en la sociedad un proceso de reconocimiento de su papel como guardianes del ecosistema y portadores de significados profundos. La intervención artística se convierte en un acto de relevancia que trasciende lo material, creando un espacio de diálogo entre cultura, naturaleza y espiritualidad.

7.000 Eichen ejemplifica cómo el arte puede ser un acto simbólico de transformación social y ecológica, en línea con la capacidad del *homo symbolicus* de significar y crear sentido. Beuys nos recuerda que el arte, en su dimensión más profunda, es un lenguaje que puede movilizar conciencias, activar valores y promover un cambio duradero en la relación entre los seres humanos y la Tierra.

4. RESULTADOS

Los resultados permiten identificar las principales tendencias y desafíos en el tema, así como proponer nuevas líneas de investigación o enfoques teóricos que podrían ser explorados en futuros estudios. Las investigaciones artísticas que abordan el cambio global desempeñan un papel fundamental en la sensibilización y movilización social frente a los desafíos contemporáneos.

A través del arte, los creadores logran comunicar mensajes complejos sobre temas como el cambio climático, la contaminación, la interacción con la naturaleza, la transformación del territorio y la pérdida de biodiversidad, generando un impacto emocional y reflexivo en el público. La capacidad del arte contemporáneo para trascender las barreras

³⁶ Del lat. drūīda, voz de or. galo; cf. celta *d[a]ru- 'roble' (Real Academia Española, 2019).

lingüísticas y culturales lo convierte en una herramienta poderosa para promover la conciencia global y fomentar acciones concretas.

Los ejemplos citados en esta investigación ilustran cómo las obras de artistas contemporáneos no solo reflejan las problemáticas actuales, sino que también proponen nuevas formas de entender y abordar estos desafíos. Por ejemplo, instalaciones interactivas que invitan a la participación del espectador, actitudes artísticas que promueven una visión ecológica y respetuosa de la naturaleza, trabajos que entablan un diálogo solícito con zonas afectadas por problemas medioambientales causados por el hombre, obras que fomentan la reflexión sobre el futuro del planeta, o proyectos colaborativos que involucran comunidades sociales, evidencian la repercusión del arte como medio de transformación social. Consecuentemente con ello, las expresiones artísticas no solo generan conciencia, sino que también inspiran cambios en las percepciones y comportamientos, demostrando que el arte puede ser un catalizador para el cambio global.

5. DISCUSIÓN

En respuesta a la pregunta, formulada en los objetivos, acerca de qué dirección puede tomar el arte en las repercusiones del cambio global que sea totalmente diferente de todo lo establecido desde otras disciplinas, los datos expresados en el estudio indican que la integración de las prácticas artísticas en los debates ambientales amplía las posibilidades de generar un impacto positivo en la sociedad, consolidando al arte como una herramienta esencial en la lucha por un mundo más sostenible mediante la emoción y la enunciación de proposiciones, quejas, denuncias y preguntas. Las investigaciones en bellas artes resaltan la importancia del arte contemporáneo como un agente de sensibilización, reflexión y acción, contribuyendo al cambio de actitudes.

La información que se expone en la investigación cualitativa encaja con lo descrito en las cuatro ideas fundamentales del marco metodológico. Y las cinco disposiciones conceptuales trazadas en el estudio arrojan nueva luz sobre la condición ecológica del arte, proporcionando un

enfoque inédito. Las obras ejemplificadas demuestran la interrelación y la reciprocidad que se establece en toda práctica artística que se articula con los retos del devenir global.

Los resultados indican una convergencia entre arte y ecología, entre cambio de mentalidad y educación ambiental, entre conexión emocional y reflexión artística, lo que está en consonancia con trabajos previos (Asenjo, 2021; Raquejo y Parreño, 2020; De la Torre, 2018). La utilización de estos trabajos como criterios de confrontación/corroboración de valoraciones se debe a su similitud por tratar el mismo tema, o por abordarlo utilizando distintos enfoques como los publicados en la Revista de Investigación AusArt (Vol. 12 Núm. 2, 2024).

La evidencia científica de fenómenos como el cambio global, la disminución de la biodiversidad o el agotamiento de recursos observada en distintas zonas de nuestro entorno (Duarte, 2006), y la visión interdisciplinar aportada por las humanidades ecológicas y ambientales —filosóficas, éticas, estéticas, económicas, sociales y culturales— reflejan una cosmovisión alternativa (Albelda, Arribas-Hergueda y Madorrán, 2023; Albelda, Parreño y Marrero, 2018).

En esta dirección, la dimensión utópica del arte puede abrir un espacio para establecer maneras de relación diferentes, convirtiéndose en un fermento necesario para impulsar una transición ecológica hacia la sostenibilidad.

6. CONCLUSIONES

El cambio global amenaza a todos los seres vivos, y desde el siglo XX, las bellas artes se han vinculado con la naturaleza para concienciar y reflexionar sobre los desafíos ambientales, contribuyendo a ello desde su propio lenguaje.

Esta relación entre arte y medio ambiente, aunque compleja y a menudo difícil de delimitar en obras concretas, se articula a través de la interrelación simbólica y la reciprocidad entre elementos naturales y expresivos. En este contexto, las prácticas artísticas no solo actúan como medio

de representación, sino también como generadoras de patrones de pensamiento que cuestionan, denuncian e inspiran nuevas formas de imaginar soluciones frente al cambio global.

El arte contemporáneo se diferencia de otros enfoques disciplinares al formular preguntas en lugar de ofrecer respuestas cerradas, planteando interrogantes que movilizan a la acción y al pensamiento crítico. Esta capacidad de interpelar al espectador convierte al arte en una herramienta eficaz y necesaria en la lucha contra los efectos del cambio global.

Actualmente, la presencia del devenir global en el ámbito artístico es incuestionable, y la investigación en arte desempeña un papel clave en esta dinámica. A través de propuestas creativas, experimentales e intelectuales, se generan alternativas para mitigar el impacto ambiental, fomentando una visión más sostenible del mundo.

Para consolidar este papel del arte en la lucha contra el cambio global, es fundamental integrar el conocimiento ecológico en la investigación y la educación social, dotando a las nuevas generaciones de herramientas perceptivas, críticas y creativas que les permitan afrontar estos desafíos desde una perspectiva cultural y sostenible. Así, el arte y la cultura, como cuarto pilar de la sostenibilidad, podrán mantener su equilibrio y relevancia.

Ciertamente, las bellas artes cuentan con la trayectoria, el potencial expresivo y el compromiso necesario para participar activamente en la defensa del patrimonio natural. La práctica artística contemporánea y la lucha contra el cambio global no pueden concebirse por separado: su complementariedad constituye una vía fértil para avanzar.

Para finalizar, un apunte personal de Marco Aurelio, un ejercicio de estoicismo que destaca la importancia del cambio y la transformación consciente como parte de la naturaleza: “Todo está en cambio; también tú estás en continua transformación e incluso en destrucción, al igual que todo el universo” (Meditaciones, IX, 19).

7. REFERENCIAS

- Albelda, J., Arribas-Hergueda, F. y Madorrán C. (Eds.) (2023). Humanidades ecológicas: hacia un humanismo biosférico. Tirant humanidades
- Albelda, J., Parreño, J. M. y Marrero, J. M. (coords.) (2018). Humanidades ambientales. Pensamiento, arte y relatos para el siglo de la gran prueba. Catarata
- Álvarez Junco, J. M. (2016). Forma y trasgresión: el discurso del arte. *Arte, Individuo y Sociedad*, 28 (1), 91-104. Ediciones Complutense
- Asenjo Fernández, I. (2021). Arte contemporáneo y naturaleza. *Anales de Historia del Arte*, 31, 217-237. Ediciones Complutense.
<https://dx.doi.org/10.5209/anha.78057>
- Crutzen, P. and Stoermer, E, J. (2000). The “Antropocene”. *Global Change Newsletter*, 41, 17-18. The International Geosphere–Biosphere Programme (I.G.B.P.)
- Delaiglesia, J. F. (2009). El rizo metódico y el retruécano: archivos vacíos, método necesario. *Arte, Individuo y Sociedad*, 21, 171-188. Ediciones Complutense
- De la Torre, B. (2018). Hybris. M.U.S.A.C. y NOCAPAPER
- Deleuze, G. (1988). Mil mesetas. Pre-Textos
- Dewey, J. (1912-13). Contributions to A Cyclopedia of Education. A Cyclopedia of Education, (3, 4 and 5), 318-323. Macmillan Co
- Duarte, C. M. (coord.) (2006). Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. C.S.I.C.
- Gadamer, H.-G. (2002). La actualidad de lo bello. El arte como juego, símbolo y fiesta. Paidós
- Grande, J. K. (2005). Diálogos Arte-Naturaleza. Fundación César Manrique
- Groys, B. (2023). Devenir obra de arte. Caja Negra
- Harris, M. (2011). Nuestra especie. Alianza
- Huizinga, J. (2012). Homo ludens. Alianza
- Julius, A. (2003). Transgresiones. El arte como provocación. Destino
- Lafuente, M. A. C. (1998). Introducción al pensamiento de Paul Ricoeur. *Thémata. Revista de Filosofía*, 19, 219-223. Universidad de Sevilla
- Marco Aurelio (2024). Meditaciones. Edaf

- Marín, C. y Jodra, S. (coords.) (2024). Ecología y arte: Procesos decrecientes en el arte y estéticas para una transición ecológica. *Ausart*, 12 (2), 27-284. Universidad del País Vasco
- Pareyson, L. (1988). *Conversaciones de Estética. La balsa de la Medusa*
- Raquejo, T. y Parreño, J. M. (Eds.) (2015). *Arte y Ecología*. U.N.E.D.
- Real Academia Española. (2019). *Druida*. En *Diccionario de la lengua española*. Recuperado 26 mayo 2025, de <https://dle.rae.es/druida?m=form>
- Ricoeur, P. (1985). *Hermenéutica y acción: de la hermenéutica del texto a la hermenéutica de la acción*. Docencia
- Ríos, T. (2005). La hermenéutica reflexiva en la investigación educacional. *Revista Enfoques Educativos*, 7 (1), 51-66. Universidad de Chile
- Taylor, S. J. y Bogdan, R. (1984). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados*. Ediciones Paidós

ESTANCAMIENTO ACELERADO: ASCESIS EN TIEMPOS DE DROMOCRACIA

CARLOTA GÓMEZ HERRERA
Universitat de València

1. INTRODUCCIÓN

¿Cuál es el paradigma de gobierno al que se asoma la sociedad contemporánea? La configuración contemporánea del desarrollo se sustenta aún en una concepción teleológica, lineal y acumulativa del “progreso”. Este modelo, arraigado en la lógica de la maximización extractiva, abre a un tiempo, siguiendo a Walter Benjamin, “homogéneo y vacío”, que agota los recursos materiales del planeta, al tiempo que depreda las energías sociales, afectivas y cognitivas de las comunidades a nivel global (2008: 51). Bajo la lógica dromocrática —gobierno o régimen de la velocidad absoluta— del capitalismo tardomoderno que explicitó uno de los hijos más brillantes de la Segunda Guerra Mundial en 1977 en *Velocidad y política*, Paul Virilio, la aceleración se vuelve el principio de gestión de lo viviente³⁷ (2017).

A su paso arrasa ecosistémica y simbólicamente lo que toca; genera una aceleración destructiva que arrastra consigo tanto a los ecosistemas

³⁷ Paul Virilio nació en 1932 y creció en la costa norte de Francia, en Bretaña. Marcado por la Segunda Guerra Mundial, su ciudad, Nantes, fue ocupada por la marina alemana y luego bombardeada por británicos y estadounidenses, experiencia que él mismo describió como “su verdadera universidad”. Formado en la École des Métiers d’Art, se especializó en vitrales y colaboró con Henri Matisse en iglesias parisinas; en 1950 se convirtió al cristianismo. Reclutado durante la guerra de independencia de Argelia, estudió fenomenología con Maurice Merleau-Ponty en la Sorbona y, en 1958, realizó una investigación sobre la organización militar que lo llevó a interesarse por la Muralla del Atlántico, los 15.000 búnkeres nazis construidos para repeler un eventual desembarco aliado. Después de jubilarse como profesor de arquitectura en París, el pensador de la gran ciudad y se trasladó a la costa atlántica francesa, símbolo territorial de la desaceleración.

como a las estructuras simbólico-narrativas de la vida colectiva. Esta racionalidad, propia del capitalismo tardomoderno, en la medida en que tiene el crecimiento económico por imperativo, no tiene en consideración los límites materiales del planeta ni los equilibrios ecológicos —por decirlo con Guattari: mentales, sociales y medioambientales (1996)—, produce una devastación material del ecosistema planetario e instituye una forma de relación antropocéntrica y disyuntiva con la totalidad biótica, fundada en la instrumentalización del otro —sea este humano o no.

En este catastrófico escenario sin “afuera”, la inevitable “comunidad global” que todos compartimos se encuentra atravesada por “el común”. Es en este punto en el que la noción de “deuda” entra a formar parte del análisis histórico-semiótico. La deuda, categoría de seno económico-financiero, carga con el peso semántico de una figura estructural del vínculo roto, del lazo no-reconocido, de la promesa incumplida con respecto tanto a las generaciones pasadas como a las venideras; se convierte, si se quiere, en una categoría ontopolítica que designa la ruptura del vínculo con la comunidad biótica, al tematizar, levinasianamente, la responsabilidad como anterioridad ética al sujeto mismo. Es la deuda contraída con las generaciones futuras, pero también con las pasadas —con sus saberes, modos de vida y cosmologías no modernas—, lo que plantea la urgencia de una religación, una reapropiación crítica del lazo como fundamento de lo común.

De ahí que analizar, desde una perspectiva filosófico-crítica, la función estructurante de la deuda como dispositivo simbólico de la modernidad tardía y su resignificación como vía para religar al ser humano con su entorno biocósmico pueda resultar fecundo para repensar la noción de desarrollo bajo coordenadas ecosóficas orientadas hacia formas de vida sostenibles, interdependientes y no extractivistas.

2. ¿QUÉ ES “EL COMÚN” Y CÓMO PENSARLO EN EL RÉGIMEN DE LA VELOCIDAD?

El devenir histórico de la humanidad ha sido, en gran medida, un relato de su conquista progresiva del tiempo y del espacio. Desde la

domesticación del caballo hasta la invención de la locomotora, desde el automóvil hasta el avión supersónico, cada salto técnico ha constituido una intensificación del poder humano sobre la distancia y la demora.

Sin embargo, como Virilio supo advertir con premonitoria lucidez, esta lógica aceleracionista, que inicialmente prometía emancipación, ha comenzado a revertirse sobre sí misma de manera paradójica³⁸. La culminación de la velocidad parece no apuntar a la liberación, sino a la parálisis, al agotamiento, al estancamiento, sin embargo, acelerado. La instauración del *tiempo real* —ese tiempo sin espera, sin tránsito, sin espesor— representa el clímax de la aceleración histórica, pero también su punto de inflexión³⁹. Es cierto, el sujeto ya no necesita desplazarse. La información, la imagen, la mercancía, el deseo mismo lo alcanzan antes de que él siquiera los haya formulado. Estamos, pues, ante una nueva modalidad de existencia, que Virilio denominó como la “tiranía de la imagen”, las bombas de la democracia viva y el control de la “pantalla catódica” mundial que no conducen sino a un cierto estado de estancamiento acelerado, figura contradictoria pero eficaz para describir una temporalidad en la que todo se mueve demasiado rápido como para que algo, realmente, acontezca o pueda ser asimilado.

[...] todo el mundo está muy ocupado en frente de algún aparato de comunicación, haciendo cola en el espacio virtual... el tiempo del trabajo ocupa el centro del tiempo, mientras que el tiempo incontrolado de las vacaciones y el desempleo forman una periferia, unos suburbios...

³⁸ Virilio es cada vez más reconocido como el creador de conceptos militares, espaciales, políticos y “tecnoculturales” como la *función oblicua*, la *dromología* o *ciencia de la velocidad*, la *estética de la desaparición* y la *endocolonización*, Virilio es célebre por su afirmación de que la lógica del incremento constante de la velocidad se encuentra en el núcleo de la organización y transformación del mundo contemporáneo. Además de Virilio, sobresale el sociólogo y filósofo alemán Hartmut Rosa, nacido en 1965, cuya obra constituye una de las aportaciones más rigurosas al análisis de la modernidad tardía, en particular a través de su teoría de la aceleración social —que describe el incremento sistemático de los ritmos tecnológicos, económicos y vitales— y de su concepto de resonancia, propuesto como categoría normativa para pensar formas de relación no alienadas con el mundo.

³⁹ Desde finales del siglo XX y con mayor intensidad en siglo XXI, el fenómeno de la aceleración ha permeado la estructura y las dinámicas de la academia, donde la velocidad se ha convertido en una presión clave en la “fetichización del *paper*” en la era del capitalismo cognitivo (Vostal, 2016). La cultura, al igual que la mayoría de las prácticas sociales contemporáneas, se encuentra actualmente absorbida —de forma intensa y, a menudo, acrítica— por la lógica del mercado y por un proceso de neoliberalización que afecta incluso a las formas de creación intelectual.

considera, por ejemplo, el fenómeno de la irrupción en el cual una ciudad permite ser vista de un modo completo... recordemos cuando las polis griegas inauguraron un teatro político con su ágora y su fórum, hoy sólo hay la pantalla catódica donde las sombras y espectros de una comunidad bailan mientras viven su proceso de desaparición (2012: 19).

En *La máquina de la visión*, Virilio, en el marco de las célebres conversaciones que Rodin mantiene con el escultor Paul Gsell, señala:

[...] es probable que una fotografía instantánea, realizada a partir de un modelo que ejecutara el mismo movimiento, mostraría el pie de atrás levantando y trasladándose hacia el otro. O bien, por el contrario, el pie de delante todavía no estaría en tierra si la pierna de atrás ocupara en la fotografía la misma posición que en mi estatua. Pues es justamente por este motivo por lo que ese modelo fotográfico presentaría el raro aspecto de un hombre que de repente *ha quedado paralizado*. Y eso confirma lo que le acabo de exponer sobre el movimiento en el arte. Si, en efecto, en las fotografías, los personajes, incluso captados en plena acción, parecen congelados súbitamente en el aire, es porque en todas las partes de su cuerpo, al estar éstas reproducidas exactamente en la misma veintava o cuarentava fracción de segundo, no hay, como en el arte, un desarrollo progresivo del gesto (1998: 9-10).

Cuando Bergson afirma que el «espíritu es una cosa que dura», Virilio matiza que «es nuestra duración la que piensa, la que experimenta, la que ve» (1998: 11). Al enfrentarse al fenómeno de la velocidad y a sus consecuencias, Virilio postula la esencia de esta en términos de poder, de poder destructivo⁴⁰. La velocidad —aquello que él denominó *dromología*—, más que un epifenómeno del progreso, es su lógica constitutiva, su ontología oculta (2017). Se podría decir que existe, a su juicio, una estrecha relación entre la velocidad y el “nihilismo tecnopráctico”. Así expresa: «Poder y velocidad son inseparables, al igual que riqueza y velocidad son inseparables... Poder es siempre poder de controlar un territorio con mensajes, modos de transporte y comunicación [...] Un acercamiento a la política es imposible sin un acercamiento a la economía de la velocidad» (1997: 62). Cuando Virilio habla de “poder”, se refiere, prioritariamente, a “poder de movimiento” y la técnica no es sino una

⁴⁰ En el caso de las prácticas que constituyen la “investigación científica”, puede observarse con especial nitidez cómo velocidad y destrucción se entrelazan. Actividades como la reflexión teórica, la realización de experimentos, la lectura o la escritura de textos solo pueden llevarse a cabo de manera rigurosa y fecunda si se dispone del tiempo necesario, es decir, si se les concede una cierta lentitud y detenimiento. De ello depende el propio “funcionamiento” de la ciencia, del saber: su capacidad para cumplir con su *telos* inmanente (Gross, 2021: 112).

variable dependiente de la guerra y la práctica militar. La absolutización del movimiento va de la mano de la expansión de la tecnología militar sobre los civiles. La imagen de ciertos gobernantes/estrategas como Mao Tse Tung, de Ceausescu o del faraón es siempre la misma y representa de una manera bastante evidente el entrelazamiento entre poder, tiempo y espacio⁴¹. El triunfo del engranaje de dicha articulación se hace efectivo precisamente en la revolución dromológica de la modernidad, de modo que lo decisivo de la modernización no sería el cambio del sistema productivo, sino la introducción de nuevos medios de aceleración.

¿Cuál es el denominador común de las prácticas de los gobernantes citados? Todos ellos tienen en común, insiste Virilio, que «conducen, guían las energías y dan un *ritmo* a la sociedad que controlan» (1997: 18). Este estado terminal de la “modernidad acelerada” se encuentra atravesado por una inmovilidad saturada, tensa, vibrátil en la que el sujeto, en lugar de correr por el mundo, es, más bien, recorrido por flujos, impulsos, ráfagas de luz con sonidos ensordecedores. El movimiento ha sido externalizado, volcado hacia las superficies de las pantallas, donde los cambios son tan vertiginosos como insignificantes. ¿Ha alcanzado la aceleración su grado cero? Anclado a una silla ergonómica, conectado a redes que lo interpelan permanentemente, el sujeto contemporáneo vegeta entre estímulo y estímulo, atrapado en un presente perpetuo... ¿Es capaz, aún, de habitar un cierto hiato entre un estímulo y otro?

[...] ahora, a través del mercado único, de la globalización de la convergencia del tiempo hacia un único tiempo, un tiempo mundial, un tiempo que viene a imponerse al tiempo local... a través del ciberespacio, a través de los grandes conglomerados de telecomunicaciones, hay un nuevo totalitarismo. Un totalitarismo de totalitarismos, y eso es lo que yo llamo ‘globalitarismo’... y es algo infinitamente más peligroso, quizá, que las versiones nazi o estalinista del totalitarismo (2000).

⁴¹ Mao Zedong (1893–1976), también transliterado como Mao Tse-Tung, fue político, estratega y líder revolucionario chino, fundador y máximo dirigente del Partido Comunista de China y principal artífice de la República Popular China, que presidió desde su creación en 1949 hasta su muerte, siendo considerado por muchos un dictador pese a valoraciones divergentes sobre su carácter autoritario. Nicolae Ceaușescu (1918–1989) fue el segundo y último líder comunista de Rumanía, secretario general del Partido Comunista (1965–1989) y jefe de Estado —primero como presidente del Consejo de Estado y desde 1974 como presidente—, cuyo régimen autoritario terminó con su derrocamiento y ejecución, junto a su esposa Elena, durante la Revolución rumana de diciembre de 1989.

Más allá de estos diagnósticos radicales, resulta imposible enfrentarse al fenómeno de la velocidad y a sus consecuencias sin tener en cuenta a Virilio. Para contener el movimiento de las masas y, con ello, reducir su potencial inercia revolucionaria, la biopolítica de la aceleración asume de manera cristalina una estructura político-policial que juega con la apertura y el encierro. La apertura se producirá al interior del encierro, esto es, el espacio que permite el acceso a la “apertura” es un espacio que encierra, contiene. Ese es el espacio del dispositivo tecnológico y su tiempo es el tiempo de la aceleración. De ese modo, el mundo padece, a causa de esa velocidad absoluta que nos encierra infinitamente, un empequeñecimiento, un aprisionamiento que contamina las distancias tiempo-espacio en las que los sentidos y la narración vital otorgan la extensión que las percepciones están en condiciones de ofrecer. Una “ciudad sin puertas”, una red de conexiones informacionales e interactivas que transforman el mundo en una prisión de trascendencia ilusoria. Esa ansiedad fugitiva, ese estremecimiento se apodera de la mente, de su capacidad, de su imaginación (Virilio, 2012: 19). El aumento incesante de la aceleración conduce a una “liquidación del mundo” que nos arroja a esa *Lost Dimension*... La frenética “liquidez” parece haberse transformado en un estado permanente e inescapable de la vida social contemporánea (Bauman, 2000; Rosa et al., 2007).

El gran confinamiento de Foucault no está fechado en el siglo XVIII, sino en el XXI. Cuando tengamos todas las interactividades que queramos, cuando vayamos a Tokio en dos horas gracias a los aviones hipersónicos, es evidente que la sensación de estrechez del mundo se hará rápidamente insoportable. Habremos perdido la grandiosidad de la naturaleza. Al igual que existe la contaminación de la naturaleza existe una contaminación de las dimensiones reales. Es un hecho INSOPORTABLE. Perder el cuerpo en el autismo o la esquizofrenia también es insoportable. Ahora bien, creo que, a causa de las tecnologías, estamos perdiendo el cuerpo propio en beneficio del cuerpo espectral, y el mundo propio en beneficio de un mundo virtual (1997: 50-51).

Es en ese sentido que la apuesta virgiliana apunta hacia la necesidad de una “economía política de la velocidad”, entendiendo en sentido griego el término de *oikonomia*. Desde el momento en que estamos amenazados por una cibernética social, por las telecomunicaciones, por Internet y por la automatización de la interactividad, es necesario que haya una

economía política de la velocidad, al igual que existe una economía política de la riqueza y de la acumulación, propone (1997: 62).

El repliegue que Virilio pretende proponer es el de «reencontrar el contacto» (1997: 41). El desgarró que produce con respecto a sí la pérdida del mundo propio, la pérdida del cuerpo propio, llegará a ser insoportable para todos. Reencontrar el tacto, el placer de la marcha, del alpinismo, de la navegación, son «signos de otra divergencia, de una vuelta a la física, a la materia; los signos de una rematerialización del cuerpo», cuestión que está estrechamente relacionada con el planteamiento que hace en sus últimos trabajos sobre “ecología gris” o “contaminación ecológica dromosférica” (1997: 60).

Virilio distingue entre dos tipos de ecología. Por un lado, la *ecología verde*, que alude a la contaminación material de la naturaleza —fauna, flora, atmósfera, hidrosfera— y es visible y cuantificable. Por otro, una *ecología gris*, menos perceptible, que designa la contaminación de las *distancias* y de la *extensión* del mundo causada por la velocidad: una “contaminación dromosférica” que reduce el espacio real y erosiona la experiencia del viaje. En el pasado, viajar implicaba tres momentos —salida, trayecto y llegada— que estructuraban la relación del que viaja con el mundo. Hoy, la llegada generalizada ha anulado la expectativa de partida. El logro inmediato, convertido en límite, produce un sentimiento de confinamiento (1997: 60). No se trata del fin apocalíptico del planeta, sino de un mundo terminado, cerrado a la aventura. Esta clausura, ya anticipada por Paul Valéry, es lo que, a ojos de Virilio, impide a las nuevas generaciones “conquistar el mundo”: el planeta, aún presente, se vuelve mentalmente distante, inalcanzable y, en última instancia, *nada*. De ahí su apuesta por la recuperación de la lectura y de la escritura; ambas son vías de acceso y cultivo privilegiado de la palabra y, por tanto, de los demás. Recordando a Esopo, enuncia que «la primera manera de amarse es la palabra» y que hay que hacer por proteger esta necesidad social de tecnologías de la información (1997: 66-67).

El espíritu dromológico se configura como una forma de agresión sistémica contra la naturaleza, el mundo y la subjetividad, a través de la expansión infraestructural, la movilización total y la explotación intensiva de recursos. La revolución que contrae implica, según Virilio, un tránsito

que va del peso de la territorialidad a la ligereza de la temporalidad, en el que el espacio pierde, digámoslo en sus palabras, su “sustancialidad” —comprendida en clave crítica como resistencia, diferencia o distancia—, así como su densidad y gravedad. Este proceso de desmaterialización implica una progresiva multiplicación de los espacios donde el poder actúa, no anclados en lo geográficamente delimitable, sino que se reconfiguran en términos de movilidad, tránsito y circulación constante. De ese modo, la clave hermenéutica para atender al ejercicio del poder no reside ya en la *geopolítica*, sino, más exactamente, en la *cronopolítica*. ¿Quién es entonces aquí el “más poderoso”? El más rápido, el que es capaz de controlar el tiempo y los flujos que en él tienen lugar.

3. ¿ENDEUDAMIENTO SIN DEUDA?

Asumir esta *deuda sin deuda* obliga a desmontar el imaginario del progreso como mera acumulación y a pensar la economía no ya como máquina de extracción y velocidad, sino como arte de cuidado. Frente a la ficción de un crecimiento infinito, se vuelve necesario imaginar una práctica de desarrollo que no mida su éxito por el Producto Interior Bruto (PIB), sino por la capacidad de sostener las condiciones materiales y simbólicas de la vida. Ello exige, antes que nada, una mutación de las categorías con las que pensamos lo común; no basta con redistribuir recursos; es preciso redefinir el propio significado de ‘riqueza’.

La superación del antropocentrismo moderno exige pasar por una crítica a la ontología de la apropiación, cosa que implica, en este sentido, una relectura del concepto mismo de ‘desarrollo’ para desactivar su sentido de expansión ilimitada del dominio técnico y promover su valor como cultivo de formas de vida sostenibles, interdependientes y éticamente responsables. Y, de su mano, ello, se hace imprescindible pensar la noción de *ethos* como disposición religadora, como carácter forjado por hábitos relacionales que articulan prácticas de no dominación, de acogida y de simetría ante lo viviente. Este *ethos* implica una religación, una reinención del lazo —físico, simbólico y espiritual— entre el ser humano y la comunidad de lo viviente, en oposición a las lógicas del desgaje individualista que subyacen a la aceleración neoliberal. Se trata de “aterrizar”, de

abandonar la ficción del sujeto soberano y reconfigurar nuestra pertenencia a una “Tierra actuante”. Ahora bien, ¿qué es “el común”?

Por “el común” podría emplearse la definición que ofrecen Hardt y Negri en el prefacio a *Commonwealth. El proyecto de una revolución del común*: «la riqueza común del mundo material —el aire, el agua, los frutos de la tierra y toda la munificencia de la naturaleza— que en los textos políticos clásicos europeos suele ser reivindicada como herencia de la humanidad en su conjunto que ha de ser compartida» (2009: 10). “El común” son también y con mayor motivo «los resultados de la producción social que son necesarios para la interacción social y la producción ulterior, tales como saberes, lenguajes, códigos, información, afectos, etc.». Lo interesante de esta idea de “el común” es que no coloca a la humanidad como algo separado de la naturaleza, como su explotador o su custodio, sino que se centra en las «prácticas de interacción, cuidado y cohabitación en un mundo común que promueven las formas beneficiosas del común y limitan las perjudiciales», dado que, en la era de la globalización, lo referente al «mantenimiento, producción y distribución del común en ambos sentidos, así como en los marcos ecológicos y socioeconómicos», es cada vez más importante (2009: 10).

El impacto político de la velocidad, en el que reparó Virilio, junto a la hipertecnologización, la aceleración sistémica y la saturación de estímulos, va en aumento. Sus efectos, que han colonizado ya prácticamente el conjunto de dimensiones de lo viviente, la cultura, ponen sobre la mesa, con creciente virulencia, la pregunta sobre qué clase de subjetividad emerge cuando el tiempo ya no es un recurso, sino una amenaza. El “dromómano” es el sujeto que procura ser eficiente, que corre, pero que nunca alcanza aquello que persigue porque el movimiento es más rápido de lo que su cuerpo y espíritu pueden soportar.

Enloquecedoramente veloz, y cada vez más veloz, así transcurre la vida en los tiempos que corren. Con el desarrollo tecnológico, aunque puedan identificarse múltiples propósitos —y, en efecto, los hay—, el objetivo esencial y determinante ha sido el incremento de los beneficios humanos, entre ellos la comodidad y el sosiego. Como señalaba Ortega y Gasset, se trata de liberar al sujeto de las imposiciones de la necesidad natural. Sin equilibrio entre el *otium* (ocio) y el *nec-otium* (negocio), la

presión constante y la agitación extrema saturan la imaginación y empujan al individuo hacia el consumo teledispositivo, el único que parece satisfacer esa demanda inmediata. Se trata de una forma de consumo rápido, insípido y plagado de estímulos visuales que simulan movimiento: el sujeto queda saciado, pero no ha hecho nada; no se ha desplazado ni transformado en absoluto. Un lamento recorre la vida cotidiana: «¡No alcanza el tiempo!».

4. ASCESIS PAGANA: DEUDOR, ACREEDOR Y CRÉDITO

En términos análogos, Marx hablaba de la necesidad de permitir que el individuo acceda al *reino de la libertad*, es decir, a un tiempo emancipado de la urgencia material y orientado al despliegue pleno de las capacidades humanas. Pero si la velocidad ha dejado de ser un medio y se ha vuelto fin en sí misma, es decir, si el tiempo ha sido colonizado por la lógica de la velocidad, cabe preguntarse: ¿puede aún la experiencia humana resistirse a su lógica sin quedar arrasada por ella y acceder al *reino de la libertad*?

El reino de la libertad solo empieza allí donde termina el trabajo impuesto por la necesidad y por la coacción de los fines externos; queda, pues, conforme a la naturaleza de la cosa, más allá de la órbita de la verdadera producción material. [...] A medida que se desarrolla, desarrollándose con él sus necesidades, se extiende este reino de la necesidad natural, pero al mismo tiempo se extienden también las fuerzas productivas que satisfacen aquellas necesidades. La libertad, en este terreno, solo puede consistir en que el hombre socializado, los productores asociados, regulen racionalmente este su intercambio de materias con la naturaleza, lo pongan bajo su control común en vez de dejarse dominar por él como por un poder ciego, y lo lleven a cabo con el menor gasto posible de fuerzas y en las condiciones más adecuadas y más dignas de su naturaleza humana. Pero, con todo ello, siempre seguirá siendo este un reino de la necesidad. Al otro lado de sus fronteras comienza el despliegue de las fuerzas humanas que se considera como fin en sí, el verdadero reino de la libertad, que, sin embargo, solo puede florecer tomando como base aquel reino de la necesidad. La condición fundamental para ello es la reducción de la jornada de trabajo (2008: 1044).

Responder a esa interpelación supone abrir espacios de cooperación que atraviesen las fronteras estatales y las jerarquías interespecies, instituciones capaces de reconocer la interdependencia radical de todos los

seres. Esta tarea es una condición de supervivencia, pues la continuidad de la vida depende de la capacidad de traducir la conciencia de la deuda en prácticas políticas, tecnológicas y afectivas que protejan lo común.

La relación entre deudor y acreedor puede pensarse, en el presente, como el vínculo fundamental que une a los seres vivientes con la Tierra. En esta ecuación, el viviente ocupa inevitablemente el lugar deudor: su existencia depende de los ciclos, los recursos y las energías de un planeta que lo precede y lo excede. Por más que intente desconocer o negar esta dependencia, jamás se sitúa en pie de igualdad. Sin embargo, la Tierra —acreedora por excelencia— tampoco es una instancia autosuficiente. Su “crédito”, esto es, su capacidad de sostener la vida, depende a su vez de las prácticas, los cuidados y las decisiones de quienes la habitan. El lazo que los une no se asemeja a un intercambio equilibrado, sino a un campo de fuerzas asimétricas, un espacio de tensiones que puede devenir conflicto o lucha por el sentido mismo de “el común”.

Esta lucha resulta particularmente difícil de pensar porque el endeudamiento contemporáneo con la Tierra no se presenta bajo las formas clásicas de explotación identificable, como el trabajo asalariado o la apropiación directa. Se manifiesta, más bien, como una trama opaca de dependencias recíprocas y daños acumulativos que Benjamin vislumbró casi proféticamente en su fragmento *El capitalismo como religión*, un culto que produce culpa sin posibilidad de expiación, donde la deuda —ahora ecológica y vital— jamás puede saldarse, solo “administrarse”, “gobernarse”. A esta dimensión estructural se añade otra no menos decisiva, como es la apropiación desigual de los recursos comunes. Unos pocos concentran el acceso y el poder de explotación de la riqueza planetaria, y su prosperidad se sostiene en la desposesión de las mayorías. La acumulación de unos depende de la escasez de otros; la abundancia privada se edifica sobre la pobreza colectiva. La deuda ecológica, entonces, aparece tanto en forma de vínculo relacional entre humanidad y biosfera, como también en la relación de dominación intra-humana, donde la Tierra deviene escenario de una economía política que transforma la vida en capital y convierte el cuidado —esa obligación que nos constituye como deudores— en mercancía administrada por los mismos que extraen beneficio de la devastación.

Pensar esta doble asimetría podría ser el primer paso para una crítica que no exceda a la contabilización de los daños y abra la posibilidad de nuevas prácticas de reciprocidad, de autolimitación y de redistribución, capaces de romper el círculo en el que la riqueza de unos se alimenta inexorablemente de la pobreza de los otros.

En esta línea, Elettra Stimilli hace suya la interpretación “económica” que Agamben da del dispositivo teológico-político congénito a la modernidad secularizada y propone una relectura radical del problema del endeudamiento a partir de una crítica ontopolítica del neoliberalismo. Según la autora, el lado “reprimido” de la secularización no reside tanto en el ocultamiento de un fundamento teológico de las instituciones políticas modernas, cuanto en su dependencia de un paradigma esencialmente “económico” de gobierno de la acción social. Aunque en su estudio dedicado a la contradicción entre “regla” y “forma de vida” vivida por el primer franciscanismo, Agamben haya aclarado recientemente la presencia de un modelo “activo” de conducta crítica —como teoría del uso en común (2013)—, Stimilli abre un rumbo distinto en el carácter teológico-económico de la gubernamentalidad. Por más que este resulte evidente en el cristianismo del siglo IV, el objeto de indagación debería ser, para la autora, la derivación de sus formas simbólicas de las concretas conductas de vida organizadas en torno a una lógica de la salvación y, al mismo tiempo, su capacidad productiva en el campo de las orientaciones prácticas de la existencia.

Una de las operaciones centrales del capitalismo financiero consiste en haber expropiado a los sujetos de la “autofinalidad” que les es constitutiva. Toda praxis humana —sostiene Stimilli— implica en su raíz una dimensión de finalidad sin fin, un hacer que no se agota en su utilidad, sino que encarna una potencia libre de dirección absoluta (2022). El neoliberalismo, sin embargo, ha despojado al sujeto de esta posibilidad, imponiendo en su lugar la lógica de la *empresarialización de sí*, en la que cada individuo se convierte en proyecto de inversión, en capital humano que debe rentabilizar cada aspecto de su existencia.

Frente a esta captura, el objetivo de Stimilli encuentra en el pensamiento tardío de Foucault una posible vía de fuga. Más que reactualizar las tesis weberianas sobre el origen de la forma de gobierno capitalista a partir

de un modelo ascético protestante, se manifiesta —en virtud de una relectura a través de las investigaciones foucaultianas sobre las conductas de vida y las formas de ascesis en la Antigüedad— como el intento de verificarlas a gran escala: ¿es posible, siguiendo a Weber y a Foucault, repensar el nacimiento de una determinada lógica —como la capitalista— de dirección y gobierno de las conductas de vida, a partir de las prácticas que la hicieron posible? ¿Y es posible considerar las “ascesis de la salvación” como el terreno en el que se han jugado en Occidente el gobierno y la libertad de los vivientes y, por ende, la relación misma instaurada por las metafísicas cristianas con el horizonte mundano?

Se trata de explorar una forma de *ascesis pagana*, un ejercicio de desidentificación subjetiva que permita obstaculizar la cristalización del sujeto neoliberal. En esta práctica, lo que importa es el *poder-no-ser* del sujeto, es decir, el poder ser de otro modo —esa capacidad de abrirse a una transformación continua, a una destitución creativa de las formas impuestas de vida (2022: 217). Si el capitalismo financiero de nuestros días puede considerarse como una teología económica secularizada, es necesario entonces, para Stimilli, reconstruir los orígenes de las prácticas de vida que lo legitiman. De ese modo, sería posible comprender el particular dispositivo —la peculiar actitud de “endeudamiento sin deuda”— que ha orientado hacia un fin determinado el actuar, en sí mismo carente de finalidad y fundamento, de las sociedades contemporáneas, así como vislumbrar aquellas formas de conducta que pueden ser inventadas en su contra. Este gesto residiría en una práctica constante de libertad, orientada a esquivar la noción neoliberal de libertad, que simula ofrecer alternativas cuando en realidad solo permite elegir entre lo mismo. Tal práctica participa de la ruptura; encarna una interrupción de la lógica que rige nuestra relación con el mundo, con los otros y con nosotros mismos.

5. CONCLUSIONES

El aumento del rendimiento por el rendimiento mismo, sin atender al producto ni al poso que deja el proceso, acarrea consecuencias nefastas para numerosos ámbitos de lo humano y proyecta al sujeto del presente

(y del porvenir) hacia un horizonte topológico cercenado por la mutilación del espacio. «En esta contracción geográfica [...] la penetración y la destrucción se confunden, la instantaneidad de la acción a distancia corresponde a [...] la derrota del mundo como campo, como distancia, como materia» (Virilio, 2017: 119).

La regla del máximo beneficio se impone como principio organizador que informa todas las secuencias de automatismos que operan como interfaz entre las esferas financiera, tecnológica y social. Cuando la lógica de los automatismos funcionales se difunde e inerva en los circuitos de decisión de la sociedad, la ley, la decisión política y la democracia ceden paso a la potencia performativa de los automatismos tecnofinancieros y a la omnipresente potencia del sistema mediático (Berardi, 2003: 149). Una vez apuntillada la “brecha tecnológica” que antes separaba y diferenciaba a la humanidad de la máquina, todo se vuelve un conglomerado homogéneo, indiscernible, una única “interfaz” en la que la localización geográfica pierde el protagonismo frente al “no-lugar” de la velocidad. Expresa Berardi a propósito de los planteamientos de Virilio sobre la centralidad de la velocidad en la historia moderna:

Desde que los objetos, las mercancías y las personas pudieron ser sustituidas por signos, por fantasmas virtuales transferibles por vía electrónica, las fronteras de la velocidad se han derrumbado y se ha desencadenado el proceso de aceleración más impresionante que la historia humana haya conocido. En cierto sentido podemos decir que el espacio ya no existe, puesto que la información lo puede atravesar instantáneamente y los acontecimientos pueden transmitirse en tiempo real de un punto a otro del planeta, convirtiéndose así en acontecimientos virtualmente compartidos. Pero ¿cuáles son las consecuencias de esta aceleración para la mente y el cuerpo humanos? Para entenderlo tenemos que hacer referencia a las capacidades de elaboración consciente, a la capacidad de asimilación afectiva de los signos y de los acontecimientos por parte del organismo consciente y sensible (2003: 22).

Nos quedamos, entonces, con algunas de las inquietantes preguntas que formula Berardi: ¿cuáles son las consecuencias de esta aceleración para la mente y el cuerpo humanos? ¿Qué formas de resistencia —si acaso las hay y son aún posibles— podrá desplegar el organismo individual y colectivo para sustraerse de esta fábrica sistémica de infelicidad? ¿Sobrevivirá el conocimiento? ¿La filosofía? ¿Será inevitable que toda estrategia

ascética de defensa pase por un mecanismo de desaceleración? ¿O estamos, en última instancia, irremediablemente condenados a una adecuación maquinal del cuerpo y del cerebro —reconfigurados en clave posthumana— para responder a las exigencias de una infosfera hiperveloz?

6. AGRADECIMIENTOS/APOYOS

Esta contribución es resultado del Proyecto de Investigación Científica y Desarrollo “Ética cordial y democracia inclusiva en una sociedad tecnologizada” (ETICORDIAL), con referencia PID2022-139000OB-C21, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Agencia Estatal de Innovación, así como de una ayuda predoctoral FPU21/00189 del MCIU.

7. REFERENCIAS

- Agamben, G. (2013). Altísima pobreza. Reglas monásticas y forma de vida. Homo hacer IV. Adriana Hidalgo
- Bauman, Z. (2000). Modernidad líquida. FCE
- Benjamin, W. (2008). *Tesis sobre la historia y otros fragmentos*. UACM
- Berardi, F. (2003). La fábrica de la infelicidad. Traficantes de sueños
- Gross, A. (2021). Las formas de vida y su aceleración: Un diálogo entre las perspectivas de Rahel Jaeggi y Hartmut Rosa. *Revista Castalia*, (37), 93-114
- Guattari, F. (1996). Las tres ecologías. Pre-Textos
- Marx, K. (2008). El capital: Crítica de la economía política (Vol. I; P. Scaron, Trad.). Siglo XXI Editores
- Rosa, H. et al. (2007). *Soziologische Theorien*. Konstanz
- Stimilli, E. (2022). La deuda del viviente. Pre-Textos
- Virilio, P. (1997). El Ciber mundo, la política de lo peor. Teorema
- Virilio, P. (1998). *From modernism to hypermodernism and beyond*. SAGE Publications Ltd
- Virilio, P. (1998). La máquina de visión. Cátedra
- Virilio, P. (2012). *Lost Dimension*. Semiotext(e)
- Virilio, P. (2017). Velocidad y política. La marca editora

EL ARTE DE PARECER IMPARCIAL: CONTRA LA FALSA SIMETRÍA Y LA EROSIÓN DE LO COMÚN

SAMUEL J. CASTEJÓN

Universidad Complutense de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

Es sencillo, no todo debate es un signo de salud democrática. A veces, debatir es no hacer nada o, peor aún, fingir que se hace algo. En lugar de clarificar, el debate sobre el cambio climático se ha convertido en un dispositivo de distracción. No porque no haya nada que debatir, sino porque el foco ha sido cuidadosamente desplazado.

Se ha promovido la idea de que toda controversia merece su debate, que toda afirmación requiere su negación, que la imparcialidad consiste en repartir un tiempo equilibrado entre quienes tienen pruebas y quienes tienen intereses..., pero ¿qué sucede cuando el debate no es un síntoma de pluralismo sino de sabotaje?, ¿qué ocurre cuando la duda, esencial en el proceso de conocimiento, deja de ser herramienta epistemológica y se hace producto de la industria?

El debate climático ha sufrido una domesticación discursiva, a saber, se ha hecho de él ruido de fondo, una conversación de ascensor donde, como todos ven llover, todos pueden hablar con igual peso sobre la lluvia; olvidando —o dejando olvidar— la catástrofe estructural que supone.

Este escrito no pretende resolver ningún debate, busca preguntarse por su fabricación. La duda, en este contexto, no funciona como motor de conocimiento, sino de parálisis. A través de *Mercaderes de la duda* (2010) y herramientas de la epistemología crítica como el falibilismo, la injusticia epistémica y el giro pragmático, se intenta desentrañar los mecanismos internos mediante los cuales se fabrica un debate donde no

lo hay; cómo se hace de la duda una mercancía, cómo se confunde —deliberadamente— el pluralismo con el relativismo, y cómo el consenso científico es acusado de ideología. Algo necesario de conocer, pues no todo desacuerdo es legítimo, ni toda controversia es honesta; así como defender el consenso científico es, en tiempos de crisis, defender una herramienta ética de comunicación, de resistencia.

Este no es un escrito que pretenda convencer, su único fin es el de mostrar que el debate fabricado no ilumina sino que confunde; que la imparcialidad, aplicada sin criterio, no equilibra sino que distorsiona. Para lo cual, hay preguntas ineludibles: ¿quién tiene derecho a hablar?, ¿a ser creído?, ¿quién se beneficia cuando todo es susceptible de ser debatido? Con ello, no se busca defender la ciencia como dogma, se busca recordar que no todo lo discutido se discute con honestidad.

2. LA INDUSTRIA DE LA DUDA

Los comités científicos suelen tener como fin impulsar la ciencia garantizando su calidad, ética y relevancia. Ahora bien, ¿todos buscan lo mismo? No. Algunos han sido creados para defender intereses industriales frente a la comunidad científica.

De ello trata *Mercaderes de la duda* de Oreskes y Conway, que analiza cómo la industria del tabaco, desde los años 50's, se dedicó a crear todo un cuerpo de científicos y asesores de alto nivel, con importantes relaciones en el ámbito político y mediático, para negar las evidencias emergentes sobre los efectos mortales del tabaco.

El objetivo principal, subrayado por Stokes a su comité asesor ese día de mayo y repetido en numerosos documentos de la industria del tabaco, era desarrollar «un amplio cuerpo de datos científicamente bien fundamentados útil para defenderse de los ataques a la industria» (Oreskes y Conway, 2018, p. 29).

Durante décadas se engañó a la población mediante campañas publicitarias, expertos y medias verdades. Así nació un segundo producto más rentable que el tabaco: la duda. ¿Cómo se logra algo así? Financiando la investigación de la distracción, es decir, desviando la atención de las

pruebas contra el producto para centrarla en los vacíos del conocimiento científico.

El objetivo era combatir la ciencia con ciencia... o al menos con los vacíos inseguridades de la ciencia existente y con investigación científica que pudiera utilizarse para desviar la atención del hecho principal. La industria del tabaco [...] financiaba una investigación de distracción (Ibid., p. 30).

Atacar la ciencia desde la misma ciencia, algo necesario para la supervivencia de su lucro económico, y posible a razón de que las acusaciones contra el tabaco no estaban plenamente demostradas. Ahora bien, ¿acaso es necesario esperar a la demostración definitiva para confiar en la ciencia? Y aún más, ¿qué es realmente una demostración científica definitiva? En principio parece que sí, es necesario esperar a una demostración de tal grado, pues la industria tabacalera pudo defenderse por medio de científicos favorables al escepticismo en el vínculo entre tabaco y cáncer. El escepticismo científico es esencial en la fabricación del debate, por ello, la industria vuelca enormes esfuerzos en mantenerlo vivo por medio de posibles alternativas a las causas de los problemas de los que el tabaco es acusado. A saber, pervive generando dudas razonables.

«Los expertos podrían suministrar dudas razonables y ¿qué mejor que un científico auténtico?» (Ibid., p. 31). En estas afirmaciones se abren dos cuestiones clave: por un lado, se dice que los científicos son expertos, ahora bien, la categoría de “experto” no da plena autoridad en cualquier ámbito. Un doctor en filología no tiene autoridad sobre la dermatitis aguda o, en un ejemplo menos autoevidente, un doctor en podología no tiene autoridad en nefrología por mucho que sea un ámbito médico y él un experto en medicina. No importa solo el título de “experto”, es necesario revisar la especialidad. Por otro lado, es de especial importancia tratar a las cosas como lo que son, y en este caso hablamos de «dudas razonables». Se trata de preguntarse por qué algunos fumadores padecen cáncer y otros no, ¿es más importante la genética que el propio acto de fumar?, ¿lo es el entorno?, ¿el modo de vida?... Son investigaciones legítimas, pero todas ellas, casualmente, distraen la atención del problema: fumar mata.

Es aquí, en los años 50's, «cuando se inició la era moderna de combatir los hechos» (Ibid., p. 32).

3. ESTRATEGIAS PARA COMBATIR LOS HECHOS

La verdad no siempre se combate con mentiras, a veces una estrategia más eficaz consiste en sembrar dudas, exigir certezas imposibles e invocar un pluralismo que opera como relativismo.

La industria del tabaco perfeccionó un conjunto de tácticas discursivas que hoy hallamos aplicadas, con una precisión casi quirúrgica, en infinidad de ámbitos, desde el cambio climático hasta la sanidad pública pasando por la educación, alimentación y energía. Su objetivo no es refutar hechos, sino erosionar la fuerza discursiva convirtiendo el conocimiento en opinión, las evidencias en sospechas, y el consenso en controversia. Por supuesto, estas tácticas no podrían funcionar sin una esfera mediática alimentada en el conflicto, una política que confunde equilibrio con justicia y una epistemología pública huérfana.

Así, la duda se convierte en algo rentable, a la vez que la ciencia se ve obligada a justificarse una y otra vez ante quienes no buscan ni pretenden comprenderla, y a cambiar su lenguaje para competir en el terreno de la divulgación. Pues para combatir los hechos no es necesario negarlos, basta con hacerlos discutibles. Se necesita, entonces, indagar en algunos de los modos empleados para lograr tal fin.

3.1. RELACIONES PÚBLICAS

«La decisión fue contratar a una empresa de relaciones públicas para que refutase las pruebas científicas que aseguraban que el tabaco podía matar» (Oreskes y Conway, 2018, p. 34). Con este fin, las tabacaleras recurrieron al marketing, priorizando la defensa de su producto originario por encima de la verdad y la salud pública. Así, Hill and Knowlton y las tabacaleras más importantes de Estados Unidos dieron el pistoletazo de salida al comercio de la duda. Para ello, el primer paso era crearla, y para crearla se necesitan hechos alternativos y ciencia.

«Un mensaje a favor de los cigarrillos necesitaría ciencia que lo respaldase» (Ibid., p. 35). Así nacen las «dudas razonables»: ¿El humo del tabaco es lo nocivo o lo son los gases de los vehículos? ¿Son las empresas las principales culpables de la contaminación o el peso

individual puede cambiarlo? Se explota el carácter falible de la ciencia, asumiendo hechos alternativos en cada uno de los huecos dejados en la investigación con ausencia de pruebas contrarias.

Se ejerce una actitud radicalmente opuesta a la de la ciencia contrastada donde: primero, la financiación y realización es en su mayoría pública, lo cual elimina de facto la presión de unos intereses comerciales privados —aunque no elimina cualesquiera tipos de intereses, no debe de caerse en una confianza ciega de las instituciones públicas pues siempre hay intereses, desde la elección temática del investigador hasta la misma financiación—; segundo, la ciencia contrastada jamás asume a ciegas un hecho alternativo, su justificación es contingente y basada en argumentos lógicos, formas teóricas y, además, contrastada por un jurado de pares.

Asimismo, no todos los científicos pueden ser divulgadores. Traducir el lenguaje técnico al público requiere habilidades distintas. Por eso, emplear expertos en relaciones públicas es una táctica eficaz: ya no se trata de refutar, sino de competir discursivamente.

Un ejemplo actual que permite ver la vinculación de empresas —potencialmente peligrosas para la existencia humana— y medios para difundir información contraria a la ciencia contrastada es la financiación destinada por la petrolera ExxonMobil. En su artículo *Network Structure and influence of the climate change counter-movement* [“Estructura de red e influencia del movimiento contrario al cambio climático”], Justin Farrel es tajante: «I find that the organizational power within the contrarian network, and the magnitude of semantic similarity, are both predicted by ties to elite corporate benefactors»⁴² (2016, p. 370), a saber, la élite financiera posee una posición central en la red contraria, obteniendo una mayor influencia tanto en la producción como en la difusión de la información que les es beneficiosa. ¿Y qué mayor élite financiera e interesada en un discurso contrario al cambio climático que la mayor petrolera de EE.UU.?

⁴² “Encuentro que el poder organizacional dentro de la red contraria, así como la magnitud de la similitud semántica, están ambos determinados por los vínculos con benefactores corporativos de élite.” (Siempre que no se indique lo contrario, la traducción es de autoría propia).

I found that organizations who received corporate funding from EM or KFFs had significantly higher betweenness centrality scores ($P < 0.01$). Thus, by virtue of their structurally advantageous position within the contrarian network, these organizations have greater influence over flows of resources, communication, and the production of contrarian information⁴³ (Ibid., p. 372).

El poder dentro de la red no se determina tanto por la cantidad de activos financieros, sino por el hecho de estar conectado a ciertos actores clave como ExxonMobil. A través de un análisis semántico, Farrell ha buscado la conjunción de discursos: «I then aggregated the mean of the coefficients by year, to assess if contrarian discourse as a whole became more similar over time to the discursive fields they intended to influence»⁴⁴ (Ibid., p. 371). Y, efectivamente, se ha dado tal conjunción discursiva: «At the aggregate level of the entire network corpus, I find a general positive semantic relationship over time with what the news media were writing and what US presidents were saying and writing»⁴⁵ (Ibid., p. 372). Queda así demostrada la creciente similitud semántica entre los discursos contrarios al cambio climático y los discursos en medios y presidencia.

Todo lo anterior es esencial para comprender el funcionamiento de una estrategia de relaciones públicas perfeccionada hasta nuestros días, donde se desarrolla incluso por medio de la dominación discursiva presidencial. Y en torno a ello gira uno de los hallazgos más importantes del estudio:

A central, and empirically unanswered, question concerns the extent to which the private sector influences the production and diffusion of contrarian information. Research has suggested, but not yet empirically tested, that ExxonMobil (EM) and the Koch family foundations (KFFs) may have played a particularly important role as corporate benefactors. I therefore obtained Internal Revenue Service data recording whether

⁴³ “Encontré que las organizaciones que recibieron financiamiento corporativo de EM [ExxonMobil] o de KFFs [fundaciones Koch] tenían puntuaciones de centralidad significativamente más altas ($P < 0.01$). Por lo tanto, gracias a su posición estructuralmente ventajosa dentro de la red contraria, estas organizaciones tienen mayor influencia sobre los flujos de recursos, la comunicación, y la producción de información contraria.”

⁴⁴ “Luego agregué la media de los coeficientes por año, para evaluar si el discurso contrario en su conjunto se volvió más similar con el tiempo a los campos discursivos que pretendía influir.”

⁴⁵ “A nivel agregado de todo el corpus de la red, encuentro una relación semántica positiva general a lo largo del tiempo con lo que los medios escribían y lo que los presidentes de EE. UU. decían y escribían.”

or not any of the organizations in the contrarian network received funding from these corporate actors between 1993-2013⁴⁶ (Ibid., p. 370).

Las organizaciones que recibieron financiación por parte de ExxonMobil y de las fundaciones Koch ocuparon posiciones centrales dentro de la red de desinformación climática en Estados Unidos. Dichas organizaciones no solo concentraron el poder estructural de la red contraria, además, lograron una mayor similitud semántica con los discursos mediáticos y políticos. Este es un descubrimiento que adquiere una dimensión política especialmente significativa cuando se considera el hecho de que Rex Tillerson ocupó el cargo de CEO en ExxonMobile durante un gran periodo de tiempo analizado por Farrell (2006-2013), cargo que deja en 2017 al ser nombrado secretario de Estado por Donald Trump.

Si bien es cierto que Farrell no nombra en ningún momento a Tillerson, los datos mencionados que documentan la influencia de ExxonMobil en el discurso negacionista climático permiten vislumbrar el vínculo estructural entre su liderazgo empresarial y el establecimiento de una red contraria, la cual ha contribuido a sembrar dudas acerca del consenso científico sobre el cambio climático. Una conexión que permite ver cómo no solo gestionó la mayor petrolera de Estados Unidos, también formó parte de un entramado de poder con consecuencias en las políticas climáticas nacionales e internacionales.

3.2. DOCTRINA DE LA IMPARCIALIDAD

La posición de la industria era que no había «ninguna prueba» de que el tabaco fuese malo y la promocionó fabricando un «debate», convenciendo a los medios de comunicación de que los periodistas responsables tenían la obligación de presentar «las dos posturas» (Oreskes y Conway, 2018, p. 36).

⁴⁶ “Una cuestión central, aún no respondida empíricamente, concierne al grado en que el sector privado influye en la producción y difusión de información contraria. Investigaciones han sugerido, aunque aún no lo han comprobado empíricamente, que ExxonMobil (EM) y las fundaciones de la familia Koch (KFFs) podrían haber desempeñado un papel particularmente importante como benefactores corporativos. Por ello, obtuve datos del Servicio de Impuestos Internos (IRS) que registran si alguna de las organizaciones en la red contraria recibió financiación de estos actores corporativos entre 1993 y 2013.”

La idea de que «no había “ninguna prueba” de que el tabaco fuese malo» se convirtió en un debate fabricado por la industria, donde se convenció a los medios de comunicación de que la tarea de un periodista íntegro es la de otorgarle igual representación a ambas posturas del debate. Ahora bien, ¿realmente debe de respetarse la doctrina de la imparcialidad?

Oreskes y Conway muestran cómo «la industria no dejó que los periodistas buscasen “todos los datos”, sino que se aseguró de que los recibían» (Ibid., p. 37), evitando que fuesen ellos quienes iniciasen la búsqueda, y comenzando una campaña agresiva de divulgación y promoción de su propia información —quizá mejor denominada desinformación deliberada—. A esas alturas de siglo la ciencia ya estaba firme en su condena al tabaco, sin embargo, aunque la ciencia estaba firme, la duda y el error siempre están presentes, pues la ciencia no es un fenómeno, «es un proceso y la imagen completa a menudo tarda en quedar claramente delimitada» (Ídem.).

La industria explota la comprensión limitada del proceso científico, aún dominado por un imaginario cartesiano que lo concibe como un camino de verdades absolutas; no obstante, las dudas siempre emergen y, con ellas, los científicos escépticos. Y cabe señalar que la actitud escéptica no es *per se* dañina contra la ciencia —es signo de una ciencia viva—, lo problemático es explotar la actitud escéptica contra la ciencia contrastada, que siempre es vulnerable a la extensión de la duda acotada, la cual destruye selectivamente por la creencia generalizada en el mito de lo dado. He aquí el principal hueco usado por la industria: la duda acotada.

La industria del tabaco defendió en parte su causa seleccionando los datos más útiles y centrándose en detalles no explicados o anómalos. Nadie habría proclamado en 1954 que se supiese todo lo que era necesario saber sobre fumar y cáncer, y la industria aprovechó esa habitual honradez científica para sembrar dudas no razonables (Ibid., p. 39).

El uso de la duda acotada en detalles aún sin explicar o ambiguos permite crear dudas no justificadas. Por ello, es crucial mantener y extender una postura falibilista: entender que la racionalidad es una actividad que no busca fundamentos absolutos libres de dudas, sino que avanza en la detención de errores.

3.2.1. Imagen falibilista de la ciencia

Existe una doctrina sobre la naturaleza y localización de lo mental que prevalece tanto entre los teóricos y aun entre legos que merece ser considerada la doctrina oficial [...] La doctrina oficial, que procede principalmente de Descartes, sostiene que, excepto en el caso de los idiotas y de los recién nacidos, todo ser humano tiene un cuerpo y una mente (Ryle, 2005, p. 25).

La tradición heredada⁴⁷, sustentada esencialmente en la estela del mecanicismo cartesiano, concibe la ciencia como un proceso sistemático que nos lleva de certeza en certeza, erradicando prejuicios mediante la duda metódica y el análisis racional. Sin embargo, la imagen fuerte que proporciona este dualismo Sujeto-Mundo acaba requiriendo una suerte de mediadores mágicos. El sujeto cartesiano se divide en mente-cuerpo (división plenamente viva en nuestras expresiones lingüísticas). División que Ryle denominó como *el dogma del Fantasma en la Máquina*. Descartes, entendiendo que la física mecanicista rige el mundo, aplica la misma caja de herramientas conceptual a la mente. He aquí el principal problema de este dualismo:

Representada de esa manera, la mente humana no es meramente un fantasma enjaezado a una máquina, sino que es en sí misma una máquina espectral. El cuerpo humano no es una máquina ordinaria, dado que algunas de sus operaciones están gobernadas por otra máquina dentro de él, de un tipo muy especial. Es invisible, inaudible, no tiene tamaño ni peso, carece de partes y las leyes que obedecen no son las que los

⁴⁷ Empleo el término “tradición heredada” en lugar de “doctrina oficial” por dos motivos. Primero, desde la publicación de *El concepto de lo mental* en 1949, el ámbito de la denominada doctrina oficial ha sufrido irremediables cambios impidiendo, a mi juicio, hablar legítimamente de una “doctrina oficial” como doctrina dominante, pues supondría tratar de menos el alza de doctrinas alternativas relevantes. Segundo, la noción de “tradición” representa con mayor fidelidad el modo real e histórico en el cual se ha construido la “tradición heredada”. Tal y como menciona Ryle: «Sería inexacto sostener que la doctrina oficial se deriva únicamente de las teorías de Descartes o de la expectativa creada por las implicaciones de la mecánica del siglo XVII. La teología de la escolástica y de la Reforma modelaron el intelecto de los científicos, filósofos, clérigos y hombres comunes de su época. Las teorías estoico-agustinianas referentes a la voluntad fueron incorporadas en las doctrinas calvinistas del pecado y la gracia. Las teorías platónicas y aristotélicas sobre el intelecto conformaron las doctrinas ortodoxas de la inmortalidad del alma. Lo que hizo Descartes fue reformular en el nuevo idioma de Galileo las doctrinas teológicas del alma que prevalecían en su época. La privacidad teológica de la conciencia se transformó en privacidad filosófica; el mito de la predestinación reapareció como el mito del determinismo» (2005, p. 37).

ingenieros conocen. Nada se sabe acerca de cómo gobierna a la máquina corporal (Ibid., p. 34).

El sujeto de la tradición cartesiana es capaz de captar sus actos cognitivos y experiencias internas (saber que conoce y siente). Se trata de un sujeto que conoce a través de una intuición de sí mismo (intuicionismo racionalista), a saber, pura intuición intelectual. Aquí reside el que posiblemente sea el mayor conflicto al poseer el privilegio de la primera persona (el Yo): la conciencia es privada, pertenece exclusivamente al sujeto y solo la primera persona tiene acceso a ella. Se es prisionero de la conciencia, una suerte de teatro cartesiano donde sucede todo el consciente del cual el Yo es espectador —y montador— único. Este no es sino el problema del solipsismo (perder el mundo exterior por haberse encerrado en la conciencia); superado por Descartes a través de la duda hiperbólica, también conocida como el argumento del genio maligno; el cuál, a su vez, supone el problema de la fiabilidad, del sueño: ¿existe el mundo externo? Cuya solución viene dada por un mediador mágico: Dios, garante de la veracidad de las ideas innatas del sujeto.

Así, y a pesar de haberse expuesto un resumen esquemático de la base sobre la que se construyó la tradición heredada, no resulta descabellado afirmar que esta nos conduce a un cierto dogmatismo sostenido por mediadores mágicos e intuicionismo racionalista.

Por supuesto, el falibilismo conlleva una imagen mucho más débil y flexible, pero mucho más realista con el proceder científico. Comprende que la justificación nunca es absoluta, que la verdad es una norma muy contingente, a saber, su validez depende del contexto y lenguaje en el que se expresa. No hay verdades universales o esenciales, ni formas objetivas de representar la realidad; y el lenguaje es una herramienta para interpretar y dar sentido al mundo (Rorty, 1991).

La ciencia siempre es vulnerable a determinados usos de la duda precisamente por su modo de proceder. Ahora bien, si siempre cabe duda, ¿por qué confiar en la ciencia? Sencillo, siempre puede dirimirse entre opciones más o menos correctas, entre opciones mejores o peores. El falibilismo permite asumir el desacuerdo y el pluralismo, pero no todo

desacuerdo merece un debate. Puede dudarse sobre los mecanismos del daño, pero no del daño mismo.

3.2.2 Contra el equilibrio de tiempo

La industria del tabaco había comprendido que se podía generar la impresión de que había debate simplemente formulando preguntas, independientemente de que se conociesen las respuestas y no fuesen favorables a su causa. Y así fue como la industria empezó a transformar el creciente consenso científico en un furioso «debate» científico (Oreskes y Conway, 2018, p. 40).

La industria genera la impresión de un debate, focalizándose en dudas acotadas que solo pretenden explotar la vulnerabilidad intrínseca del proceso científico, fundamentado precisamente en la detención del error y la consolidación cronológica y parcializada de sus sentencias. Así, con la imagen de la existencia de un debate, hace un «llamamiento al equilibrio periodístico» (Ibid., p. 41). Se exige un equilibrio de tiempos que ignora el desequilibrio epistémico. Otorgar el mismo peso no es dar el peso correcto, no deben tener el mismo tiempo porque la ciencia no depende ni de opiniones ni de intereses.

Esta estrategia persiste hoy, donde los medios siguen generando “debate” pese al consenso. Y gobernar los medios es manejar la información dirigida a la población. Por un lado, los jóvenes periodistas en formación creen que los medios otorgan protagonismo a los expertos:

Los jóvenes consideran que los Medios dan más protagonismo a los científicos y expertos al tratar en su agenda mediática el tema del Cambio Climático, percepción que parece una creencia no cuestionada (truismo) suponiendo falsamente que los medios, para dar legitimidad a sus informaciones, acuden a los que más saben sobre el tópico, atribuyendo a los científicos y expertos un protagonismo que no tienen en el discurso de los medios a este respecto (Gaitán, Piñuel y Morales, pp. 191-192).

Si esta percepción idealizada del periodismo —como si funcionase acorde a un modelo normativo de responsabilidad social— es ampliamente compartida por quienes se forman en él, ¿qué motivo real tenemos para no creer que le ocurre del mismo modo al común de las personas que ni tan siquiera tienen formación periodística o del tópico tratado por los medios? Opinión que contrasta con la evaluación de los

expertos, quienes afirman que: «“los medios no hacen lo que deben porque no saben lo que hacen”» (Ibid., p. 201).

De hecho, la crítica de los expertos al tratamiento de la información por parte de los medios no se limita a acusar la falta de especialización: «Los medios en vez de consultar a los científicos para que ofrezcan sus dictámenes ante los acontecimientos vinculados al CC, recurren más a los políticos para que den cuenta de sus decisiones políticas» (Ídem.); además, se ilumina una complicidad estructural entre medios, industrias y sistemas económicos:

critican que los medios [...] terminando por ser colaboradores de la desinformación, de las industrias contaminantes y del sistema económico que las ampara. Así ocurre, por ejemplo, al justificar los desastres antropogénicos cuando hay un beneficio económico para la población, entre otras prácticas indeseables (Ídem.).

El desplazamiento del discurso científico a favor del político no es accidental sino funcional, a saber, permite a los medios mantener un aparente equilibrio, una aparente neutralidad “propia del periodista íntegro” mientras reproduce las prácticas y discursos proindustrias. En un contexto como este, el debate mediático no es espacio para la deliberación racional entre posturas de distintas consideraciones, todo lo contrario, constituye un escenario de desacuerdo para evitar el conflicto real. La pluralidad se convierte en relativismo, y el desacuerdo en entretenimiento.

Casos concretos de dichas prácticas hay tantos como se quieran encontrar. La BBC violó sus propias normas de precisión al permitir que Nigel Lawson⁴⁸ difundiera afirmaciones falsas sobre el cambio climático sin ser corregido (Carrington, 2017); Fox News ofreció altavoz mediático a Marc Morano⁴⁹ para desacreditar los informes del IPCC (Media Matters For America, 2021); Javi Poves⁵⁰ y sus apariciones en medios

⁴⁸ Político británico, exministro de Hacienda (1983-1989) bajo el gobierno de M. Thatcher. Sin formación científica.

⁴⁹ Exasesor político republicano estadounidense, fundador de ClimateDepot (organización centrada a la promoción del negacionismo climático) patrocinado por el Comité para un Mañana Constructivo (CFACT), organización que rechaza el consenso sobre el cambio climático y defiende medidas de libre mercado como solución al problema climático. Sin formación científica.

⁵⁰ Exfutbolista, entrenador del Colonia Moscardó, negacionista y terraplanista porque «estaba en casa y vi un tema del agua» (LaSexta, 2025). Sin formación científica.

donde afirma como verdades indudables distintas teorías conspirativas como son la Tierra plana, la Nasa como entidad destinada a engañar y lavar dinero, guerras mundiales como teatros, el Vaticano como dueño del mundo... (Del Castillo, 2025). El caso de Javi Poves es especialmente revelador, en tanto que muestra cómo aquellos que intentan combatir estos discursos pueden contribuir también a su difusión. Tras su entrevista en la COPE, Jesús Calleja⁵¹ se ofreció para llevarlo a ver la curvatura de la Tierra desde un avión (Pascual, 2025) y, aunque la propuesta tiene un claro tono desafiante y combativo, el hecho de convertir la situación en un espectáculo mediático refuerza la visibilidad del discurso anticientífico como si de un debate legítimo se tratase.

El equilibrio de tiempo, en definitiva, no es válido por algo muy simple: la dispersión de la duda acotada como desinformación no merece tiempo. Los graves caen, y no depende de la opinión; fumar mata, y no depende de la opinión; el cambio climático existe, y no depende de la opinión.

Se considera firme una conclusión no cuando una persona inteligente la propone, ni siquiera si un grupo de personas empieza a analizarla, sino cuando el jurado de pares (la comunidad de investigadores) revisa las pruebas y llega a la conclusión de que son suficientes para aceptar lo que se afirma [...] Conspiraron para combatir los hechos y para comercializar la duda (Oreskes y Conway, 2018, p. 65).

4. PROBLEMA POLÍTICO

«Afirmar que el tabaco mataba a la gente era sugerir que nuestro propio Gobierno permitía la venta de un producto mortífero y se beneficiaba de ella» (Oreskes y Conway, 2018, p. 46). Ante el consenso científico sobre los daños del tabaco, lo lógico habría sido limitar o prohibir su venta. Pero en los años 50's el neoliberalismo cobra toda su fuerza —hasta 2008 donde deriva, tras su constatado fracaso, en un sistema punitivo más arraigado a medidas totalitarias que a la libertad individual—, motivo más que suficiente para entender que «el Congreso no prohibió ni limitó siquiera la venta de tabaco, pero exigió las etiquetas de advertencia. Los ciudadanos sabían ahora que fumar era peligroso» (Ibid., p. 49).

⁵¹ Montañista, divulgador y reconocido presentador español.

El objetivo era (y es) evitar costos políticos retrasando medidas impopulares como prohibir fumar o eliminar subsidios a combustibles fósiles. En su lugar, se toman medidas que responden a la lógica neoliberal de gobernar a la ciudadanía por medio del ejercicio de su propia libertad. Un gobierno de sujetos libres que opera en función de la competencia: toda decisión del sujeto (salud, educación, transporte...) son decisiones de mercado. A más opciones, mayor libertad (Foucault, 2007). Así, las políticas climáticas son percibidas como amenazas a su concepto de libertad.

Ahora bien, hay un problema atroz y colosal de fondo: por toda la campaña de la industria para comerciar con la duda «el público no tenía ningún medio de saber que esas “pruebas” eran parte de una campaña de la industria destinada a confundir» (Oreskes y Conway, 2018, p. 64). Hay una orfandad en los modos-de-saber fruto de la desinformación deliberadamente extendida que supone una injusticia hermenéutica: «la injusticia de que alguna parcela significativa de la experiencia social propia quede oculta a la comprensión colectiva debido a un prejuicio identitario estructural en los recursos hermenéuticos colectivos» (Fricker, 2024, p. 254).

Si bien es cierto que la injusticia hermenéutica de Fricker refiere a una marginación interpretativa causada por prejuicios identitarios estructurales, el caso de la fabricación del debate puede comprenderse como una forma de *injusticia hermenéutica inducida*, a saber, un caso no derivado de la exclusión estructural, sino de la saturación estratégica. De modo que, el daño no proviene de la ausencia de recursos hermenéuticos, en su lugar, es consecuencia de su distorsión deliberada. Dando por resultado una ciudadanía despojada de las herramientas necesarias (modos-de-saber) para interpretar su propia situación.

El bombardeo de información contradictoria socava los marcos de una correcta interpretación. La doctrina de la imparcialidad contribuye confundiendo pluralismo con relativismo. El público (la ciudadanía) es gobernado en el ejercicio de su libertad, a la vez que es huérfano —por asesinato— de los modos-de-saber apropiados para elegir libremente, para dirimir entre opciones mejores o peores.

En definitiva, el problema político derivado de las estrategias para combatir los hechos, así como de las laxas medidas políticas, consiste en la explotación de la vulnerabilidad existencial del ser humano. Se abusa sin pudor de su inherente exposición a experiencias que pueden dañarle o

desestabilizarle, sin importar la ecoansiedad, destrucción del entorno, hogares y vidas, pérdida de sentido...y demás infamias producidas por el interés privado.

5. CIENCIA SIN AUTORIDAD

Con el tiempo, el debate se agota —hoy nadie cuestiona que fumar mata—. Lo que sigue es legislación, daños irreparables y más inversión en la investigación de la distracción. Tarde o temprano, la acumulación de datos científicos hace inviable el equilibrio de tiempo y obliga a tomar medidas políticas, aunque lleguen tarde. Mientras tanto, la industria seguirá defendiéndose: sembrando miedo, contratando “expertos”, acusando de dogmatismo y estrechez de miras...(Oreskes y Conway, 2018).

Se intensifica el proceso por el cual se exige cumplir un marco normativo de la racionalidad (el de la tradición heredada) que ellos mismo son incapaces —ni tienen interés— de cumplir. Asimismo, es llamativo el llamamiento a una “ciencia independiente”, ¿independiente de qué o quién?, ¿de la inversión pública para así generar de un modo más eficaz testigos favorables a sus necesidades empresariales? Casualmente, su “ciencia independiente” siempre es dependiente de financiación privada.

Si se incrementan los esfuerzos para comerciar con la duda, deben incrementarse los esfuerzos por recordar que el pluralismo es sano, pero no todo desacuerdo es debate. En la ciencia siempre hay dudas, pero usarlas contra el propio método es sabotaje.

Sembrar la duda funciona también porque pensamos que la ciencia trata de hechos, de hechos fríos, duros y definidos. Si algo nos dice que las cosas son inseguras, pensamos que eso significa que la ciencia no tiene las cosas claras. Eso es un error. Siempre hay inseguridades en cualquier ciencia viva, porque la ciencia es un proceso de descubrimiento (Ibid., p. 67).

El problema no es la duda, sino su uso para desactivar su autoridad epistémica. Y no es un problema menor, pues en último término supone una injusticia testimonial:

La hablante soporta semejante injusticia testimonial si y solo si es objeto de un déficit de credibilidad debido a un prejuicio identitario en el

oyente; así que el ejemplo central de injusticia testimonial es el de *déficit de credibilidad prejuicioso identitario* (Fricker, 2024, p. 58).⁵²

Pese a que el concepto de injusticia testimonial de Fricker refiere a sujetos individuales que sufren un déficit de credibilidad a razón de prejuicios identitarios, cabe ampliar el concepto para tratar formas de exclusión epistémica que afectan a comunidades discursivas. La ciencia — como institución epistémica colectiva — es tratada como una voz más entre voces, es decir, es desposeída de su autoridad epistémica, por lo cual es presentada en condición de falsa simetría con otros discursos. Es cierto que la erosión de su credibilidad no responde a un prejuicio identitario, sin embargo, sí lo hace por un prejuicio epistémico-funcional en tanto que explota su falibilidad constitutiva con el fin de desactivar su legitimidad discursiva. Por lo tanto, puede hablarse de una injusticia testimonial estructural en la que el déficit de credibilidad no se dirige a un individuo en su actividad social, sino a un modo-de-saber; no se fundamenta en la identidad del hablante, sino en una estrategia discursiva. Por lo que, como estrategia discursiva destinada a socavar su autoridad epistémica, no se trata de un error inocente. La *injusticia testimonial basada en el prejuicio epistémico-funcional* comparte su «ponzoña ética» (Ibid., p. 49) y, en este caso, consiste en socavar intencionalmente la credibilidad de una fuente epistémica legítima en busca del beneficio de discursos operativos desde el interés, no desde la prueba.

6. CONCLUSIONES

El consenso científico no es un dogma ni una unanimidad cerrada, sino una convergencia metodológica que, en tiempos de saturación estratégica —el tiempo que habitamos desde los 50's—, se convierte en una herramienta ética. Es importante señalar que la defensa del consenso no consiste en atrincherarlo contra la crítica, sino en impedir que se le confunda con una opinión más en el gran mercado de las dudas que se ha fabricado. La ciencia, con sus dudas, revisiones, formas teóricas, argumentos lógicos, errores... no es una práctica débil, pero sí vulnerable. Y ahí reside precisamente su fuerza epistemológica, en la vulnerabilidad intrínseca a

⁵² La cursiva pertenece al texto original.

avanzar detectando sus propios errores; y, al mismo tiempo, dicha vulnerabilidad es convertida en debilidad política, social y discursiva cuando se explota deliberadamente con el fin de socavar su autoridad.

Dicho uso capcioso de su metodología no constituye un error inocente, y verlo como tal implica abandonar a la ciencia a su suerte cuando es atacada desde una estrategia discursiva que hace de la falibilidad una sospecha, para luego hacer de la sospecha una herramienta de desactivación discursiva. El consenso científico, cuando es respetado, se vuelve incómodo a los intereses privados, no porque vaya a imponer un discurso, sino porque tiene la capacidad de romper el teatro relativista, la falsa simetría, y el equilibrio de tiempo que reparte micrófonos en lugar de responsabilidades.

En este contexto, defender el consenso científico es una forma de resistencia. Resistir la equiparación entre saber y creencia, entre evidencia e interés, entre proceso y espectáculo. Recordar que no todo lo discutido se discute honestamente, y que no toda opinión merece tiempo. De algún modo, el consenso científico es una forma de cuidado: del lenguaje, del método, del mundo... y, en tiempos de desinformación rentable, cuidar el saber es cuidar lo común.

7. REFERENCIAS

- Carrington, D. (2017, 24 octubre). BBC apologises over interview with climate denier Lord Lawson. *The Guardian*. <http://bit.ly/3IKSkAZ>
- Del Castillo, A. P. (2025, 24 enero). Javi Poves, el presidente, entrenador y terraplanista, en El Partidazo de COPE. *COPE*. <http://bit.ly/4mjigSs>
- El momento exacto en que Javi Poves empieza a pensar que la Tierra es plana: "Estaba en casa y vi un tema del agua". (2025, 14 marzo). *LaSexta*. <http://bit.ly/3GXlrPL>
- Gaitán, J. A., Piñuel, J. L. y Morales, E. (2017). "El discurso mediático sobre Cambio Climático y su valoración por jóvenes universitarios de Periodismo, en contraste con el discurso de los expertos", en Investigar o cambio climático na interface entre a cultura científica e a cultura común. *Actas Primeiro Seminario Internacional RESCLIMA Santiago de Compostela*, 2014.
- Farrell, J. (2016). Network Structure and influence of the climate change counter-movement. *Nature Climate Change* 6, 370–374. <https://doi.org/10.1038/nclimate2875>
- Foucault, M. (2007). *El nacimiento de la biopolítica*. (Trad. Horacio Pons). Fondo de Cultura Económica.
- Fox brings on climate denier to downplay landmark IPCC climate report. (2021, 10 agosto). *Media Matters For America*. <http://bit.ly/40IeQR7>
- Fricker, M. (2024). *Injusticia epistémica*. (Trad. Ricardo García Pérez). (2ª reimp.). Herder.
- Oreskes, N. y Conway, E. M. (2018). *Mercaderes de la duda*. (Trad. José Manuel Álvarez-Flórez). Capitán Swing.
- Pascual, J. (2025, 24 enero). La propuesta de Jesús Calleja a Javi Poves tras escuchar su argumento sobre el terraplanismo con Juanma Castaño: «Voy a ir». *COPE*. <http://bit.ly/3IUxpv3>
- Rorty, R. (1991). *Contingencia, ironía y solidaridad*. (Trad. Alfredo Eduardo Sinnot). Paidós.
- Ryle, G. (2005). *El concepto de lo mental*. (Trad. Eduardo Rabossi). Paidós.

TRANSPARENCIA COMUNICATIVA EN LA SOSTENIBILIDAD MUSEÍSTICA: UN ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MUSEOS DE CIUDAD DE MÉXICO Y MADRID

JULIO GONZALEZ LIENDO

Universitat de Disseny, Innovació y Tecnologia

LORENA MIRANDA NAVARRO

Universidad Anáhuac México

DULCINEA RIVAS CORREA

Universidad Anáhuac México

1. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad ha emergido como un eje central en los debates contemporáneos sobre el desarrollo cultural y la gestión institucional, cobrando especial relevancia en el ámbito museístico. Desde la publicación del informe Brundtland (1987), que popularizó el concepto de "desarrollo sostenible", diversas iniciativas globales han buscado incorporar criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ASG) en la gestión pública y privada. Entre estas iniciativas se destacan la Agenda 21 (1992), los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2000) y, posteriormente, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por Naciones Unidas en 2015, los cuales han sido descritos como una agenda universal y transformadora (Ki-moon, 2015).

En el ámbito museístico, la sostenibilidad se ha conceptualizado más allá de la dimensión ecológica, abarcando también aspectos sociales y de gobernanza. Los museos han comenzado a ser concebidos como instituciones activas en la construcción de comunidades resilientes, inclusivas y comprometidas con la educación, la diversidad y la equidad (ICOM, 2022; Merisalo, 2019; Redondo, Vilches & Gil, 2021). Esta

visión ha sido reforzada por la creación del Comité Internacional de Sostenibilidad del ICOM (SUSTAIN), que impulsa la integración de los ODS en la operación cotidiana de los museos.

La literatura especializada ha comenzado a evidenciar los esfuerzos de los museos por alinear sus prácticas con los ODS. Garthe (2022) señala que instituciones museísticas están avanzando en ámbitos como la educación de calidad (ODS 4), la reducción de desigualdades (ODS 10), la acción climática (ODS 13), la paz y la justicia institucional (ODS 16), entre otros. Sin embargo, estas acciones suelen carecer de un marco común y de indicadores unificados, lo que dificulta la comparabilidad y la medición de impacto (Garthe, 2022; De Soto, 2023).

En esta línea, una iniciativa relevante para el contexto iberoamericano es el modelo Huella M, desarrollado por González-Liendo (2025). Este instrumento permite evaluar el desempeño de los museos en función de cinco dimensiones de sostenibilidad: ambiental, social, económica, cultural y comunicacional, promoviendo la mejora continua mediante un sistema integral de indicadores tanto cuantitativos como cualitativos. Huella M no sólo tiene un valor operativo, sino también comunicativo, al facilitar la generación de informes de sostenibilidad accesibles, con enfoque narrativo, que permiten visibilizar el impacto de los museos en su entorno y fomentar la transparencia institucional como componente clave de su legitimidad.

Por otra parte, recientes estudios señalan que la comunicación museística aún no alcanza un nivel de gestión verdaderamente estratégico. A través de un estudio sobre museos españoles, González-Liendo y Gómez Nieto (2024) concluyen que las unidades de comunicación suelen carecer de jerarquía dentro del organigrama institucional y que sus responsables no siempre cuentan con formación especializada. Además, se advierte una fragmentación funcional que impide generar estrategias coherentes y transmediales, y una tendencia a concebir la comunicación como mera "difusión" de actividades, en lugar de un diálogo estructurado con los stakeholders. Esta limitación se traduce en una escasa explotación de los espacios digitales y en la ausencia de mecanismos de retroalimentación con los públicos, elementos esenciales para una comunicación institucional efectiva y sostenible.

En cuanto a la dimensión comunicativa de la sostenibilidad, estudios como los de Carbonell y Viñarás (2021) y Ribas (2022) destacan que, aunque los museos desarrollan acciones relevantes, muchas veces no las comunican de forma estructurada ni las integran en su narrativa institucional. Esto refleja una falta de interiorización de los principios de la Agenda 2030, lo que limita la construcción de una relación transparente con sus stakeholders. Córdón Benito y Maestro Espínola (2017) argumentan que la transparencia institucional en los museos es aún una asignatura pendiente, evidenciada por la escasa publicación de planes estratégicos, códigos de gobernanza e informes de sostenibilidad.

1.1. FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

Sostenibilidad institucional en museos

La sostenibilidad institucional implica un enfoque integral que articula los aspectos económicos, sociales, ambientales y culturales en la gestión museística. Supone trascender la conservación patrimonial para incidir en el bienestar de las comunidades, fortalecer la cohesión social y promover una cultura institucional basada en la equidad, la transparencia y la inclusión. En este sentido, los museos deben posicionarse como actores activos en la agenda 2030, integrando los ODS en su misión y operación (ICOM, 2022).

Transparencia y gobernanza en la gestión cultural

La transparencia en las instituciones culturales se vincula con la capacidad de rendir cuentas, facilitar el acceso a la información, y garantizar procesos de toma de decisiones abiertos y participativos. Una gobernanza cultural transparente incluye la publicación de códigos de ética, planes estratégicos, informes de gestión y otros documentos clave. Esto fortalece la legitimidad de las instituciones ante sus públicos y mejora su desempeño institucional (Córdón Benito & Maestro Espínola, 2017).

Por su parte, la comunicación en los museos debe ir más allá de la difusión de actividades. Su función estratégica radica en construir relatos institucionales coherentes, dialogar con los públicos y facilitar procesos de inclusión y participación. La profesionalización del área de

comunicación, la integración transmedia y la explotación de espacios digitales son condiciones necesarias para alcanzar estos objetivos (González-Liendo & Gómez Nieto, 2024). En este sentido, el modelo Huella M incorpora una dimensión comunicacional que permite diagnosticar y reportar las prácticas comunicativas de los museos, considerando aspectos como la comunicación corporativa, interna, externa, digital y la transparencia en la rendición de cuentas. Esto convierte a Huella M en una herramienta clave para integrar la comunicación dentro de las estrategias sostenibles museales (González-Liendo, 2025).

1.2. ENFOQUE TEÓRICO

1.2.1. Teoría de los *stakeholders*

Esta teoría plantea que las organizaciones deben atender a las expectativas y demandas de todos los actores involucrados o afectados por su acción, no solo a los financiadores o entes rectores. En el ámbito museístico, esto se traduce en una comunicación que considere a las comunidades, trabajadores, visitantes, socios estratégicos y otros grupos de interés (Fernández & Bajo, 2012).

1.2.2. Gobernanza participativa y legitimidad institucional

El concepto de gobernanza participativa enfatiza la inclusión de diversos actores sociales en la definición, implementación y evaluación de las políticas institucionales. En los museos, esto requiere mecanismos de diálogo y rendición de cuentas que legitimen su acción como bien público. Su implementación está directamente relacionada con la confianza social y la sostenibilidad a largo plazo (Riofrío, 2019).

En síntesis, la literatura evidencia un creciente interés en la sostenibilidad museística, pero también una brecha entre la teoría y la práctica, particularmente en lo referente a la transparencia comunicativa. Esta investigación busca contribuir a cerrar dicha brecha, aportando un análisis comparativo del nivel de comunicación y rendición de cuentas de los museos en Ciudad de México y Madrid, y explorando las implicaciones de estas prácticas para su legitimidad y sostenibilidad institucional.

2. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo con alcance descriptivo y comparativo. El objetivo es analizar cómo los museos de Ciudad de México y Madrid comunican sus estrategias de sostenibilidad, con énfasis en la transparencia institucional, a través de distintos canales y soportes. El enfoque cualitativo permite interpretar el contenido y el contexto comunicativo desde una perspectiva crítica, considerando tanto los discursos institucionales como las prácticas observadas.

Se empleó un diseño de estudio de casos múltiples. Los casos seleccionados corresponden a museos de ambas ciudades que cuentan con alta visibilidad pública y actividad sostenida en el ámbito digital. La elección fue intencional, basada en criterios de accesibilidad a la información, relevancia institucional y diversidad en la naturaleza jurídica (pública y privada).

En cuanto a las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se utilizaron tres técnicas principales:

- Análisis documental: Revisión de informes de sostenibilidad, planes estratégicos, códigos de ética y memorias institucionales disponibles en los sitios web de los museos.
- Observación digital: Relevamiento sistemático de los contenidos comunicacionales publicados en sitios web oficiales y redes sociales institucionales (Facebook, Twitter, Instagram).
- Entrevistas semiestructuradas: Realizadas a profesionales responsables del área de comunicación o sostenibilidad, con el fin de conocer las prácticas internas y percepciones sobre la transparencia comunicativa. Las entrevistas fueron realizadas entre mayo y julio de 2023, de forma virtual, y luego codificadas temáticamente.

La información obtenida se sistematizó a través de análisis de contenido temático, utilizando codificación abierta y axial. Se empleó el software Atlas.ti para organizar y categorizar los datos recogidos, permitiendo identificar patrones, coincidencias y divergencias entre los museos de

ambas ciudades. Los resultados se organizaron en función de tres grandes dimensiones: (1) existencia y acceso a información estratégica; (2) visibilidad de acciones de sostenibilidad; y (3) mecanismos de participación y rendición de cuentas.

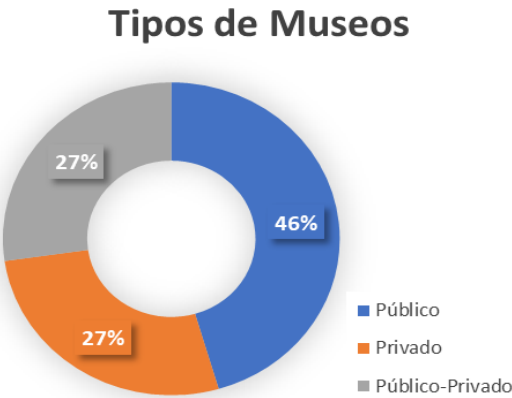
Entre las limitaciones se encuentra la disparidad en la disponibilidad de información entre museos, lo que dificulta una comparación completamente equilibrada. Además, no todos los museos accedieron a participar en entrevistas, lo que restringe la triangulación en ciertos casos. Finalmente, el enfoque cualitativo impide generalizar los resultados, aunque permite una comprensión en profundidad de los casos analizados.

3. RESULTADOS

3.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS MUSEOS ANALIZADOS

Se seleccionaron 12 museos en total, seis en Madrid y seis en Ciudad de México, en función de su relevancia institucional, presencia digital y diversidad de gestión (pública y privada). La siguiente figura muestra la distribución geográfica de los museos por Comunidad Autónoma y por Estado:

FIGURA 1. *Museos analizados clasificados por tipo de gestión*



Fuente: Elaboración propia (2024)

FIGURA 2. Museos analizados

	Museo_ México		Museo_España
1	Museo Frida Kahlo	1	Museo Nacional del Prado
2	Museo Soumaya	2	Museo Nacional Thyssen – Bornemisza
3	Museo Memoria y Tolerancia	3	Museo Sorolla
4	Museo de Arte Popular	4	Museo Cerralbo
5	Museo Diego Rivera Anahuacalli	5	Museo del Romanticismo
		6	Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía

Fuente: Elaboración propia (2024)

Estas visualizaciones permiten observar una representatividad equilibrada entre ambos contextos, con una muestra diversa en cuanto a tamaño, titularidad y perfil de público.

3.2. DISPONIBILIDAD DE DOCUMENTOS ESTRATÉGICOS

Se identificó la presencia (o ausencia) de documentos clave como planes estratégicos, códigos de ética y memorias de sostenibilidad en los sitios web oficiales. La siguiente tabla resume los hallazgos en los museos madrileños:

TABLA 1. Presencia de documentos estratégicos en museos de Madrid

Instituciones	Sedes web		
	Plan Estratégico	Códigos de Gobernanza	Portal de Transparencia
Caixa Forum	No	No	No
Casa Museo Lope de Vega	No	No	Sí, Portal de transparencia de la Comunidad de Madrid
Museo Arqueológico Nacional	No	Sí	Sí, Portal de transparencia del Estado
Museo Cerralbo	No	No	Sí, Portal de transparencia del Estado
Museo del Romanticismo	No	No	Sí, Portal de transparencia de la Comunidad de Madrid
Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía	Sí	Sí	Sí, Portal de transparencia de la Comunidad de Madrid

Museo Nacional del Prado	Sí	Sí	Sí
Museo Thyssen-Bornemisza	Sí	Sí	Sí
Museo Naval	No	Sí	Sí, Portal conjunto con el Ministerio de Defensa
Museo Sorolla	Sí	No	Sí, Portal de transparencia de la Comunidad de Madrid

Fuente: Elaboración propia (2024).

TABLA 2. *Presencia de documentos estratégicos en museos de Ciudad de México*

Instituciones	Sedes web		
	Plan Estratégico	Códigos de Gobernanza	Portal de Transparencia
Museo de Arte Popular	No	No	Sí, Portal de transparencia de la Ciudad de México
Museo de la Revolución	No	No	Sí, Portal de transparencia de la Ciudad de México
Museo Diego Rivera Anahuacalli	No	No	No
Museo Frida Kahlo	No	No	No
Museo Memoria y Tolerancia	No	Sí	Sí
Museo Nacional de Antropología	No	No	No
Museo Nacional de Arte	No	No	No
Museo Soumaya	No	No	No
Museo Templo Mayor	No	No	No
Palacio de Bellas Artes	No	No	No

Fuente: Elaboración propia (2024)

Los datos evidencian una mayor sistematización documental en los museos madrileños, aunque no necesariamente una comunicación más dinámica. En México, si bien hay menos documentos disponibles, algunos museos expresan su compromiso sostenible a través de proyectos comunitarios visibles en redes sociales.

3.3. NARRATIVAS Y POSICIONAMIENTO DE LA SOSTENIBILIDAD

Se analizó el discurso institucional en los sitios web y redes sociales. En términos generales, la sostenibilidad aparece mencionada de forma fragmentaria o superficial. Sólo tres de los doce museos incluyen la sostenibilidad en su misión o visión. Las entrevistas corroboran esta tendencia: los equipos reconocen la importancia del tema, pero señalan la ausencia de lineamientos claros para abordarlo comunicacionalmente.

FIGURA 3. Frecuencia de palabras clave en entrevistas



Fuente: Elaboración propia (2024)

Este análisis semántico revela una orientación hacia lo social (inclusión, comunidad) por encima de lo medioambiental o lo estratégico (planificación, indicadores).

3.4. CANALES Y FORMATOS DE COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL

Se observaron tres principales tendencias en el uso de plataformas digitales:

- Los sitios web priorizan funciones informativas (horarios, entradas, exposiciones), con escasa referencia a sostenibilidad.
- Las redes sociales son dinámicas, pero carecen de planificación temática.
- Hay baja integración entre plataformas (transmedia débil).

En este punto, se destaca la necesidad de estrategias editoriales coherentes, como las propuestas en el modelo Huella M, que integra la dimensión comunicacional en sus indicadores (González-Liendo, 2025).

3.5 CULTURA ORGANIZACIONAL Y PERCEPCIONES INTERNAS

Las entrevistas semiestructuradas permitieron captar las percepciones del personal en relación con la sostenibilidad y la comunicación institucional. Las siguientes categorías emergentes fueron identificadas mediante análisis temático:

- Compromiso con valores sostenibles
- Dificultades estructurales (falta de personal, recursos, formación)
- Falta de indicadores y evaluación
- Necesidad de apoyo normativo

Estos hallazgos refuerzan la idea de que la sostenibilidad, aunque reconocida como relevante, no ha sido institucionalizada como eje transversal. Asimismo, muestran la oportunidad de fortalecer la comunicación interna como condición para la coherencia institucional.

En términos comparativos, Madrid muestra una mayor institucionalización documental, mientras que Ciudad de México destaca por su enfoque comunitario y su creatividad programática. Ambos contextos enfrentan retos comunes: escasa profesionalización del área de comunicación, débil integración estratégica de la sostenibilidad y baja rendición de cuentas pública.

En conjunto, los resultados evidencian la necesidad de pasar de un enfoque operativo a uno estratégico en la gestión comunicacional de la sostenibilidad en los museos.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten identificar una brecha significativa entre los principios de sostenibilidad y transparencia promovidos por organismos internacionales y la realidad comunicacional de los museos analizados. Esta desconexión es coherente con lo identificado por Carbonell y Viñarás (2021), quienes advierten sobre una débil integración de la sostenibilidad en los relatos institucionales del sector cultural. Aunque la mayoría de los museos realiza acciones vinculadas a los ODS, estas no se traducen en narrativas estratégicas ni en prácticas comunicacionales coherentes, lo que dificulta la construcción de legitimidad ante sus públicos.

En el caso de los museos madrileños, se aprecia una mayor formalización de documentos estratégicos y un marco institucional más estructurado, en sintonía con el contexto europeo y los estándares exigidos por la administración pública. Sin embargo, esta institucionalización no siempre implica una comunicación activa ni participativa. Por el contrario, algunos museos mexicanos, pese a la escasa documentación accesible, demuestran un compromiso más visible con su entorno comunitario, mediante prácticas inclusivas y proyectos de impacto social. Esta diferencia sugiere que la transparencia no se reduce a la disponibilidad de documentos, sino que también debe evaluarse en términos de accesibilidad, comprensión y relación con los públicos.

Los hallazgos también confirman lo planteado por González-Liendo y Gómez Nieto (2024) respecto a la debilidad estructural del área de comunicación en los museos. La fragmentación funcional y la falta de perfiles profesionales especializados obstaculizan la implementación de estrategias comunicacionales sostenibles. La comunicación se concibe aún como difusión, en lugar de gestionarse como un eje articulador de la sostenibilidad institucional, lo que coincide con el bajo aprovechamiento de plataformas digitales observado en este estudio.

En cuanto al modelo Huella M, su mención por parte de algunos entrevistados refleja un interés incipiente por adoptar metodologías más integrales de evaluación y comunicación. Este instrumento, al incorporar dimensiones comunicativas y de rendición de cuentas, puede contribuir a fortalecer la transparencia institucional y a visibilizar el impacto de los museos en clave de sostenibilidad (González-Liendo, 2025). No

obstante, su implementación requiere voluntad política, recursos técnicos y un cambio de enfoque en la cultura organizacional.

Finalmente, la escasa articulación entre los discursos globales sobre sostenibilidad y las realidades institucionales locales evidencia la necesidad de fortalecer las capacidades estratégicas de los museos en comunicación y gobernanza. Esta tarea implica integrar la sostenibilidad como eje transversal, no sólo en la programación, sino en la misión, visión y relato institucional.

5. CONCLUSIONES

Este estudio evidencia que la sostenibilidad y la transparencia son aún conceptos marginales en la comunicación estratégica de los museos analizados, pese a su creciente relevancia en el discurso internacional y en las agendas institucionales. Si bien existen esfuerzos y experiencias valiosas, persiste una falta de sistematización, planificación y visibilización que debilita la legitimidad y el impacto social de estas instituciones.

Entre los principales hallazgos destaca la limitada disponibilidad de información estratégica, la fragmentación de los contenidos comunicacionales y la baja participación de los públicos en la construcción del relato institucional. A esto se suma una estructura organizacional deficitaria en materia de comunicación, que impide abordar la sostenibilidad desde una perspectiva integral.

Pese a estas limitaciones, los museos analizados muestran potencialidades importantes: vocación comunitaria, apertura al cambio, y disposición para incorporar herramientas como Huella M. Estas fortalezas pueden servir como punto de partida para diseñar políticas comunicacionales más coherentes, inclusivas y sostenibles.

A futuro, se recomienda impulsar procesos de capacitación interna, fortalecer la profesionalización del área de comunicación, y adoptar instrumentos de evaluación participativa. Solo así los museos podrán alinear su discurso con sus prácticas, y consolidarse como actores relevantes en la construcción de un futuro más justo, inclusivo y sostenible.

Asimismo, futuras investigaciones podrían ampliar la muestra, incorporar una perspectiva longitudinal, y analizar la percepción de los

públicos sobre la transparencia y sostenibilidad de los museos, complementando así la mirada institucional con la de sus comunidades.

6. REFERENCIAS

- Abad, M. V., de la Casa, J. M. H., & Lorenzo, F. C. (2010). La Comunicación corporativa de los museos en España a través de la comunicación 3.0: cuatro años de la evolución comunicativa en la Red. In *II Congreso internacional comunicación* (Vol. 3).
- Acosta, A. (2011). Sólo imaginando otros mundos, se cambiará éste. Reflexiones sobre el Buen Vivir. Vivir bien: *¿Paradigma no capitalista*, 189-208
- Cajade Sánchez, D., & Tendero Caballero, R. (2021). Sustainability study of the Museum of the Bolivarian society. *Building & Management*, 5(1), 20-28. doi:<https://doi.org/10.20868/bma.2021.1.4701>
- Carbonell Curralo, E. G., & Viñarás Abad, M. (2021). Museos y desarrollo sostenible. Gestión museística y comunicación digital para alcanzar los ODS. *Revista De Ciencias De La Comunicación E Información*, 26, 79–108. <https://doi.org/10.35742/rcci.2021.26.e143>
- Claes, F., & Deltell, L. (2019). Museo social en España: redes sociales y webs de los museos estatales. *Profesional de la información*, 28(3). DOI: <https://doi.org/10.3145/epi.2019.may.04>
- Comisión Económica para América Latina [CEPAL]. (Septiembre de 2015). Recuperado Enero de 2024, de <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/>: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- Consejo Internacional de los Museos (2022) Definición de museo. ICOM. Disponible: <https://icom.museum/es/recursos/normas-y-directrices/definicion-del-museo/>
- Cordón Benito, L & Maestro Espínola, D. (2017): Las webs corporativas de museos como herramientas para la transparencia. *Revista Latina de Comunicación Social*, 72, 941-956. <https://doi.org/10.4185/RLCS-2017-1201>
- Cortés Mura, H. G., & Peña Reyes, J. I. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Revista EAN*, (78), 40-55. DOI:10.21158/01208160.n78.2015.1189
- Correa, J. A., & Vásquez, L. (2020). Desempeño ambiental, social y de gobierno (ASG): incidencia en el desempeño financiero en el contexto latinoamericano. *Revista Facultad De Ciencias Económicas*, 28(2). <https://doi.org/10.18359/rfce.4271>

- De Soto, P. (2023) Museos, emergencias climáticas y la creación de futuros sostenibles. Nortes.me. Disponible: <https://www.nortes.me/2023/05/18/museos-emergencia-climatica-y-la-creacion-de-futuros-sostenibles/>
- EFE (2023) El Museo reina Sofía ha sido el más visitado en España durante 2022. *Telemadrid.es*. Disponible: <https://www.telemadrid.es/programas/telenoticias-1/El-Museo-Reina-Sofia-ha-sido-el-mas-visitado-en-Espana-durante-2022-2-2520667937—20230103065723.html>
- Fernández, J.L. y Bajo Sanjuan, A. (2012). La Teoría del Stakeholder o de los Grupos de Interés, pieza clave de la RSE, del éxito empresarial y de la sostenibilidad. *Revista Internacional de Investigación en Comunicación. aDResearch ESIC*. 6(6), 130-143. <https://doi.org/10.7263/adresic-006-02>
- Garthe, C. (2022) The sustainable museum. Hoy museums contribute to the great transformation. Roudledge. London.
- González-Liendo, J. A., & Gómez Nieto, C. (2024). *Estructuras comunicacionales y desafíos estratégicos en los museos españoles*. *Revista Internacional de Comunicación y Cultura*, 12(2), 57–73.
- González-Liendo, J. A. (2025). *Huella M: modelo marco para la acción sostenible de museos de arte en España* (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València.
- Herráez, J. A. (2011). La sostenibilidad en los museos. *Museos. es: Revista de la Subdirección General de Museos Estatales*, (7), 106-109.
- Ibermuseos (2019) *Marco Conceptual Común en Sostenibilidad*, Chile. Disponible: <http://www.ibermuseos.org/recursos/publicaciones/marco-conceptual-comun-en-sostenibilidad/>
- Ki-moon, B. (Septiembre de 2015). (Naciones Unidas, Productor) Recuperado el Diciembre de 2023, de <https://www.un.org/es/>: <https://www.un.org/es/sg/speeches/reports/68/report-growth.shtml>
- Luna, U.; Ibáñez-Etxeberria, A. (2020) Cuando el museo se convirtió en espacio de aprendizaje. *Educación y museos en Guipúzcoa en los años 80*. *Arte, Individuo y Sociedad* 32(3), 641-659.
- Manzanares, R.
- Mayor Zaragoza, F. (2009). La problemática de la sostenibilidad en un mundo globalizado. *Revista de educación*, 25-52.
- Merisalo, T. (2019) Sustainable cities and communities - Museums as places for équite and weelbeing. *European Museums Conference: Museums 2030 - Sharing recipes for a bitter future*. Network of European Museum Organizations - NEMO, 20-23.
- Meneses, J. (2016). El cuestionario.

- Morales, C., Pérez, R., Riffo Pérez, L., & Williner, A. (2021). Desarrollo territorial sostenible y nuevas ciudadanías: consideraciones sobre políticas públicas para un mundo en transformación.
- Naciones Unidas México. (2016). *¿Cómo surgieron los ODS?* Recuperado el Noviembre de 2023, de <https://www.onu.org.mx/>: https://www.onu.org.mx/linea_del_tiempo_ods/
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (25 de Septiembre de 2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (Naciones Unidas, Productor) Recuperado el Enero de 2024, de <https://www.un.org/>: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Prieto, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación.
- Real Academia Española (2022) *Sostenible*. (4 de octubre de 2023) <https://dle.rae.es/sostenible>
- Redondo, L., Vilches, A., & Gil, D. (2021). Los museos etnológicos como instrumentos de formación ciudadana para la sostenibilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 0117-135. DOI <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2953>
- Rieckmann, M. (2017). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje. UNESCO Publishing.
- Ribas, X, (2022) *Guía práctica de ESG*. Thompson Reuters Aranzadi. España.
- Riofrío, M. D. P. (2019). Agenda de sostenibilidad para los museos y centros expositivos de Lima: ruta para su incidencia en el desarrollo sostenible de la ciudad.
- Sánchez, J. (. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019.: Libros de la CEPAL.
- Ulrich, E. (2016). Entendiendo las inversiones según criterios ESG. *Revista educación, sostenibilidad*, 101.
- Vaqué, L. G. (2016). ¿Del consumo sostenible a una economía circular? *Revista CESCO de derecho de consumo*, (17), 179-191.
- Villa, L. E., & Herrera, W. R. (2020). Estándares internacionales de rendición de cuentas social: entre la justificación y el apresamiento directivo. *Innovar*, 30(75), 135-150. <https://doi.org/10.15446/innovar.v30n75.83262>
- Villaume, D. (2019) Foreword. European Museums Conference: Museums 2030 - Sharing recipes for a bitter future. *Network of European Museum Organisations - NEMO*, 6-8.

HACIA UNA PEDAGOGÍA DEL DESPLAZAMIENTO: WITTGENSTEIN FRENTE AL NEGACIONISMO CLIMÁTICO

SAMUEL J. CASTEJÓN

Universidad Complutense de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

Vivimos una época donde la evidencia científica sobre el cambio climático es abrumadora, pero su aceptación no es universal. A pesar del consenso entre expertos, persisten discursos negacionistas que no solo rechazan los datos, sino que parecen inmunes a ellos. Se ha alcanzado un punto donde es más sencillo imaginar el fin del mundo que el fin del negacionismo climático. No porque falte información, sino porque sobran certezas. Y las certezas, tal y como muestra el último Wittgenstein, no se desmontan con argumentos, se habitan.

Este escrito parte de una sospecha: el negacionismo climático no se trata de un error epistémico sino de una forma de vida. De este modo, no se trata de convencer a nadie con más gráficos, información, datos, escenarios futuros..., se trata de entender por qué ciertos mundos no pueden ver lo que otros consideran evidente. A saber, ¿cómo es posible que, ante la misma información, algunas personas veamos una emergencia y otras una conspiración? Y quizá más importante aún, ¿por qué los argumentos racionales no están resultando suficientes?

Entre quienes aceptan la crisis climática y quienes la niegan no hay un simple desacuerdo, ni tan siquiera hay un debate real, hay un abismo. No se comparte ni el juego de lenguaje, ni las certezas, ni la imagen del mundo. Ante lo cual, si siguiendo a Wittgenstein consideramos el lenguaje como una práctica social, la educación climática no puede limitarse a la mera —y necesaria— transmisión de información; debe transformar formas de vida, producir el desplazamiento de sujetos epistémicos.

Dicho lo cual, este escrito propone una lectura wittgensteiniana, propia del naturalismo social⁵³, del negacionismo climático. Cabe señalar que el fin no es refutar sino comprender, no se busca ganar ningún debate sino imaginar cómo desplazar certezas. Porque el problema no es la ignorancia, sino la creencia; no es que no sepan, es que creen otra cosa.

2. FILOSOFÍA WITTGENSTEINIANA

Wittgenstein nos ofrece una forma de mirar el lenguaje, y con ello toda una forma de mirar el mundo. Desde sus *Investigaciones filosóficas* (1953) y *Sobre la certeza* (1969) el lenguaje deja de ser un espejo de la realidad para convertirse en toda una práctica social encarnada en formas de vida. Es decir, nunca hablamos desde un punto de vista neutral, siempre hablamos desde un mundo.

Ahora bien, para poder comprender estas reflexiones, y así ser capaces de pensar una pedagogía crítica que ayude en la difícil tarea de conducir a los negacionistas a buen puerto, es necesario antes despejar dudas acerca de conceptos clave en la filosofía del autor austríaco:

2.1. SIGNIFICADO

Para Wittgenstein, el significado de una palabra o símbolo no depende de que denote o represente algo, lo determinante es lo que hace el hablante, pues es la propia comunidad de hablantes quien reconoce la coincidencia. Aquí aparece ya una imagen pluralista y antiesencialista del lenguaje que, en el fondo, comporta todo un pluralismo de la racionalidad donde el contexto constituye el espacio en el que se define lo racional y lo irracional.

[43] Se puede explicar para una *amplia* clase de casos el uso —si bien, no para *todos* los casos de su uso— de la palabra “significado”: El significado de una palabra es su uso en el lenguaje (Wittgenstein, 2021, p. 71).⁵⁴

⁵³ Lectura que aúna antropología social-cultural y naturalismo, a saber, una lectura que comprende a los hablantes como seres del orden natural que se desarrollan contextualmente, y a sus diversas culturas como sistemas de racionalidad distintos y equivalentes entre sí.

⁵⁴ Las palabras resaltadas, tanto en esta cita como en las siguientes donde también se resaltan términos, pertenecen al texto manejado.

[10] ¿De modo que también “ $2 \times 2 = 4$ ” es un sinsentido y no una proposición aritmética verdadera, excepto en determinadas ocasiones? “ $2 \times 2 = 4$ ” es una proposición verdadera de la aritmética —no “en determinadas ocasiones” ni “siempre”— pero los sonidos o signos gráficos “ $2 \times 2 = 4$ ” podrían tener en chino un significado diferente o podrían ser un sinsentido estridente, en donde se ve que: la proposición solo tiene sentido a través del uso (Wittgenstein, 2003, p. 3c).

Es evidente, pues, que lo importante es el cómo y para qué se usa una palabra o símbolo. De manera que, el uso en el lenguaje en determinado contexto constituye el significado. Concluyéndose, además, que fuera del contexto las palabras o símbolos carecen de sentido alguno. El significado, entonces, no conforma una propiedad estática, sino una suerte de práctica situada.

2.2. JUEGOS DE LENGUAJE

[7] Podemos pensar también que todo el proceso del uso de las palabras es uno de esos juegos mediante los cuales aprenden los niños su lengua materna. Denominaré a estos juegos “*juegos de lenguaje*” [...] Y se podría denominar también juegos de lenguaje a los procesos de designar las piedras y repetir las palabras anteriormente expresadas [...] denominaré también “juego de lenguaje” a la totalidad: el lenguaje y las acciones con las que está entretelado (Wittgenstein, 2021, p. 53).

El lenguaje ordinario funciona acorde a juegos de lenguaje, a saber, acorde al todo formado por el lenguaje y las expresiones de comunicación —«acciones con las que está entretelado»—. Hablamos, pues, de una unidad compuesta de elementos lingüísticos y no lingüísticos (situacionales), que se aprenden en el uso ordinario.

[9] Cuando el niño aprende este lenguaje, tiene que aprender de memoria la serie de los ‘numerales’ [...] y tiene que aprender su uso. — ¿se encontrará también en esta educación una enseñanza de ostensiva de la palabra? En efecto [...] ¿se enseña también ostensivamente “allí” y “esto”? ¡Suponte cómo se podría enseñar quizá su uso! Se señala con ellos a lugares y cosas —pero aquí este señalar ocurre también mediante el *uso* de las palabras y no solo en el aprendizaje del uso— (Ibid., pp. 53-54).

Aquí hallamos otra muestra de antiesencialismo, en tanto que los juegos de lenguaje se presentan dinámicos, pues cambian y desaparecen. Los hay primitivos y otros posteriores; unos preceden lógicamente a otros, y estos sirven para explicar otros posteriores.

Ahora bien, si existe tal variedad de juegos de lenguaje, y estos son dinámicos, cualquiera se preguntará, con toda la razón, ¿qué tienen en común?, ¿qué es «lo que los convierte en lenguaje, o en partes del lenguaje» (Ibid., p. 82, [65])? En definitiva, cualquiera se pregunta, en estos momentos, por «lo que concierne a la *forma general de la proposición* y del lenguaje» (Ídem.). Pues bien, entre los juegos de lenguaje no existe una misma estructura lógica, a lo sumo puede hablarse de parecidos de familia a razón de la relación del uso del lenguaje por parte de los hablantes.

Hallamos así constantes líneas de conexión y desconexión entre juegos, lo cual abre la posibilidad del desacuerdo.

[65] digo que no hay nada común en estos fenómenos [...] sino que están *emparentados* entre sí de muchas maneras diferentes. Y por este parentesco, o estos parentescos, los llamamos a todos “lenguaje” [...]

[66] no verás por cierto algo que sea común *a todos*, sino que verás semejanzas, parentescos [...] encuentras muchas correlaciones [...] pero desaparecen muchos rasgos comunes y aparecen otros [...] Algo se mantiene en común, pero mucho se pierde [...]

[67] no puedo caracterizar mejor esos parecidos que con la expresión “parecidos de familia” [...] los ‘juegos’ constituyen una familia (Ibid., pp. 82-83).

2.2.1. El uso

Hasta el momento, sobre el uso se ha dicho que genera el significado de la palabra o símbolo. A saber, se ha dejado ver su posición central en la filosofía del lenguaje del autor austríaco, siendo la pragmática el espacio donde se determina por completo la semántica. Sin embargo, queda por resolver su funcionamiento, empleo y aprendizaje.

El correcto uso de palabras o símbolos implica el seguimiento de una serie de reglas que se aprenden implícitamente. Estableciéndose una relación muy sencilla donde conocer es saber usar. Dichas reglas se siguen a ciegas, y se encuentran inscritas en la acción, en la forma de vida que acompaña al juego de lenguaje. Adscritas, además, a las imágenes del mundo —que implican de por sí una interpretación del mismo—.

«Y representar un lenguaje supone representar una forma de vida» (Wittgenstein, 2021, p. 56, [19]), es decir, imaginar un lenguaje es imaginar una forma de vida. «La expresión “*juego* de lenguaje” debe realizar aquí que el *hablar* la lengua es parte de una actividad o una forma de vida» (Ibid., p. 60, [23]). Ahora bien, ¿qué es una forma de vida?

2.3. FORMAS DE VIDA

Hablar de formas de vida es hablar de toda una red de prácticas y costumbres intersubjetivamente afectadas. Una red que conforma la fuente de verdad y falsedad para quienes comparten la forma de vida:

[241] «¿Dices, pues, que el acuerdo de los hombres decide lo que es correcto y lo que es falso?» — Correcto y falso es lo que los hombres *dicen*; y los hombres concuerdan en el *lenguaje*. Esta no es una concordancia de opiniones, sino de la forma de vida (Wittgenstein, 2021, p. 144).

Los seres humanos concuerdan en el lenguaje en tanto formas de vida. Siendo la verdad y falsedad dependientes de las prácticas y costumbres. Por lo cual, resulta evidente la existencia de múltiples construcciones de la verdad, ¿cuántas? No hay límite, hay tantas formas de vida, y con ello construcciones de verdad, como el conjunto total de todas las que puedan haber estado, estar, y estarán.

En resumen, el lenguaje queda establecido como una pluralidad de juegos de lenguaje a modo de formas de vida. Lo que implica, a su vez, que el lenguaje es una práctica social que comporta una imagen del mundo y forma de vida.

2.4. IMAGEN DEL MUNDO

Se ha mencionado anteriormente que una imagen del mundo implica de por sí una interpretación, sin embargo, es imprescindible profundizar en lo que ello implica.

[94] Pero no tengo mi imagen del mundo porque me haya convencido a mí mismo de que sea la correcta; ni tampoco porque esté convencido de su corrección. Por el contrario, se trata del trasfondo que me viene dado y sobre el que distingo entre lo verdadero y lo falso (Wittgenstein, 2003, p. 15c).

La imagen del mundo es un trasfondo que viene dado, que permite dirimir lo verdadero y lo falso. Constituye un sistema, un conjunto de creencias que viene dado, pues «lo que creemos no es una única proposición sino todo un sistema de proposiciones» (Ibid., [141]). Lo que creemos es un conjunto de proposiciones que nos disponen a actuar de una determinada manera.

Cabe señalar que las creencias se fijan en relación unas con otras del mismo sistema, dando lugar a una suerte de entramado de proposiciones que se aceptan. Dándose la evidencia siempre en el conjunto, en tanto que ninguna es más evidente que otra. Tal y como Wittgenstein afirma: «No son los axiomas aislados los que nos parecen evidentes, sino todo un sistema cuyas consecuencias y premisas se sostienen *recíprocamente*» (Ibid., [142]). Inclusive, considerar a una proposición como absolutamente verdadera «es también una característica de mi interpretación» (Ibid., [145]). Dicho entramado de proposiciones es lo que se conoce como nido de creencias, un conjunto entrelazado que, en apoyo mutuo, se sostiene por sí; de tal modo que: «No me aferro a *una* proposición, sino a una red de proposiciones» (Ibid., [225]).

Por todo ello, las formas de vida son el nivel pragmático de la imagen del mundo. Una interpretación que viene dada, un ver cómo en el que siempre se está inscrito. Cuando se sale de una imagen del mundo, de una forma de vida, de una red de proposiciones se entra inmediatamente en otra.

Más allá no cabe buscar nada, no es viable buscar una justificación externa a las reglas de la forma de vida y juegos de lenguaje. El horizonte de todo conocimiento siempre es la finitud radical de los límites de los juegos de lenguaje.

3. 'SABER' NO ES DECIR: "SÉ QUE P"

Una vez atendidas las premisas indispensables de la filosofía wittgensteiniana para desarrollar la sospecha inicial que impulsa este escrito, apremia hablar acerca del epicentro de la cuestión: saber, creer, dudar. Pues el negacionismo no es cuestión de ignorancia sino de creencias y, para poder entender por qué, es imprescindible entender qué distingue *saber* de *creer*.

En su *Defensa del sentido común* (1925) Moore habla de las proposiciones empíricas como certezas. Por ejemplo, cuando afirma:

Puedo probar ahora, por ejemplo, que existen dos manos humanas. ¿Cómo? Levantando mis dos manos y diciendo, a la vez que hago un gesto con mi mano derecha, «Aquí hay una mano», y añadiendo, mientras hago un gesto con la izquierda, «y aquí hay otra». Si al hacer esto, he probado *ipso facto* la existencia de cosas externas, todos verán que puedo hacerlo también de muchísimos modos diferentes: no hace falta multiplicar los ejemplos (Moore, 1983, pp. 155-156).

Con ello, Moore mantiene una concepción intuicionista, reivindica la existencia del mundo externo y, lo importante en este momento, viene a afirmar que cualquiera tiene certeza de tales proposiciones pero el filósofo no puede demostrarlas sin caer en el dogmatismo. Presentándose así una forzosa decisión para el filósofo: o dogmatismo o escepticismo.

Wittgenstein coincide con Moore en que las dudas escépticas no van a ningún sitio. Ahora bien, considera que Moore no escapa al desafío escéptico, que describe el conocimiento a la luz de la certeza cartesiana.

[218] ¿Puedo creer, por un instante, que he estado alguna vez en la estratosfera? No. En ese caso, ¿sé —como Moore— lo contrario?

[219] Para mí, como hombre razonable, no puede existir duda alguna al respecto. —Es así.—

[220] El hombre razonable *no* tiene ciertas dudas. [...]

[230] Nos preguntamos: ¿Qué hacemos con el enunciado “Sé...”? Ya que lo que está en cuestión no son procesos ni estados mentales. Y es *así* como se ha de decidir si algo es o no conocimiento. [...]

[232] “Podríamos dudar de cada uno de estos hechos, pero no podemos dudar de *todos*” ¿No sería más correcto decir: “no dudamos de *todos*”? No dudar de todos es sólo la forma y el modo que tenemos de juzgar y, por lo tanto, de actuar (Wittgenstein, 2003, pp. 29c-30c).

Wittgenstein acusa a Moore de hacer un mal uso de la proposición “Sé que P”, de tal modo que se aleja del uso que las expresiones tienen en el lenguaje ordinario. Es necesario distinguir, pues, entre *creer* y *saber*. Uno puede *creer* sin saber justificar el por qué: «Cuando alguien cree algo, no siempre es indispensable que pueda contestarse a la pregunta “¿Por qué lo cree?”» (Ibid., p. 72c, [550]); por el contrario, *saber* consiste

en tener una creencia verdadera justificada: «Se dice “Sé...” cuando se está en condiciones de dar razones apropiadas» (Ibid., p. 32c, [243]).

El *saber* debe justificarse por medio de razones reconocidas y comparadas, no por intuición. Nunca hay que olvidar que los individuos son parte de una comunidad de hablantes que comparten una forma de vida que les permite dirimir lo verdadero y lo falso. Lo que la filosofía wittgensteiniana ofrece es una perspectiva social donde el conocimiento no consiste en un estado mental, sino en una actividad pública. No se trata de “Sé que P” sino de “Sabemos que P”. El conocimiento desde la introspección interna solo conduce al solipsismo, del cual solo se sale a través del dogmatismo.

El conocimiento —*saber* algo— exige aportar razones. Una justificación que no resultará permanente, pero siempre necesaria en tanto que la duda es omnipresente, así como el error, en el proceso de conocimiento. Las razones deben de estar sujetas al juicio general, a saber, deben ser intersubjetivas —al igual que la red de prácticas y costumbres intersubjetivamente afectadas (formas de vida)—. De no ser así, ocurrirá como al niño que se inventa su propio lenguaje: no podrá comunicarse:

[257] —Bien, ¡supongamos que el niño es un genio e inventa él mismo un nombre para la sensación!— Pero entonces no podría ciertamente hacerse comprender con esa palabra [...]

[258] Pero en nuestro caso yo no tengo ningún criterio de corrección [...] es correcto lo que en cualquier caso me parezca correcto. Y esto solo quiere decir que aquí no puede hablarse de ‘correcto’ (Wittgenstein, 2021, pp. 148-149).

Cae, por su propio peso, el hecho de que para que el término tenga aplicación, los usos del lenguaje deben de ser compartidos y transmisibles. Asimismo, se ve como lenguaje privado no permite reconocer el error, no permite elegir entre opciones mejores y peores, pues las normas son sociales.

4. NEGACIONISMO Y PEDAGOGÍA CRÍTICA

Las certezas se sostienen en nidos de creencias, de modo que constituyen el límite de cualquier justificación, corresponden a lo dado: «Si lo verdadero es lo que tiene fundamentos, el fundamento no es *verdadero*,

ni tampoco falso» (Wittgenstein, 2003, p. 28c, [205]). Quiere decir, hay una serie de certezas que damos por sentado incluso cuando dudamos, pues para poder dudar de lo que nos rodea se necesita de un punto de apoyo sobre el cual orbite la duda pero del que no se dude.

[341] Es decir, las *preguntas* que hacemos y nuestras *dudas*, descansan sobre el hecho de que algunas proposiciones están fuera de duda, son —por decirlo de algún modo— los ejes sobre los que giran aquellas.

[342] Es decir, el que *en la práctica* no se pongan en duda ciertas cosas pertenece a la lógica de nuestras investigaciones científicas.

[343] Pero no se trata de que no *podamos* investigarlo todo y que, por lo mismo, nos debamos conformar forzosamente con la suposición. Si quiero que la puerta se abra, los goznes deben mantenerse firmes.

[344] Mi *vida* se basa en darme por satisfecho con muchas cosas (Ibid., p. 44c).

Es necesario, por ejemplo, poseer la certeza bisagra —gozne— “La Tierra lleva existiendo miles de millones de años” para que estudios como la geología o geografía tengan sentido y puedan desarrollarse de forma fluida en lugar de basarse en un perpetuo cuestionamiento del mismo objeto de estudio. De lo contrario, ¿cómo podría estudiarse con coherencia la estratigrafía?

Todos poseemos, pues, una serie de proposiciones fuera de dudas; las cuales, funcionando como bisagras —como ejes de rotación— permiten al resto de conocimiento girar en torno a dichas certezas asumidas y no cuestionadas.

Ahora bien, ¿qué tiene que ver todo esto con el negacionismo climático? Podría decirse que los integrantes del consenso científico, para su estudio, necesitan poseer una serie de bisagras epistémicas como pueden ser la propia existencia del cambio climático o la confianza en las evidencias empíricas reales; por su parte, el conjunto de negacionistas climáticos poseen las suyas propias, por ejemplo, “La ciencia está politizada” o “Los datos climáticos están manipulados”. Esto puede parecer casi una evidencia entre posturas discrepantes, sin embargo, el supuesto de no compartir el mismo punto de partida epistémico implica que, entre negacionistas y no negacionistas, hay un abismo. Ni un pequeño desacuerdo, ni un debate: se habitan imágenes del mundo distintas.

Imaginemos a un individuo negacionista, por ejemplo aquél cuyo contrargumento favorito al cambio climático es “El clima siempre ha cambiado”. En dicho individuo podemos observar que: pertenece a un juego de lenguaje basado en una visión histórica del clima; posee una forma de vida cuyos ejes parecen ser la confianza ciega en el sentido común —y desconfianza en la ciencia moderna—; así como una certeza bisagra basada en una idea de la naturaleza como algo cíclico de regulación autónoma la cual, por supuesto, le lleva a dudar de cualquier tipo de capacidad humana de alterar, tanto positiva como negativamente, el clima a lo largo de su vida biográfica (individuo) e histórica (humanidad).

Es indudable que entre tal individuo y el consenso científico no cabe el diálogo desde un terreno común. A menos que se transformen las certezas base, las bisagras epistémicas, el conjunto de proposiciones asumidas, en definitiva, con el negacionista no cabe diálogo sin transformar su forma de vida. La idea de contratacar al negacionismo a base de información, de datos, no refuta la forma de vida negacionista. La educación climática debe centrarse en reconstruir el marco de sentido desde el cual se interpretan los datos. Algo muy similar advierte Aguiar respecto a la educación ambiental bancaria (EAB), pues «atiborrar a los estudiantes de conocimientos científicos y sociales, cuál depósitos bancarios [...] no garantiza desarrollar su capacidad de reflexión» (2021, p. 12). Con su crítica, busca reforzar la necesidad de una pedagogía que no se limite a informar, sino que respalde una transformación del marco epistémico desde el cual el sujeto interpreta el mundo.

Siguiendo los postulados de la crítica sinóptica, tan propia de la filosofía wittgensteiniana, no tiene sentido imponer un sistema de creencias sobre otro. El deber de todo aquél que pretenda conducir el pensamiento negacionista, todo aquél que asuma la tarea de intentar desplazar al negacionista de su forma de vida a otra, deberá de ser capaz de ver los parecidos de familia entre sus juegos de lenguaje y movilizar al sujeto epistémico desde ahí. La respuesta parece hallarse en producir desplazamientos dentro de los juegos de lenguaje, a través de los parecidos de familia, para posibilitar el cambio en las formas de vida.

Corregir con datos, aunque necesario, no es suficiente ni eficaz. Hay que acompañar en el proceso de clarificación conceptual.

4.1. DESPLAZAMIENTO EPISTÉMICO

Si el negacionismo climático se sostiene sobre certezas que operan como bisagras epistémicas, entonces el reto no consiste en refutar proposiciones sino en, como ya se ha mencionado, transformar el marco desde el cual dichas proposiciones adquieren su sentido. A saber, posibilitar desplazamientos. Y es importante recalcar que estos desplazamientos no ocurren por imposición, no se busca colonizar la episteme ajena, sino que se trata de un proceso de resonancia; no atacar desde fuera, atacar desde el juego de lenguaje del otro.

Para tal fin, existen dos ámbitos esenciales donde puede activarse el buscado desplazamiento epistémico: el aula y el espacio público. Ambos espacios son, fundamentalmente, escenarios de encuentro entre formas de vida, de modo que son idóneos para convertirse en espacios donde se simule, experimente y acompañe el tránsito hacia nuevas certezas.

4.1.1. Aula

La visión del aula debe dejar de basarse únicamente en la de un espacio cuyo fin es la transmisión de datos para, en su lugar, abrazar la idea de convertirse, además, en una suerte de laboratorio de las distintas formas de vida. Como comenta Vergara:

Freire (1970)⁵⁵ considera métodos activos para generar una concientización en los educandos, donde se desarrolle una capacidad crítica en los individuos a través del debate colectivo, mediante situaciones desafiantes que se plantean por el educador. Esta interacción se propone como una relación dialógica, no de imposición de ideas (2020, p. 3).

Para ello, un buen primer paso consistiría en analizar la lógica interna del discurso negacionista, no para desmontarlo, sino para comprenderlo: ¿qué certezas lo sostienen?, ¿qué imágenes del mundo lo posibilitan?, ¿qué prácticas lo refuerzan?... Partiendo de ahí, la tarea pedagógica buscaría formar en la reconstrucción de certezas. A saber, enseñar al conjunto de estudiantes a identificar sus propias bisagras epistémicas, a reconocer la forma de vida que habitan, así como a que toda

⁵⁵ Refiere a la obra *Pedagogía Do Oprimido* de Paulo Freire.

interpretación parte de un marco. Solo por medio de la conciencia de todo ello puede abrirse la posibilidad de un desplazamiento.

Asimismo, una estrategia considerablemente potente es simular juegos de lenguaje. Motivar a habitar (provisionalmente) el lenguaje del otro puede contribuir enormemente a comprender la lógica interna, así como lo común y distinto entre juegos. No se busca con ello justificar, sino aprender las lógicas internas.

En definitiva, hay que construir una educación consciente de que las certezas no se abandonan desde fuera, ni se desmontan con argumentos; que habitando las diversas formas de vida se puede empezar a transformarlas. Y no se trata de una propuesta al aire, en tanto que hay evidencia empírica de que el desplazamiento epistémico es posible en contextos educativos, sobre todo si se trabaja directamente desde la conciencia de las propias bisagras epistémicas. Así lo demuestra, respecto a la conciencia ambiental y el cambio climático, el estudio *Conciencia ambiental y cambio climático: Un estudio con docentes de Educación Primaria en formación* (Laso-Salvador, Marbán-Prieto, & Ruiz-Pastrana, 2022), donde se muestra cómo una intervención educativa basada en la pedagogía crítica es capaz de transformar la conciencia a través de herramientas afectivo-cognitivas y, por supuesto, un análisis de contenido que permite evidenciar los cambios en las creencias y comportamientos. De hecho, la postura educativa planteada en el estudio se desarrolla explícitamente en cuatro dimensiones de la conciencia ambiental (afectiva, cognitiva, conativa y activa), lo que permite pensar el desplazamiento epistémico ya no como un cambio de ideas, sino como toda una transformación integral del sujeto en su forma de vida.

4.1.2. Espacio público

El desafío es mucho mayor en el espacio público. Se trata de interacciones en las que la mayoría de las veces no hay tiempo, contexto ni disposición para matices. Ahora bien, ello no imposibilita intervenir en la forma de vida.

¿Cómo? Por medio de discursos que conecten con las otras formas de vida; buscar la resonancia con la certeza ajena para vislumbrar el

desplazamiento. Lo crucial es construir discursos que conecten con las formas de vida ajena, que no busquen imponer ninguna verdad —sin abandonarla—, sino resonar con la certeza ajena. Es importante atender al hecho de que la pedagogía crítica, en este ámbito, debe ser una pedagogía narrativa, es decir, contar con discursos que hagan visible lo invisible, que muestren cómo se vive en otro mundo.

En este sentido, es evidente que el espacio público no puede simplemente ser concebido como una suerte de aula extendida, pues se trata de un terreno de disputa simbólica donde las certezas ajenas y propias se sostienen en imágenes del mundo profundamente arraigadas. De modo que, aquí, el desplazamiento no es posible llevarlo a cabo por medios docentes; es necesario interrumpir. Lo público exige una pedagogía que siga siendo crítica, pero ejercida desde las posibilidades y tiempo disponible en la actividad social, lo cual implicará en ocasiones un gesto, en otras un relato, y en otras, tal vez, una imagen. Eso sí, buscando una resonancia que opere como desestabilizador.

Se trata, pues, de un campo de posibilidades donde el desplazamiento se juega en la capacidad de crear fisuras narrativas por parte de los sujetos. Potencias discursivas que liberen —sin domesticar— generando hendiduras en el sistema de creencias que sostiene el negacionismo. Hendidura donde el eco de la resonancia que la produjo permite contemplar otro mundo —otra forma de vida— posible.

De nuevo, el fin no es confrontar, es abrir una fisura, una duda, una imagen que no encaje del todo. No importa lo mínima que sea la fisura, pues en múltiples ocasiones un solo resquicio es suficiente para tambalear una certeza y, cuando eso sucede, el desplazamiento ya ha iniciado.

5. CONCLUSIONES

No se trata, pues, de convencer al negacionista, sino de dar con las condiciones adecuadas para que pueda desplazarse a habitar otro mundo con otras certezas, prácticas y lenguaje. Por supuesto, es una tarea que necesita de tiempo, sensibilidad y una pedagogía crítica, afectiva y existencial, no solo cognitiva.

Si las formas de vida son tan radicalmente distintas que no comparten ni siquiera los criterios básicos de justificación o sentido, entonces el diálogo entre ellas no puede darse en los términos clásicos de prueba y refutación. Ahora bien, la no existencia de un terreno común y neutral, desde el cual salvar el desacuerdo, no implica una clausura total del entendimiento.

En este sentido, la filosofía de Wittgenstein no permite una traducción entre sistemas cerrados, pero sí una posibilidad de desplazamiento. De manera que, no se trata de imponer un marco epistémico, sino de encontrar parecidos de familia que permitan una resonancia. A saber, se trata de una lógica de la afinidad, no de dominación.

Precisamente por ello, transformar una forma de vida no es corregir errores, es desestabilizar desde dentro: mostrar sus límites, contradicciones, puntos ciegos... Y, en lugar de imponer datos, reconstruir el marco de sentido desde el cual los datos adquieren su valor. Tampoco hablamos de convencer, sino de dar lugar a las condiciones para que el otro pueda desplazarse hacia otro juego de lenguaje, con sus prácticas, emociones y certezas.

Allí donde hay duda, hay hueco; y donde hay hueco, hay riesgo de ocupación por cualquier tipo de interés. La transformación real no se juega solo en el terreno de la información, sino en el de las prácticas, los afectos y las interpretaciones. Hay incommensurabilidad, sí, pero también líneas de fuga. Y en las líneas de fuga es donde puede comenzar el desplazamiento epistémico de los sujetos.

6. REFERENCIAS

- Aguilar, A. A. B. (2021). Por una educación ambiental crítica. *Jandiekua, Revista Mexicana de Educación Ambiental*, 5(7), 10-17.
- Laso-Salvador, S., Marbán-Prieto, J. M., & Ruiz-Pastrana, M. (2022). Conciencia ambiental y cambio climático: Un estudio con docentes de Educación Primaria en formación. *Revista Electrónica Educare*, 26(3), 418-440. <http://dx.doi.org/10.15359/ree.26-3.24>
- Moore, G. E. (1983). *Defensa del sentido común y otros ensayos*. (Trad. Carlos Solis). Ediciones Orbis.
- Vergara, R. R. R. (2020). La pedagogía crítica y su rol en la educación ambiental: una mirada hacia océanos sostenibles.
- Wittgenstein, L. (2003). *Sobre la certeza* (3ª reimp). (Trads. Josep Lluís Prades y Vincent Raga). Gedisa.
- Wittgenstein, L. (2021). *Investigaciones filosóficas* (2ª ed.). (Trad. Jesús Padilla Gálvez). Trotta.

WHAT ARE WE TALKING ABOUT WHEN WE TALK ABOUT MODERNITY, PROFESSOR FOUCAULT?

CARLOTA GÓMEZ HERRERA
Universitat de València

1. INTRODUCTION

Starting in 1983, Foucault's work—evident in his courses, interventions, and so forth—on the ways in which the subject is historically constituted as experience cannot be separated from a double question: Who are we in this present? What can we, or must we, make of ourselves today? Since the subject is ethically formed through certain practices of the self—practices that, far from being a purely ahistorical invention of the individual, derive for the most part from frameworks pre-figured by culture, proposed, suggested, or even imposed by society and one's group of belonging—the immediate crossroads to be addressed is the search for a critical philosophy⁵⁶.

This takes the form of what Foucault, in 1983, in his reading of Kant's text *Contestación a la pregunta: ¿qué es la Ilustración?*, calls an "ontology of the present," an "ontology of ourselves," an "ontology of actuality." Its point of departure is to be found in the *Aufklärung*, and more precisely in the *Aufklärung*'s consciousness of itself, which leads back to a greater question: What are we today, within the historical contingency that makes us what we are?

⁵⁶ The translations of the cited texts, carried out from Spanish into English, have been made by the author with the aim of ensuring the coherence and stylistic harmonization of the present contribution.

2. TOWARD AN ETHICAL PRAGMATICS OF VERIDICTION

This approach owes much to Foucault's rereading of the history of philosophy in his last two courses at the Collège de France. In them, he is in fact implicitly engaging in dialogue with Nietzsche, Heidegger, Derrida, and, in a very special way, with Kant. From the first three he distances himself by displacing the ontological axis toward an ethical pragmatics of veridiction. Against the Nietzschean interpretation of *El nacimiento de la tragedia*, according to which Socrates inaugurates a thinking of Being that eclipses vital forces, Foucault reconfigures the Socratic figure as *parresiasta*: the relation between truth and life is played out in the care of the self and in the risk of the true word, even to the point of accepting one's own condemnation. The key no longer lies in a metaphysics of Being, but in the practice of truth-telling.

With Heidegger, the controversy takes on another twist. From *Las palabras y las cosas* to *La hermenéutica del sujeto*, Foucault challenges the return to the origin, the thesis of the forgetting of Being, and the characterization of technique as destiny. He refuses to read this historical turn in terms of loss and, instead, characterizes it positively as the emergence of a new practice of truth that runs through philosophy, the *dire vrai* parrhesiastic, distinct from the sapiential model oriented toward "telling the truth of Being."

In contrast to Derrida, his reading of Plato's celebrated *Carta VII* does not situate the problem in the opposition between speech and writing but rather in the distinction between the *lógos* that tells the truth and the one that cannot tell it. The Platonic rejection of writing, then, does not consecrate a phonologocentrism but rather a joint rejection of certain uses of *lógos* and writing in favor of *téchne*, of exercise, of effort, and of work on the self, that is, of a constitutive *askesis*. Philosophy thus appears as a practice of the self that incorporates *parresía* at its core, and the history of philosophy can be read—according to the Foucauldian movement—as a genealogy of forms of veridiction capable of constituting subjects and reordering relations of power (Foucault, 2009: 263).

Foucault's analysis of Plato's *Carta VII* is organized around the problem of determining what philosophy means as *ergon* (practice) beyond

the *lógos* (discourse). For philosophy to have reality, it must be inscribed in a discourse accompanied by, and above all in, effective practices. “The real of philosophy lies in its practices.” It is not to be found in writing nor in purely discursive knowledge; it resides in constant exercise and in the friction (*tribé*) between different modes of knowledge. Hence, Plato maintains that essences cannot be treated in writing, since writing grants only the appearance of knowledge and runs the risk of substituting for the living experience of philosophical knowing.

The rejection of writing signifies, for Foucault, the opening of a philosophical horizon whose core rests on the reflexive practice of the self upon itself. In this double and simultaneous negation—of writing and of *lógos*—there emerges what Foucault identifies as one of the constitutive matrices of the Western subject. Yet, he warns, the issue is not reducible to a mere dichotomy between writing and non-writing, since it activates, from a renewed perspective, the tension between rhetoric and pedagogy, insofar as *lógos* is not exhausted in its discursive dimension but entails, above all, a practice.

3. HISTORICAL ONTOLOGY OF OURSELVES

In this direction, his work aims to isolate, within the history of systems of thought, a strictly historical-critical space, a domain that, while delimiting its field of reflection, remains safeguarded from any attempt to be subsumed under a generalizing ontology. It is from the notion of ethics that Foucault developed in the second volume of *Historia de la sexualidad* that it becomes possible to trace the notion of “aesthetics of existence” as one of the ways in which the subject is structurally intertwined with a set of rules and values. The challenge lies in finding the way in which life itself, in its relation to truth, can become a “work of art,” as understood in Antiquity, where moral reflection leads not toward a codification of acts nor toward a hermeneutics of desire—as would be the case in Christian spirituality—but rather toward a stylization of ethical attitude and an aesthetics of existence. The most evident paradigm of this aesthetics of existence is found in the “temperate subject,” the

parresiasta subject, who, in the courage of his relation to truth, opens the path toward an aesthetics of existence (Foucault, 2003: 87).

It should be recalled that in May 1978, in the auditorium where years earlier he had delivered “¿Qué es un autor?”, Foucault gave a lecture on critique and Enlightenment, later titled “¿Qué es la crítica? Crítica y *Aufklärung*,” in relation to the regimes of governmentality. In it, we find a critical reticence regarding the fact that the reading has leaned more toward a conception of critique as a reflection on the limits of knowledge and truth, and not in relation to the limits of power.

For Foucault, this had constituted a first error that curtailed the fecundity of philosophical practice and, in contrast, opened the possibility of characterizing this other mode of being of *crítica* in terms of an attitude manifested in the courage with which we undertake our freedom—in sum, our life and actions. From this perspective of analysis, linked to the project of the *Crítica de la razón pura*, Foucault read *crítica* as the exercise of a strategic will not to be exhaustively governed—or, at the very least, not to be governed in a violently totalizing manner. If in the *Crítica* ‘*crítica*’ is defined as the examination of the limits of knowledge, it is because the enlightened individual submits to the limits that his own reason has established and does not obey an external authority. Now, since legitimate obedience is only possible if it is grounded in that common rational limit recognized by every enlightened subject, Foucault problematizes the supposed continuity between *crítica* and *Ilustración*⁵⁷. In his view, the true shift brought about by modernity is grounded

⁵⁷ In the inaugural lecture of his course *El gobierno de sí y de los otros* (1982–1983), Foucault returns to the Kantian text on the *Aufklärung* and deepens the link between *crítica* and *Ilustración*, shifting the interpretation from a merely epistemological register toward a political problematic of obedience and autonomy. In his view, enlightened emancipation does not consist solely in the suspension of external authority, but in the maintenance of a reflexive relation with the limits of reason. To overstep those limits—to attempt to ground freedom in an unrestricted reason—paradoxically entails the reactivation of a heteronomous authority, which reinscribes the subject in a state of minority. Thus, Foucault observes that the two dimensions against which Kant articulates his critical project are both the direct submission to another and the abandonment of the self-imposed limits of enlightened reason. In this way, Kantian *crítica* takes shape as an attitude that combines freedom and limit, reason and government, which Foucault reactivates by thinking it through the matrix of practices of *gubernamentalidad*. *Crítica* will then be the exercise of a will not to be governed in such a way, modulated by an ethics of the limit that prevents both subjection and rationalist *hybris*.

less in reason than in power. Consequently, the analysis of the *Aufklärung* requires rethinking its genealogy from an economy of power relations—in the Nietzschean line (Conill, 2021: 161)—rather than from a purportedly all-encompassing metaphysics of knowledge. How are subjects constituted within power relations and practices of government? In fact, he is interested in recovering or returning to the term *Ilustración* because its modern qualification referred, in a certain way, to that active dimension contained in the notion of *actitud*.

Because... what is *crítica*? “A certain way of thinking, of speaking, also of acting, a certain relation to what exists, to what we know, to what we do, a relation to society, to culture, also a relation to others” (Foucault, 1995: 5). *Crítica*, then, has to do with oneself, but also and above all with society, culture, with others. It will always imply a relation to something that it is not. It will always, so to speak, be thrown toward something that does not constitute it; it will appear when it steps outside of itself and will claim to oversee a domain that it cannot legislate. For this reason, *crítica* provides a limit for power, though without being able to prescribe those limits itself. An *actitud* that “becomes an instrument, the means of a future or a truth that it itself will neither know nor be” (Scasserra, 2018: 52).

This elucidation allows us to understand, albeit still partially, the web that articulates *crítica* with philosophy and with other discursive practices. Precisely because it lacks the authority to legislate, to establish definitive boundaries, or to present itself as the bearer of a truth, it quickly becomes evident that *crítica* cannot be identified with science, philosophy, politics, or morality. Nevertheless, it operates as a derived yet irreducible function that traverses each of these spheres: it is a regulative principle that, without being confused with them, challenges and destabilizes them. The common feature that grants coherence to this critical function across its various domains is its structural affinity with the notion of virtue, understood less as a normative code than as an ethical disposition that orients reflective practice in the face of regimes of truth and power.

The question of *gubernamentalidad* thus seems to lie at the core of Foucault’s expository strategy, bound up with the very definition of *crítica*.

If one wishes to understand the historical trajectory of *crítica*, one must first grasp the development of that against which it is exercised—that is, the power it seeks to criticize, the other with which it must necessarily enter into relation. This historical key to Foucault’s reading rests on the thesis that modernity was erected upon that resistance to the generalized process of governmentalization that the West had undergone up until the late eighteenth century, tracing within that framework a far-reaching line between, as we have mentioned, the anti-pastoral movement and the Revolution⁵⁸.

In this direction, Foucault began his 1980 course by raising the possibility of grounding contemporary philosophy not upon a thesis of X or Y content or epistemological value, but upon an *actitud* (Foucault, 2014a: 99): the *actitud* of suspending not the certainties of truth but the necessity of power and its relation to life (Foucault, 2006: 16). In developing his concept of *actitud crítica* as “the art of not being governed in such a way,” he identifies a series of historical anchors—which continue the Foucauldian methodological strategy of not assuming a transhistorical continuity of a phenomenon or element—that allow us to understand how this disposition has manifested and been articulated in different epochs. He identifies three historical forms of resistance to government: first, in the rejection of the ecclesiastical magisterium, where the subject seeks in Scripture a truth not mediated by religious authority; second, in the refusal to obey unjust laws, invoking a natural right superior to positive law; and third, in the contestation of authority as the exclusive guarantor of truth, shifting the problem from power to that of *veridicción*.

From these configurations, Foucault shows that *crítica* is not opposed to government in the abstract. On the contrary, it is strictly historical, for it addresses specific forms of governing that present themselves as legitimate in the name of truth. It does not seek to replace one truth with

⁵⁸ Foucault links the genealogy of pastoral power—characterized by the double relation between obedience and salvation—with the emergence of the modern “arts of government,” which from the fifteenth century onward expand beyond the religious sphere to integrate into the secular practices of conduct of conduct. The term *gubernamentalización* designates precisely this generalization of pastoral power toward civil society, which is no longer limited to the salvation of souls but regulates populations, economies, and individual behaviors.

another but rather to keep open the possibility of not being governed in a certain way. Thus, the task of thought undertaken by *crítica*—whose history Foucault retraced beginning with Christian pastoral power—goes hand in hand with a politics of truth whose task would be what he described as “reflective indocility,” an *actitud* or exercise of insubordination and voluntary desubjection in the interplay of knowledge, power, and subjectivity, and opposed to the government of subjects by truth.

Crítica, insofar as it is understood as an exercise that seeks to interrogate the ways of not being governed in such a way—thus directing itself toward arts of government that it itself is not, and over which it cannot, strictly speaking, prescribe alternative modes and procedures—discloses a kind of virtue that draws Foucault’s attention. It is the power to put into dispute the regime of truth upon which mechanisms of power rest and to throw the subject into an immediately active, prudent, attentive dimension with respect to them. Hence, *crítica* must be understood as a “mirror of a process of *gubernamentalidad* over men” (Scasserra, 2018: 53).

4. PARRESÍA AND ETHOS IN AN AESTHETICS OF EXISTENCE

The historical ontology that Foucault advocates finds its place in this framework in activating a practice of parrhesiastic truth that questions what we are—that is, the historical configuration of our *ethos*. The *estética de la existencia* finds its relation to the very concept of *ethos* insofar as the subject who carries his life as an *estética de la existencia*, and whose moderation, founded in truth, “is at once respect for an ontological structure and the profile of a visible beauty; Xenophon, Plato and Aristotle have often given judgments” (Foucault, 2003: 87).

The *estética de la existencia*, in close relation with *parresía* as a critical act of what we are and as a mode of interpellation of the others with whom we share the world, is an art reflective of a freedom perceived as a play of power for the subject: relations between the exercise of the practices of his freedom, the forms of the relations of his power, and his access to the *ascesis* of truth.

As *parresía*, much more than as a doctrine about the world, politics, nature, etc., European philosophy managed to insert itself factually and

effectively into the real and into history—or, rather, “into that real which is our history” (Foucault, 2009: 84–85). In this way, its practice cannot fall into the history of that great forgetting, insofar as each time philosophy begins anew, it finds itself within it; it is the seed that activates and mobilizes it and turns it into genuine transformation. With *parresía*, philosophy inscribes itself into the real. Philosophy harbors critical capacity when it unfolds within the framework of the mode of truth-telling characterized by the “courage of truth.”

How can we find the way to carry on, to conduct life as a work of art? The *artes de la existencia*—those “sensible and voluntary practices by which men not only set rules of conduct for themselves, but also seek to transform themselves, to modify themselves in their singular being, and to make their life a work that embodies certain aesthetic values and responds to certain criteria of style”—lose their relevance once they are integrated with Christianity “into the exercise of *poder pastoral* and later into practices of an educational, medical, or psychological kind”⁵⁹ (Foucault, 2003: 14). However, in the context of his 1983 interview, he revisits certain ideas he finds in Dante, Stéphane Mallarmé, and Charles Baudelaire—of the latter he had already reflected upon in *Modificaciones*⁶⁰. Precisely, the considerations that allow these philosophers to be grouped as “philosophers of *dandismo*” and to establish a fruitful relation between them and Foucault are the understanding of modernity as an *actitud*; a relation that must be engaged through thought and through a series of practices that traverse the body of oneself with

⁵⁹ Foucault acknowledges that the so-called *artes de existencia* or *técnicas de sí*—those voluntary practices through which subjects seek to transform themselves into a singular work, in accordance with aesthetic values and criteria of style—lost their autonomy as they were progressively integrated into religious, pedagogical, or medical practices. Nevertheless, he insists on the need to retrace their genealogy, a need already identified by Jacob Burckhardt during the Renaissance (Foucault, 2003: 15–16).

⁶⁰ There Foucault recommends in a footnote Greenblatt’s book *Renaissance Self-Fashioning. From More to Shakespeare*, in which the structure of identity evidenced in the principal literary figures of the English Renaissance—More, Tyndale, Wyatt, Spenser, Marlowe, and Shakespeare—is examined, and it is shown that in the early modern period new questions arise concerning the nature of identity.

oneself. To be modern consists in taking oneself as the object of a complex and demanding elaboration—*ascetismo*—a work to be done.

Foucault sets out, after having linked the processes of *gubernamentalidad* with *crítica*, to investigate now the connection that the latter maintains with the *Ilustración*, recognizing in Kantian philosophy a first key moment and tracing the subsequent trajectory of its strands in German and French thought. The *Ilustración*, in Kant's text, is defined as the exit of the human being from a state of minority, from that incapacity to make use of one's own understanding without the guidance of another. This condition of dependence is sustained in a relation between an authority that keeps humanity in that state of tutelage and a population that perpetuates its subordination through lack of decision and courage. Such a Kantian diagnosis constitutes, for Foucault, the point of departure of his own critical return to the *Ilustración*.

For Foucault, Kant's writing becomes a "fetish text," insofar as it contains an unresolved problem toward which the interlocutions delivered at the Collège are irrevocably drawn (Foucault, 1999: 335). Only the North American version of *Qu'est-ce que les Lumières?* ("What is Enlightenment?", 1984), however, highlights Baudelaire's position in the configuration of modernity as *ethos* or as an individual critical *actitud* in the ancient sense. While it is true that Foucault distrusted, *prima facie*, the conception of modernity as a distinct period framed between premodernity and postmodernity, the different temporality attributed to modernity by Adorno and Horkheimer, by Habermas and Lyotard, according to Foucault, dissolves outside Baudelaire's identification of what it means to be modern. To be modern is equivalent to maintaining an actively critical *actitud* toward one's own time and its themes.

Needless to say, Kant's interpretation of the *Aufklärung* is an unprecedented process that loses its social and political force if it is not conceived as a subjective task by individuals. It is an ethical *actitud*, with a political background, that derives precisely from Kantian *Ilustración*, and that demands above all an individual *actitud* of decisively voluntary character. To be and, above all, to live as an enlightened individual requires an autonomous *ethos*, a style deeply characterized by being rooted in modern philosophy originating in the Jewish *Haskala* and the

German *Aufklärung*. In contrast with the Christian tradition that Foucault had examined in detail, Kant's *Ilustración* represents a way out of heteronomy, out of that state of minority that especially interests him when analyzing the period running from the late eighteenth to the early nineteenth century. The space and place of Kant's philosophy, at this point in his trajectory, is instituted almost as a watershed between that mode of thought that his criticism of the configuration of forms of life opens and the mode of thought that his anthropological question, in some sense, closes. The celebrated enlightened motto *sapere aude*—dare to know—condensed a “courage of knowing” that required the bravery to confront the very limits of knowledge.

By recognizing those boundaries, the subject could aspire to autonomous forms of life. But this autonomy, far from translating into a frontal opposition to obedience, entails, according to Foucault, a subtler redefinition, insofar as obedience can only be legitimized if both rulers and the governed have crossed that threshold of the *Ilustración*—that is, if they are enlightened. Reason does not authorize blind rebellion but rather imposes a shared discipline, an enlightened obedience. However, Foucault warns that when the *crítica* of objective knowledge claims to be superior to the project of the *Aufklärung*—as if the two could be separated—an unsettling paradox emerges, since the very reason that promises emancipation engenders its own zone of shadow, a dark power born from the light it proclaims.

Expressed in other terms, although in Kant's text on the *Ilustración* one can trace the roots of a “voluntary insubordination,” this does not mean that Foucault interprets the Enlightenment project exclusively as a brake on political power. On the contrary, he immediately notes the close complicity between the ideals of the *Lumières* and the forms of modern government. On the one hand, a positivist science that placed in itself an almost absolute confidence, even when exercised with critical prudence in the face of each of its results. On the other hand, the development of a State—or of a state system—that presented itself as the embodiment of reason and as the deep rationality of history, choosing as its privileged tools various procedures of rationalization of the economy and of social life.

Foucault also identifies the emergence of a science of the State—or of an authentic statism—as the result of the confluence between scientific positivism and the consolidation of state institutions. These three elements—the optimism of science, state rationality, and their mutual articulation—intertwine in the decisive role that science played, in those same years, in the development of the productive forces. It seems, then, that Enlightenment *crítica*, although it lost part of its capacity to limit political power, preserved its function of delimiting the scope of knowledge. From this process of *Ilustración*, Foucault observes, two major strands have unfolded to this day: one German and the other French.

In the first, he finds a persistent suspicion that rationalization—and even reason itself—is ultimately responsible for the excess of power. This concern, shared by the German left and crystallized in the Frankfurt School, gave rise to a frontal critique of positivism, objectivism, rationalization, and *techné*, a line of thought that runs through different moments of German philosophy and which Foucault exemplifies with Husserl's *Crisis of the European Sciences*. In France, by contrast, he observes that the denunciation of the alliance between reason and power arose mainly from an intelligentsia closer to right-wing positions. The historical bloc that united the *Lumières* with the French Revolution prevented, in effect, a radical reopening of the question of the link between rationalization and power. The *Ilustración* was thus quickly relegated to an episode of the past—or else celebrated as an intrinsically critical stance vis-à-vis every form of domination—something that contributed to neutralizing its problematic potential and to turning its legacy into an almost untouchable heritage.

Foucault argues that, despite its ambivalent history, the *Ilustración* still retains in the present the possibility of being reactivated. He acknowledges that this problem reaches him mediated by phenomenology: the question of the “how” of meaning and of its emergence from non-meaning, so characteristic of the experience of the twentieth century, links directly to the effects of the great movement of rationalization. “How can it be that the great movement of rationalization has led us to so much noise, so much fury, so much silence, and so much somber mechanism?” (Foucault, 1995: 11).

The new history of the *Ilustración*, read from its alterity and from non-meaning, allows us to raise once more the decisive question: in what way can rationalization culminate in the fury of power? This is the core of the new French Enlightenment thought, in which Foucault situates Cavallès, Bachelard, and Canguilhem—thinkers who, faced with the catastrophes of the social and economic organization of the twentieth century, diagnosed a disturbing paradox... “by dint of catastrophes [...] we have found ourselves confronted with I do not know whether too much or too little reason, in any case surely with too much power” (Foucault, 1995: 11). In this alliance between reason and power—denounced by this new form of *crítica*—Foucault sees the roots of two sibling forms of power: fascism and Stalinism⁶¹.

Foucault places the *Aufklärung* at the center of modern philosophy and, in order to approach it, develops a “historico-philosophical practice” whose purpose is to enable individuals to reconstruct, as a fiction, the history traversed by the question of the relations between the structures of rationality that articulate true discourse and the mechanisms of subjection that are bound to it. Neither inner experience nor fundamental structures of scientific knowledge nor a set of historical contents elaborated in another time. The guiding question of Kantian resonance includes a form of analysis that studies the domains of experience traversed by the relations between discourses considered true and mechanisms of subjection (*assujettissement*): “What am I, then, who belong to this humanity, perhaps to this planet, at this moment, at this instant of humanity that is subject to the power of truth in general and of truths in particular?” (Foucault, 1995: 12). This approach de-objectifies the philosophical question by virtue of the historical contents that traverse subjective experience and makes it possible to think about the ways in which this method can indeed be applied to any moment in history.

⁶¹ From this trajectory emerges the double Foucauldian gesture: to recover the attitude of voluntary insubordination that links *crítica* and *Ilustración*, and at the same time to recognize the role both played in the formation of modern regimes of government. The error of Enlightenment *crítica* would have been, perhaps, its failure to incorporate fully the three dimensions of Foucauldian analysis; for while it locked the bolts of knowledge, it left those of power open, allowing the former ultimately to place itself in the service of the latter.

For Foucault, knowledge and power are the analytical axes from which to examine the mechanisms of legitimation and domination. Power manifests itself as a set of specific dispositifs that induce particular behaviors, while knowledge refers to practices historically accepted as true. The aim of analysis, then, concerns the description of the different links between knowledge and power in their concrete functioning—in practices such as health, labor, education, or sexuality—that is, to understand their positivity, in what they effectively produce. This task corresponds to *arqueología*, which distances itself from any search for universalities or first causes and instead focuses on the singularities, discontinuities, and historical conditions that allow us to think about the regimes of truth and their social acceptance. After rejecting the traditional explanatory models that seek single, hierarchical, or necessary causes to understand historical phenomena, he proposes a *genealogía*—continuing the Nietzschean line—that restores the conditions of appearance of singularities as effects of multiple determinations that are not unified under a political key.

Thus, from this historico-philosophical *crítica* that employs *arqueología* and *genealogía* to analyze the conditions of emergence of possible subjects in specific historical contexts, Foucault reworks one of the paths that Kant's displacement of the focus of attention from the *Aufklärung* toward *crítica* had established: the one that accounts for the limits of political power. The Foucauldian wager consists in revitalizing the strand in which the possible “tensions between autonomy and authority are ordered under the distinction between private and public use of reason: the adequacy of reason to determined circumstances and particular ends is compatible with reasoning as a reasonable being and member of a reasonable humanity” (Sauquillo, 2023: 169). Toward the end of the lecture, during the time dedicated to debate and questions to the speaker, a listener asked Foucault about the possibility of thinking of a “critical ferment that comes from Socratism” and that plays a central role in the return to Socrates observable in the sixteenth and seventeenth centuries⁶². Foucault once again links the problem of *crítica* to

⁶² An expression of the historian of modern philosophy Henri Gouhier.

the government of men, which, as he pointed out, begins with the development of pastoral power. Yet he also raises the question of whether the *Aufklärung*, as Kant conceived it, did not in some way traverse all possible history and even the radical origins of philosophy. For this reason, he admits that the trial of Socrates can be validly interrogated without anachronism, provided one understands that the problem he shares with Kant was conceived by the latter in the terms of the *Aufklärung*. The *Ilustración* and the Revolution inaugurate the 1983 course. In it, Foucault situates *actitud crítica* within a historical succession that begins with the practice of Greek *parresía* (Foucault, 2009: 353).

5. CRITIQUE, MODERNITY, THOUGHT

In that course, Foucault devotes two lectures to reading Kant's text on the *Ilustración* and to the way in which his reading of the *Revolución* is reformulated in *The Conflict of the Faculties*. Foucault values Kant's text on the *Ilustración* for its programmatic function: it defines modernity as the entry into an age of *crítica* and affirms autonomy in the face of authority, dogmatism, and heteronomy. Within the economy of Kantian thought, the interrogation of 'actuality' is developed precisely in these two texts, which present two questions—What is the *Revolución*? and What is the *Ilustración*?—that would, in a prophetic and quasi-predictive way, traverse philosophy from the nineteenth century onward. The *Ilustración*, on the one hand, stands as a banner of modernity while also constituting a space of problematization of rationality and technique. On the other, the *Revolución* as “an event, as a type of event whose very content is of no importance, but whose existence in the past constitutes a permanent virtuality,” that is, a strongly operative value in history to be taken up and practiced “for future history” (Foucault, 2009: 38).

While Kant, in his great critical work, lays the foundations for the question of the possible conditions of true knowledge—and from there a largely Anglo-Saxon sector developed as a developer of an analytics of truth—his work does not stop there, because within modern—and contemporary—philosophy there is another mode of critical interrogation, which we see emerge precisely in the question of the *Aufklärung* or in

the text on the *Revolución*. Unlike the “analytics of truth,” focused on the processes of reasoning that can ensure or determine the truth or falsity of a statement, this other critical tradition asks, “What is actuality? What is the current field of our experiences? What is the current field of possible experiences? It is an *ontología del presente*, an *ontología de la actualidad*, an *ontología de la modernidad*, an *ontología de nosotros mismos*” (Foucault, 2009: 38). It concerns the possibility of critical truth, that is, the relevance for both the individual and society of telling the truth, of knowing the truth, of having people who tell the truth, and of being able to recognize those people (Foucault, 2004: 212–213).

One could say that, from this moment onward, philosophy ceases to have an exclusive relation with truth and refers also to history. What Foucault highlights in Kant’s text is that in the question of the *Revolución*, what is remarkable is the enthusiasm for it, an enthusiasm manifested beyond those who carry it out and the concrete cause that mobilizes them, insofar as this enthusiasm reveals a moral disposition in humanity (Foucault, 2009: 38). The Kantian innovation is, according to Foucault, “the reflection on the ‘today’ as difference in history and as the motive for a particular philosophical task”:

And it seems to me that the philosophical choice we face today is the following. One must choose either a critical philosophy that presents itself as an analytical philosophy of truth in general, or a critical thought that takes the form of an *ontología de nosotros mismos*, an *ontología de la actualidad*. And this form of philosophy, from Hegel to the Frankfurt School, passing through Nietzsche, Max Weber, etc., has founded a type of reflection to which, of course, I associate myself insofar as [my] possibilities allow (Foucault, 2009: 39).

However, he also points out those problematic inflections at the end of Kant’s text in order to grasp the historical transformations of the eighteenth century. Against a linear vision of historical time, Foucault proposes to understand modernity as an *actitud* or *ethos*, and in this key Baudelaire appears as an exemplary figure of that critical modern consciousness. Let us briefly consider Foucault’s final reservations toward Kant and his choice of Baudelaire as the rudder of his own *ethos*. The philosophical inclination, and in particular the philosophy of religion, in Baudelaire is manifest throughout both his correspondence and his

literary production. Foucault is fascinated with Baudelaire because he sharpens the concretion of the individual autonomy that Foucault is seeking.

Although Kant indicates, within philosophy, an autonomous disposition of the individual in society, it is true that he does not develop what the presuppositions of such an individual *ethos* would be. Even if the shift from Kant to Baudelaire takes place somewhat lightly in “¿Qué es la ilustración?”, the appearance of the latter is, following Sauquillo, doubly striking: “Either this appearance is taken squarely in everything that Baudelaire signifies as philosophical affirmation and rejection of other worlds crossed out in his creative process; or we suppose that the invocation of Baudelaire has been carefully selected by Foucault in a limited and fundamental way” (2023: 169).

The first path—an almost direct and deliberately faithful invocation—would imply a final distancing of Foucault from Kant. The second—a rather strategic, selective, and punctual appropriation—allows us instead to see the specific way in which Foucauldian philosophical imagination operates, as a critical constellation of mobile and interconnected references. It is evident that Foucault does not always adopt a logic of flexible selection in relation to the major figures of the tradition; his exhaustive study of libertinism in the Marquis de Sade constitutes, rather, an exception that confirms the rule. Now, although the paths traced by Kant and Baudelaire may seem incompatible in terms of the rigor demanded in each of their approaches to the study of *crítica*, both stimulate Foucauldian elaboration. Kant represents, for Foucault, a source of suggestions not yet entirely exhausted:

Moreover, Kant is the author of ¿Qué es la Ilustración?, linked to the three critiques; of the key invocations in *Las palabras y las cosas* to the being of language in Nietzsche and Mallarmé; of the calls to the finitude of language and death in Artaud and Roussel; of the invocations of the Surrealists, as well as Kafka, Bataille, and Blanchot; and of the work of his State thesis linked to the *Antropología en sentido pragmático*. By contrast, if we take Kant seriously for his admonitions against Emmanuel Swedenborg, both perspectives would be irreconcilable. Baudelaire’s creation is situated squarely within the visionary existence of Swedenborg. Kant would have been alarmed by Baudelaire’s conversations with Barbey d’Aurevilly about the dogma of the Immaculate

Conception as much as by Swedenborg's communications with the spirits of the dead (Sauquillo, 2023: 170).

Foucault seems to lean with affection toward the thought of analogy, that regime of knowledge prior to the classical *episteme*, where things still shine with the oblique light of the secret, the similar, and the hidden, a regime that Baudelaire would represent. Thus, he could never share Kant's disdain for dreams—that “idle occupation of the rich”—for where Kant sees superstition, Foucault discerns an archaic form of knowledge. In *La clave de los sueños* by Artemidorus, he finds not merely an archive of desires and anxieties, but a symbolic cartography that challenges the modern discursive order. Foucault situates himself more “on the visionary path of philosophical poetry than on the delineation of the dangers endured by philosophy” (Sauquillo, 2023: 171).

There is in him, indeed, a way of conceiving the subject different from understanding it as a perfectly delimited, autonomous, unbreakable self. However, contrary to what has so often been proclaimed, this is not an apology for anti-Enlightenment. Foucault does not position himself as a detractor of the *Ilustración*; he is not an anti-Enlightenment thinker. On the contrary, the issue lies in his particular way of understanding modernity.

6. ACKNOWLEDGMENTS/SUPPORT

This contribution is part of the Scientific Research and Development Project “*Ética cordial y democracia inclusiva en una sociedad tecnolozada*” (ETICORDIAL), reference PID2022-139000OB-C21, funded by the Ministry of Science and Innovation and the State Research Agency, as well as through a predoctoral grant FPU21/00189.

7. REFERENCES

- Conill, J. (2021). Nietzsche contra Habermas. Tecnos.
- Foucault, M. (1995). ¿Qué es la crítica? [Crítica y Aufklärung]. *Daimon. Revista de Filosofía*, 11, 5–25.
- Foucault, M. (1999). Estética, ética y hermenéutica (Á. Gabilondo, Trad.; Vol. III, Obras esenciales). Paidós.
- Foucault, M. (2003). Historia de la sexualidad. Vol. 2: El uso de los placeres (M. Soler, Trad.). Siglo Veintiuno.
- Foucault, M. (2004). Discurso y verdad en la antigua Grecia (F. Fuentes Megías, Trad.). Paidós.
- Foucault, M. (2006). Seguridad, territorio y población: Curso en el Collège de France (1977-1978) (H. Pons, Trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Foucault, M. (2009). El gobierno de sí y de los otros. Curso en el Collège de France (1982-1983) (H. Pons, Trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Foucault, M. (2014). Del gobierno de los vivos: Curso en el Collège de France (1979-1980) (H. Pons, Trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Sauquillo, J. (2023). Foucault, lector de Baudelaire: la imaginación como conjetura poética. *Res publica. Revista de Historia de las Ideas Políticas*, 26(2), 167-181.
- Scasserra, J. I. (2018). Crítica, ilustración y gobierno. Un estudio de la crítica en Michel Foucault. *Ariel*, 21, 51-57.

EL FIN DEL MITO DEL CRECIMIENTO INFINITO: ORÍGENES Y HORIZONTES DE LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

GABRIELA A. VÁZQUEZ RODRÍGUEZ

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1. INTRODUCCIÓN

La industria es la actividad económica que transforma materias primas en productos semielaborados o elaborados mediante el uso de fuentes de energía, maquinaria especializada y recursos humanos (Melià-Seguí, y Tuset-Peiró, 2019). Su surgimiento se ha reificado en el concepto de Revolución Industrial, que fue acuñado por Arnold Toynbee en 1884 para referirse a las transformaciones tecnológicas y sociales suscitadas en Gran Bretaña entre 1760 y 1815 y que habrían desplazado a la agricultura y el comercio como base de la economía (de Lorenzo, 2020). La Revolución Industrial habría permitido la superación de las actividades económicas basadas solo en la fuerza humana y animal, para dar paso a procesos productivos en los que las máquinas—impulsadas por combustibles fósiles—eran protagonistas. La maquinaria, en un inicio destinada a la minería, la metalurgia y la siderurgia, fue clave en la expansión de esta actividad económica a otros sectores, como la naciente industria textil británica; igualmente, fueron decisivas las innovaciones en los métodos tradicionales de manufactura, la urbanización y la existencia de una red hidráulica y de caminos inusuales para la época, así como un clima sociopolítico particular (Hobsbawm, 2011).

La Revolución Industrial suele considerarse como una discontinuidad en el registro histórico; un fenómeno que solo habría podido gestarse en Gran Bretaña y que luego fue imitado, con éxito o sin él, por otros

países⁶³. Igualmente, la Revolución Industrial es vista como el partea-guas entre tradición y modernidad: el cambio radical en la estructura económica que habría posibilitado el despegue del capitalismo occidental, evidenciado por el vuelco ascendente de todas las curvas de los indicadores económicos disponibles (Hobsbawm, 2011). Por supuesto, esta concepción de la Revolución Industrial no es unánime, y se ha visto modificada, incluso antes de los aportes de Toynbee, según las preocupaciones de cada época (Bhambra, 2023).

Hay, sin embargo, un cierto consenso al considerar el surgimiento del sistema fabril como una de las consecuencias más relevantes de la Revolución Industrial. El sistema fabril representó una forma novedosa de concentrar y controlar el trabajo humano, tanto espacial como organizacionalmente. Al reunir a los trabajadores en un solo establecimiento, el sistema fabril separó la localización de la producción del sitio de consumo de los bienes producidos. Asimismo, el sistema fabril se distinguió por la división y distribución del trabajo en varias operaciones, concebidas por Andrew Ure (1835) como órganos mecánicos e intelectuales, que debieron organizarse racionalmente para funcionar como un solo cuerpo cooperativo y producir un mismo objeto. Tal funcionamiento coordinado requirió no solo la especialización de los trabajadores, sino también dispositivos destinados a disciplinarlos y vigilarlos, tales como horarios rigurosos de entrada y salida, códigos de comportamiento y reglamentos, entre otros. Para Weber (2012), el sistema fabril pudo aparecer cuando concurrieron

⁶³ No obstante, este recuento convencional tiende a ignorar el contexto global, puesto que la industrialización británica —y europea en general— se benefició del conocimiento, las materias primas y el trabajo esclavo provenientes de las colonias; asimismo, suele desconocer los esfuerzos imperiales que desindustrializaron y desposeyeron a los pueblos sometidos. Por ejemplo, es común que se omita señalar que los ingleses aprendieron de los hindúes a diseñar, hilar y teñir el algodón, y que se atribuya el fracaso de la industria textil de la India a factores sociales o climáticos y no a las documentadas prácticas coloniales que impidieron su expansión para reducir el rol de este país, uno de los más ricos de la época, a la provisión de algodón (Hobsbawm, 2011; Ruiz-Valdepeñas, s.f.). Otro ejemplo proviene de las industrias francesas del siglo XVIII, que prácticamente en su totalidad dependían tanto del tráfico de esclavos como de los bienes provenientes de o destinados a las costas de Guinea o América (Bhambra, 2023).

la disciplina de trabajo, la especialización técnica, la agrupación para el trabajo y la utilización de fuentes de energía no humanas.

El sistema fabril no solo transformó la organización del trabajo, sino que también se convirtió en una poderosa herramienta para elevar la productividad. Esta última puede entenderse como la capacidad de obtener más bienes o servicios con una cantidad dada de recursos, es decir, representa una medida de la eficiencia económica y del aprovechamiento del tiempo y el esfuerzo humanos (Samuelson y Nordhaus, 2010). A inicios del siglo XX, dos modelos de organización laboral profundizaron esta lógica: el taylorismo y el fordismo. Frederick W. Taylor aplicó métodos científicos al trabajo, descomponiendo cada tarea en movimientos elementales para eliminar todos aquellos que no agregaran valor al producto. Henry Ford, por su parte, introdujo la cadena de montaje, la estandarización de piezas y la política de salarios altos para que sus propios obreros pudieran consumir lo que producían (Vázquez-Rodríguez, 2021). De este modo, el taylorismo y el fordismo consolidaron al sistema fabril como el corazón del capitalismo industrial, y al aumento de la productividad como su objetivo último.

1.1. PRODUCTIVISMO Y CONSUMISMO: DERIVAS DEL SISTEMA FABRIL

Con las innovaciones que representaron el taylorismo y el fordismo, el sistema fabril adquirió una velocidad inusitada, gracias a la cual fue posible fabricar en menor tiempo un gran número de productos estandarizados. La producción en masa se logró, en parte, a expensas de la parcelización del trabajo y del disciplinamiento de los cuerpos de obreros y obreras, quienes, al menos inicialmente, reaccionaron a estos métodos con altas tasas de ausentismo, deserción y huelgas (Vázquez-Rodríguez, 2021).

Hacia fines de la década de 1920, el objetivo de las grandes industrias se desplazó de la producción de bienes al aumento de la productividad, lo cual representa el arranque del productivismo como deriva del sistema fabril, por una parte, y del capitalismo industrial como sistema económico hegemónico, por la otra. La carrera —en principio interminable— por incrementar la productividad se mantuvo no solo mediante la incorporación de nuevas tecnologías, sino también a costa de reducir costos y adoptar riesgos. Aumentar la productividad

se volvió el motor de la transformación económica y un factor clave de sobrevivencia para las industrias (Griffon, 2011).

Ineludiblemente, la producción masiva de bienes tuvo que aparejarse de la creación de nuevos mercados de consumidores. Así, el consumismo es la contraparte necesaria del productivismo, ya que colocar en el mercado excedentes de producción ajenos a necesidades reales depende de una incitación activa al consumo superfluo. El consumismo, a su vez, se beneficia de los precios bajos conseguidos por la carrera productivista, con lo que se establece un ciclo vicioso (Figura 1). Para acelerar este ciclo, otras prácticas nefastas —como la obsolescencia programada y los productos descartables o de un solo uso— surgieron en este mismo periodo (Vázquez-Rodríguez, 2021).

En la consolidación del binomio productivismo/consumismo fueron cruciales la explosión de los medios de comunicación masiva y el desarrollo de las técnicas de mercadeo. A partir de 1950 estas se vuelven cruciales para detectar las necesidades de los consumidores y proponer productos que las satisfagan, pero sobre todo para crear deseos, más que nuevas necesidades. El consumismo, por tanto, se asocia a la satisfacción material de deseos infinitamente recreados por el capitalismo. Dado que el volumen y la intensidad de los deseos son aumentados expreso y permanentemente, los objetos pensados para satisfacerlos también son reemplazados *ad infinitum*.

Bajo una óptica productivista, se entiende que la productividad no solo tiene prioridad por sobre la demanda de los bienes producidos, sino también sobre sus consecuencias ambientales y sociales. De hecho, la dupla productivismo/consumismo, que marcó el desarrollo industrial durante el siglo XX, tuvo enormes consecuencias ambientales, entre las que se encuentran el derroche de recursos finitos, así como la contaminación, el cambio climático y el daño a prácticamente todos los ecosistemas (Amate, 2015). Lo anterior confirma que, al dar primacía al incremento en la producción y el margen de ganancias por sobre la contaminación o el despilfarro de recursos, y al perseguir un crecimiento perpetuo que desconoce límites, el binomio productivismo/consumismo es insustentable *per se*.

FIGURA 1. *Ciclo vicioso del binomio productivismo/consumismo.*

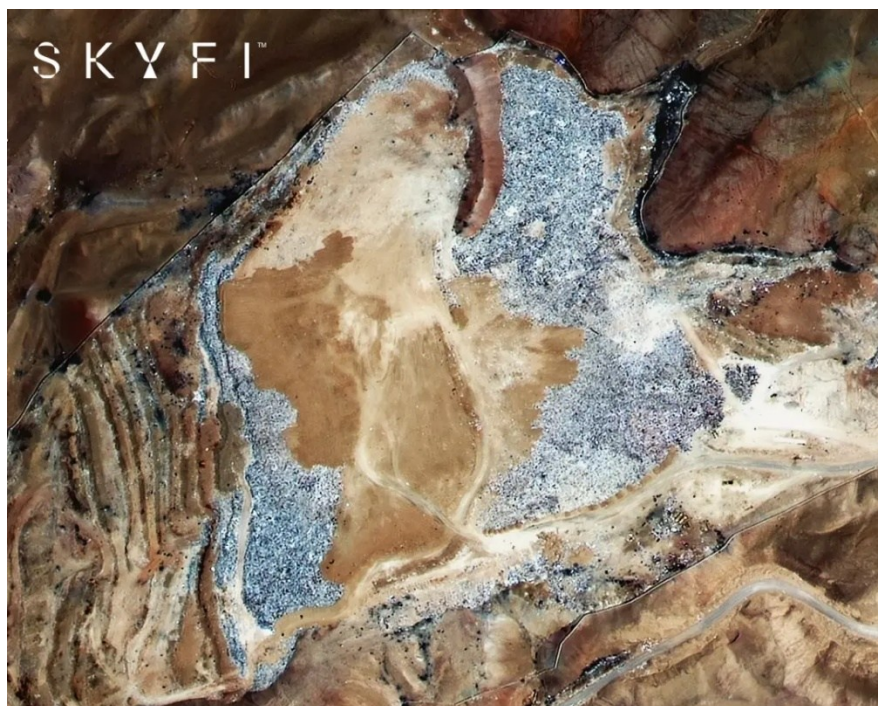


Fuente: Imagen generada con IA. OpenAI (2025).
<https://chat.openai.com/>

En este siglo XXI, han surgido otras prácticas insustentables asociadas al productivismo, tales como la destrucción de productos en perfecto estado. Notoriamente, en el entorno del comercio electrónico, la decisión de destruir productos suele asociarse a la venta de una gran variedad de productos con surtidos voluminosos, o a las existencias con ciclos de vida cortos (Pourhejazy, 2020). Aunque en general existen alternativas frente a la destrucción del inventario, como la venta con descuento, las donaciones o incluso su envío a reciclaje, varios fabricantes de ropa (tanto de lujo como del ramo de la “moda rápida”) entierran o incineran sus excedentes de producción, lo que implica enormes consecuencias ambientales (Figura 2). Solo en Europa, se estima que entre el 4 % y el 9 % de todos los productos textiles comercializados se destruyen antes de su uso, lo que representa entre 264 000 y 594 000 toneladas de textiles destruidos cada año (EEA, 2024). Otros sectores que incurrir en esta práctica son el electrónico y el cosmético: por ejemplo, en

Francia, se destruyen anualmente productos de higiene y belleza no vendidos por valor de 180 millones de euros (Roberts et al., 2023).

FIGURA 2. Imagen satelital muestra la existencia de enormes pilas de ropa no vendida en el desierto de Atacama, en Chile.



Fuente: Jam Press/SkyFi

2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es analizar, mediante una revisión bibliográfica crítica, la producción sostenible o responsable y su contraparte necesaria, el consumo con iguales características, como un paradigma surgido tras las inquietudes ambientalistas del siglo XX. Primeramente, se describirán los cuestionamientos teóricos realizados al productivismo, que incluso son anteriores a la publicación de *Los límites del crecimiento* en 1972 y van hasta la conceptualización de los límites planetarios de Rockström y colaboradores en 2009. En segundo lugar, se presentarán los cambios que estos cuestionamientos originaron en los

sistemas industriales, y que cristalizaron en cuatro enfoques: i) el cumplimiento normativo; ii) la producción basada en la eficiencia; iii) la producción basada en la regeneración; y iv) la producción con tintes decrecentistas. Asimismo, se describirá cómo este imperativo de nuevas formas de producción y consumo ha quedado plasmado en la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la cual plantea, a través del objetivo 12, la producción y consumo responsables como una de las líneas de acción necesarias para alcanzar el desarrollo sostenible. Por último, se hará un breve recuento de lo que se espera de la producción sostenible en este siglo XXI, que deberá ir de la mano de la ética ambiental y la justicia social.

3. DESARROLLO

3.1 SURGIMIENTO DE LA SOSTENIBILIDAD COMO IDEA OPUESTA AL PRODUCTIVISMO

Como ya se expuso, la industria se orientó hacia el productivismo en la primera mitad del siglo XX, lo cual hizo surgir una serie de críticas que se consolidarían, décadas más tarde, en la idea de sostenibilidad. No obstante, es erróneo pensar que esta idea es de reciente aparición. Asegurar la existencia futura de los recursos de los que depende la vida, como el agua o los suelos, era sin duda parte de las preocupaciones cotidianas de las sociedades agrarias antiguas. De lo anterior da constancia el poema de Gilgamesh, obra literaria de más de 4 000 años de antigüedad, que narra la fatalidad que se cierne sobre quienes destruyen recursos tan preciados como los bosques.

El término “sostenibilidad” surge precisamente asociado a los recursos forestales y se menciona por primera vez en *Sylvicultura Oeconomica*, obra del sajón Hans Carl von Carlowitz publicada en 1713. Ahí se plantea la necesidad del “rendimiento sostenido”⁶⁴ (*nachhaltende Nutzung*) de bosques como un equilibrio entre tala y regeneración, de lo cual,

⁶⁴ El rendimiento sostenido de bosques sería entonces un método de tala de madera que permitiera obtener el máximo rendimiento posible, de manera que las generaciones futuras puedan beneficiarse de él al menos tanto como la generación actual.

advertía el autor, dependía la sobrevivencia de la nación y sus futuros habitantes (Grober, 2007). A esta preocupación por la tala desmesurada de bosques se sumó la creciente inquietud por el aumento de la población, que cristalizó en el influyente *Ensayo sobre el principio de la población*, de Thomas Malthus. Esta obra, publicada en 1798, advertía que la presión demográfica podía superar la capacidad de producción alimentaria, por lo cual el aumento de la población humana tenía que ser restringido (Vázquez-Rodríguez et al., 2014).

En el siglo XIX, el filósofo utilitarista John Stuart Mill proponía como fin la búsqueda del mayor bien para la mayoría de las personas, y en *Principios de economía política* (1848) planteaba que la vía era el establecimiento de un “estado estacionario”, que implicaba que el capital y la población debían estabilizarse antes de que la naturaleza lo impusiera (du Pisani, 2006). Con el predominio del carbón como fuente energética, surgieron alertas sobre la posibilidad de su agotamiento, entre las que destacó *El problema del carbón*, obra de W. Stanley Jevons publicada en 1866; en ella se vinculó la supervivencia económica de Inglaterra a la administración prudente de este recurso no renovable. Por su parte, George Perkins Marsh denunció en *Hombr e y naturaleza* (1864) el deterioro ambiental causado por la acción humana, lo cual, advirtió, podría volver la Tierra inhabitable e incluso provocar la extinción de la humanidad. Contra esta catástrofe sugirió varias soluciones, que lo posicionan como un precursor del conservacionismo moderno (Vázquez-Rodríguez et al., 2014). Más adelante, Alfred Russel Wallace, en *El siglo maravilloso* (1898), profundizó en la crítica a la “destrucción imprudente de los productos naturales” y calificó la extracción ilimitada de carbón, petróleo, gas y minerales, así como a la explotación de los bosques tropicales, como un daño irreparable para las generaciones futuras (du Pisani, 2006).

Como sucedió con el carbón, cuando en la primera mitad del siglo XX el petróleo se convirtió en la principal fuente de energía, surgieron preocupaciones por su agotamiento y varios autores se pronunciaron en contra de su derroche (du Pisani, 2006). Igualmente, en la primera mitad del mismo siglo, varios autores insistieron en la necesidad de un uso responsable de los recursos para garantizar la supervivencia de la civilización,

en análisis muy semejantes a los actuales. Entre ellos destaca Glifford Pinchot, quien denunciaba la destrucción de bosques mientras promovía su uso racional (*wise use*, en inglés). Haciendo eco del utilitarismo de John Stuart Mill, Pinchot defendía en su obra *Breaking new ground* (1947) “el uso de los recursos naturales para el mayor bien del mayor número de personas durante el mayor tiempo posible” (Grober, 2007).

Durante el auge económico sin precedentes de las décadas de 1950 y 1960 se fortaleció la expectativa de un crecimiento ilimitado y de una prosperidad cada vez mayor. Sin embargo, hacia finales de los años sesenta comenzaron a emerger cuestionamientos sobre los efectos de ese modelo de progreso, en particular por los daños morales, sociales y ambientales derivados de los avances científicos y tecnológicos. La noción de un progreso continuo empezó a perder atractivo, sobre todo porque el crecimiento industrial y demográfico acelerado eran claramente percibidos como las causas de desastres ecológicos cada vez más visibles. De modo significativo, obras como *Primavera silenciosa* (1962) de Rachel Carson, *La explosión demográfica* (1968) de Paul Ehrlich, *Manifiesto ecologista para la supervivencia* (1972) de Edward Goldsmith y colaboradores o *Lo pequeño es hermoso* (1973) de Fritz Schumacher contribuyeron a difundir la magnitud de la crisis ambiental entre grandes públicos y a que surgiera el movimiento ambientalista actual (du Pisani, 2006).

Este movimiento preparó el terreno para el surgimiento de una reflexión distinta sobre el desarrollo, que cristalizó en 1972 con la publicación del influyente informe del Club de Roma, *Los límites del crecimiento*, elaborado por un equipo de científicos liderado por Donella Meadows. Este estudio, basado en simulaciones de variables como población mundial, producción agrícola, recursos naturales, industrialización y contaminación realizadas con el modelo computacional World3, advertía que si las tendencias de crecimiento exponencial continuaban, en menos de un siglo la humanidad enfrentaría límites insuperables que derivarían en un colapso ambiental y social (Meadows et al., 1972). Aunque varias de las predicciones resultaron erróneas, el informe abrió un debate global acerca de si era posible modificar tales tendencias y alcanzar una condición de estabilidad ecológica y económica capaz de sostenerse a largo plazo y de satisfacer las necesidades básicas de todas las personas.

Durante los años ochenta, la idea de “desarrollo sostenible” recibió un gran impulso institucional por parte de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, creada por la ONU, que en 1987 presentó el informe *Nuestro futuro común*, también conocido como Informe Brundtland. Este documento introdujo de manera decisiva la noción de desarrollo sostenible, definido en ese mismo documento como aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Brundtland, 1987).

Al reconocer la tensión entre desarrollo y protección ambiental, el informe sostuvo que el crecimiento seguía siendo necesario, especialmente en los países en desarrollo, pero debía lograrse en equilibrio con los límites ecológicos. Para ello, el Informe Brundtland articuló el paradigma de la sostenibilidad sobre tres pilares interdependientes: ambiente, economía y sociedad (Brundtland, 1987). Esta idea fue retomada posteriormente por John Elkington hacia 1994 en el concepto de la triple cuenta de resultados (*triple bottom line*, en inglés), que proporcionó un marco innovador de evaluación del desempeño de negocios y corporaciones en tres ejes: ambiental, económico y social (Zarte et al., 2019).

Más recientemente, el concepto de límites planetarios, formulado por Rockström y colaboradores en 2009, marcó un giro respecto a los antiguos debates sobre límites ambientales, al poner el énfasis no tanto en el agotamiento de recursos como en los impactos biofísicos del uso de recursos y del consumo humano. A través del establecimiento de límites planetarios se busca definir “el espacio operativo seguro para la humanidad”, entendido como la permanencia en condiciones similares al Holoceno; permanecer dentro del espacio definido por estas fronteras permitiría que la humanidad persiguiera “un desarrollo social y económico a largo plazo” (Rockström et al., 2009).

Los límites planetarios se establecieron para nueve procesos cruciales de la dinámica no lineal del Sistema Tierra: cambio climático, integridad de la biosfera, uso de agua dulce, cambios de uso de suelo, ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y del fósforo, incorporación de nuevas identidades químicas, carga de aerosoles atmosféricos, acidificación de los océanos, y agotamiento del ozono estratosférico. En la evaluación más reciente, finalmente pudieron diagnosticarse todos los procesos

mencionados, y se concluyó que los únicos límites que no se habían traspasado son los correspondientes a los tres últimos procesos (Richardson et al., 2023).

3.2 ESTRATEGIAS SOSTENIBLES APLICADAS A LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

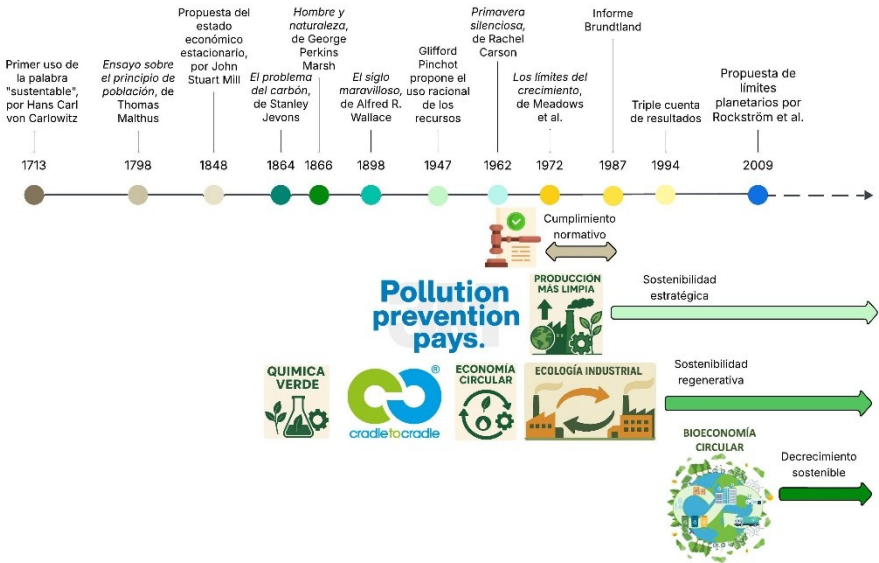
Aunque los problemas ambientales ocasionados por las actividades industriales pueden rastrearse hasta la Revolución Industrial, la identificación clara de estos problemas y el desarrollo de soluciones arrancaron a partir del surgimiento del movimiento ambientalista de la década de 1960 que se señaló antes. No obstante, existen algunas notables excepciones de esfuerzos tempranos de regulación industrial, tales como la Alkali Act (1863), promulgada para restringir las emisiones ácidas de las fábricas productoras de jabones en Gran Bretaña, y la Refuse Act (1899), que prohibía la descarga de materiales en corrientes superficiales y bahías de los E.U.A. para mantenerlas aptas para la navegación (Vázquez-Rodríguez et al., 2014).

A continuación se expondrán las estrategias de sostenibilidad que se han aplicado a los procesos industriales, clasificadas según su principio rector: el cumplimiento normativo, la eficiencia, la regeneración y el decrecimiento económico. En la Figura 3 se presenta la cronología de la aparición de estas estrategias, al lado de las distintas ideas que han moldeado el concepto de sustentabilidad y que se expusieron en la sección precedente.

3.2.1. Cumplimiento normativo

En los albores de 1970, a pesar de que el activismo ambiental y la presión gubernamental eran casi inexistentes, la industria enfrentaba crecientes críticas por los impactos ambientales de sus operaciones, especialmente en sectores como el químico y el petrolero. Sin embargo, se confiaba en las soluciones tecnológicas propias y se consideraba a la contaminación un problema interno. La intervención estatal era percibida como exagerada y poco científica, y la inversión en medidas de control más allá de lo exigido por ley era vista, según resumió el economista Milton Friedman, como “socialismo puro” (Hoffman, 2001).

FIGURA 3. Cronología de las ideas que han contribuido al concepto de sostenibilidad y de las estrategias que se han concebido para aplicarlo a los procesos productivos.



Fuente: Elaboración propia con imágenes generadas con IA.
OpenAI (2025). <https://chat.openai.com/>

La creación de las primeras agencias ambientales, como la estadounidense (en 1970) o la japonesa (en 1971) representó un punto de quiebre, ya que inicialmente se supuso que mediarían entre los cada vez más numerosos activistas y los sectores industriales más cuestionados; estos respondieron con una actitud defensiva y se limitaron al cumplimiento técnico de las normas, que solían considerarse excesivas (Hoffman, 2001). Este periodo de *cumplimiento normativo* era congruente con el consenso general de estos sectores, según el cual la protección al ambiente era, en el mejor de los casos, un mal necesario y, en el peor, una molestia temporal (Ibrahim y Ahmed, 2022). Para ello, el enfoque predominante era el tratamiento de emisiones justo antes de su descarga, lo que frecuentemente se conoce como “control al final de tubería” (*end-of-pipe control*, en inglés).

3.2.2. Sostenibilidad estratégica

En la década de 1980, los grupos ambientalistas incrementaron su influencia directa sobre la industria, lo que la condujo a participar más activamente en la formulación de reglas, adoptar un tono más cooperativo con las autoridades gubernamentales y desarrollar estructuras internas destinadas a ir más allá del mero cumplimiento de normas ambientales. Esta actitud se reforzó con la entrada de inversionistas, aseguradoras y competidores como nuevos actores clave (Hoffman, 2001). Lo anterior, sumado a la difusión del Informe Brundtland⁶⁵, impulsó a la industria hacia una postura proactiva en materia ambiental, incorporando consideraciones ecológicas en sus operaciones básicas y en las decisiones sobre procesos y productos. La sostenibilidad dejó de verse solo como una obligación externa y comenzó a integrarse estratégicamente en la gestión empresarial, marcando el inicio de una etapa de *sostenibilidad estratégica* en que la competitividad y la responsabilidad social se articularon con la protección al ambiente (Figura 3).

Así, a finales de la década de 1980 el rumbo se dirigió del control de emisiones hacia las tecnologías limpias y la prevención de la contaminación (Glavič, 2021), que se popularizó con el lema “la prevención de la contaminación paga” (en inglés, *pollution prevention pays*, o de “las 3P”)⁶⁶. Una de las causas de este cambio de rumbo fue el aumento de los costos del tratamiento de emisiones, que había pasado de 0.8 al 1.7 % del PNB de los países industrializados en el periodo 1972-1986, que a su vez se debió a la adopción de normas ambientales cada vez más estrictas (Hens et al., 2018).

El enfoque conocido como “Producción más limpia” (P+L; en inglés, *Cleaner production*) fue desarrollado por el Programa de las Naciones

⁶⁵ Y quizás también como consecuencia de dos accidentes industriales: el de Industrie Chimiche Meda Società, subsidiaria de Hoffmann-La Roche, en Seveso (Italia) en 1976 y el de Union Carbide en Bhopal (India) en 1984; este último, que ocasionó la muerte de entre 7 000 y 16 000 personas, se considera la mayor catástrofe industrial hasta el momento (Hens et al., 2018).

⁶⁶ En realidad, este lema fue propuesto en 1975 por la compañía 3M para denominar su programa pionero de prevención de la contaminación, a cargo del Dr. Joe Ling. 3M asegura haber lanzado 16 700 proyectos 3P, que previnieron la generación de 2.99 millones de toneladas cortas (una tonelada corta equivale a 2 000 libras, o 907.18 kg) de contaminación (3M, s. f.).

Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA, o UNEP por sus siglas en inglés) mientras se preparaba la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992); se le definió de la siguiente manera:

La Producción más limpia es una estrategia ambiental continua, preventiva e integrada aplicada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia general y reducir los riesgos para las personas y el medio ambiente (UNEP, 1990).

P+L representó uno de los primeros esfuerzos por concretar los principios del desarrollo sostenible en el campo industrial y de los negocios, con la eficiencia como eje articulador. La idea subyacente es que la contaminación resulta de procesos y productos ineficientes desde el punto de vista ambiental, y por ello sus estrategias se dirigieron inicialmente a promover las innovaciones preventivas que maximizaran el uso eficiente de materias primas y energía mientras se minimizara la emisión de contaminantes, por lo que su alcance es eminentemente de nivel micro (Hens et al., 2018). Para ello, se propusieron tres vías principales (Chung, 2006):

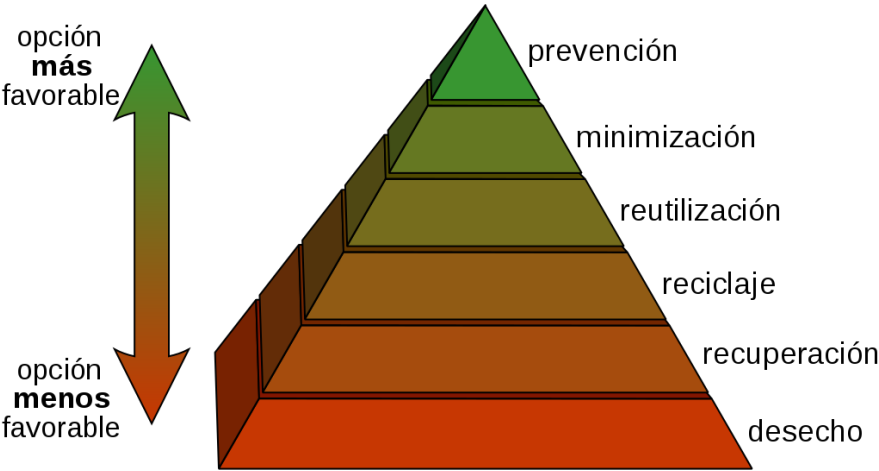
- El cambio de actitudes acerca del proceso, producto o servicio a mejorar.
- La aplicación del conocimiento experto (en inglés, *know-how*) para aumentar la eficiencia, adoptar mejores técnicas de gestión, cambiar las prácticas internas, revisar las políticas, los procedimientos y las instituciones.
- La mejora de la tecnología involucrada a través del rediseño de productos o de procesos de manufactura.

Por su énfasis en la prevención, es decir, por asumir que es preferible evitar que los contaminantes se generen antes que tratarlos en un sistema al final de la tubería, P+L jerarquizó las opciones de mejora de los procesos productivos, lo que frecuentemente se presenta en forma de pirámides⁶⁷ (Figura 4). Las opciones privilegiadas son aquellas que tienden a conservar

⁶⁷ Un antecedente directo de esta jerarquización es la escalera de Lansink, propuesta en 1979 ante el parlamento holandés como un orden preferencial para las opciones de gestión integral de residuos: vertedero, incineración, recuperación de energía, reciclaje, re-úso y reducción, con “vertedero” como la práctica menos aceptable (Lizárraga-Mendiola et al., 2022).

materiales dentro del proceso con la menor inversión energética posible; esta noción se conoce como la regla de las 3R, según la cual la opción de “Reducir” es mejor que “Reusar”, y esta a su vez, que “Reciclar”.

FIGURA 4. Pirámide que muestra la jerarquización de las opciones de manejo de los contaminantes producidos por los procesos productivos.



Fuente: economia-circular.castillalamancha.es/dia-reciclaje

El PNUMA, en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ha promovido la P+L en varios países, en particular en el sur global, a través de la instalación de centros nacionales. Actualmente existen 47 centros de este tipo en operación (UNIDO, 2025).

3.2.3 Sostenibilidad regenerativa

En los últimos años, se ha ido consolidando la idea de que los graves problemas ambientales que hoy enfrenta la humanidad requieren soluciones que vayan más allá de simplemente minimizar riesgos. Para amplios sectores sociales, los procesos productivos deberían adoptar estrategias con mayor alcance y que impacten positivamente el entorno. Ya no solo se trata de preservar los recursos existentes y de causar el menor daño posible, sino de regenerar los ecosistemas y las comunidades afectados por la actividad industrial. Este nuevo enfoque abreva de prácticas agrícolas ancestrales, la agroecología y la permacultura, lo que en

conjunto se denomina “agricultura regenerativa”. Estas prácticas tienen un fuerte componente ético, ya que se basan en el respeto al suelo como sustento de la vida, por una parte, y a la interdependencia entre éste y los demás seres vivos (Dhanani, 2023).

Así, han surgido una serie de iniciativas que buscan que los sistemas naturales adquieran las capacidades necesarias para crecer en complejidad, diversidad y habilidad para soportar la vida; se inspiran en los ciclos biogeoquímicos, en los que todas las especies, incluyendo la humana, son interdependientes, evolucionan y producen más de lo que consumen (Ibrahim y Ahmed, 2022). Entre sus principios se encuentran, además de la restauración de ecosistemas, la construcción de resiliencia, los ciclos cerrados de recursos que imitan a los naturales, el empoderamiento comunitario y el diseño holístico.

Las primeras aplicaciones de la sustentabilidad regenerativa se dieron, como ya se dijo, en el campo de la agricultura, a las que siguió el movimiento de la arquitectura regenerativa (Dhanani, 2023). En el ámbito de la actividad industrial, destacan las propuestas de la Química y la Ingeniería verdes, *Cradle-to-cradle*, la Economía Circular y la Ecología Industrial, que se describirán brevemente a continuación.

La Química Verde busca desarrollar sustancias y procesos químicos seguros, eficientes y con bajo impacto ambiental. Desde que Anastas y Warner (2000) propusieron los 12 principios de la Química Verde, se estableció la necesidad de evaluar cuidadosamente los efectos sobre la salud y el ambiente a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos químicos, desde su diseño y producción hasta su uso y disposición final. Con ello, se abarcaron aspectos adicionales a la síntesis y purificación de sustancias, tales como la catálisis y el diseño molecular. La Ingeniería Verde, por su parte, va más allá del diseño de reacciones químicas seguras, y se enfoca en el diseño y operación de productos y procesos industriales que sean económica, y técnicamente viables, y que sean seguros desde la perspectiva ambiental. Para ello, integra los 12 principios ya mencionados con herramientas de ingeniería de procesos, análisis de ciclo de vida, eficiencia energética, diseño de reactores, escalamiento industrial y gestión sostenible (Anastas y Zimmerman, 2003).

El enfoque *Cradle-to-Cradle* (CtC, en español, “de la cuna a la cuna”), desarrollado por William McDonough y Michael Braungart a inicios de la década de 2000, propone un cambio de paradigma en el diseño y producción de bienes inspirado en los ciclos biogeoquímicos. La finalidad es diferenciarse del modelo lineal *cradle-to-grave* (“de la cuna a la tumba”, en español), en el que los productos se fabrican, consumen y finalmente se desechan, a través de la concepción de los productos como si se tratase de nutrientes, que en los ciclos naturales no se desperdician. Este enfoque promueve el diseño de productos que no incorporen sustancias tóxicas, eficaces y pensados para su desmontaje y reuso, evitando así la generación de residuos como externalidad inevitable. Además, CtC busca integrar criterios de eficiencia energética, el uso de energías renovables y la justicia social, por lo que se sitúa como una estrategia central para la transición hacia una producción sustentable a largo plazo (McDonough y Braungart, 2002).

En cuanto a la Economía Circular, se trata de un modelo impulsado por la Fundación Ellen McArthur que busca desacoplar el crecimiento económico basado en el esquema lineal de “extraer–producir–desechar” mediante el cierre de ciclos materiales. Los residuos se convierten en un material secundario derivado de cada fase del ciclo de vida de los productos, que puede reorientarse hacia el mismo proceso de producción o hacia otros, utilizarse para la producción de energía o para nuevas aplicaciones; de esta manera, la disposición final de los residuos en vertederos es sólo una opción marginal para aquella fracción de residuos que no puede reintroducirse en este sistema “circularizado” (Lizárraga-Mendiola et al., 2022).

La **Economía Circular** puede entenderse como una ampliación de la regla de las **3R** hacia un marco de hasta **10R**, también jerarquizadas, que van desde la **“Recuperación energética”** y el **“Reciclaje”** hasta el **“Rechazo” de insumos tóxicos** y el **“Rediseño”** de productos, pasando por la **“Remanufactura”**, **“Reparación”** y **“Reuso”** (SEMARNAT, 2024). **La estrategia de mayor jerarquía es la “Regeneración” de los sistemas naturales.** Además, en contraposición a las prácticas productivistas ya descritas al inicio de este trabajo, se enfatiza la necesidad de **“Reducir”** excedentes de producción y **“Rechazar” productos derivados de la obsolescencia programada.** Este modelo distingue, además, entre ciclos

biológicos, en los que los materiales retornan de manera segura a la biosfera en un tiempo corto, y ciclos técnicos, que buscan mantener productos, componentes y materiales en uso el mayor tiempo posible mediante la recuperación y el rediseño (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Finalmente, la Ecología Industrial se trata de un campo interdisciplinario que estudia los flujos de materiales y energía en los sistemas industriales, con el fin de hacerlos más eficientes y sostenibles. También inspirado en los ciclos naturales, este enfoque propone que los residuos de un proceso se conviertan en insumos de otro, para reducir el consumo de recursos y la generación neta de residuos (Erkman, 1997). Se impulsa así el diseño de sistemas productivos integrados a nivel local, donde empresas, comunidades y gobiernos colaboran en parques industriales o clústeres empresariales para optimizar el uso de recursos y minimizar impactos ambientales. En este sentido, constituye una estrategia con mayor alcance que los enfoques previamente mencionados, cuya implementación y efectos son predominantemente de microescala (SEMARNAT, 2024).

3.2.4 Decrecimiento sostenible

Siguiendo una línea de pensamiento que se remonta a Thomas Malthus, se volvió global con la publicación de *Los límites del crecimiento* (1972) y se concretó en los nueve límites planetarios de Rockström y colaboradores (2009), varios autores sostienen que las actividades humanas acabarán enfrentándose a los límites infranqueables de los recursos naturales disponibles. Consideran también que las estrategias para desvincular la actividad económica de los impactos ambientales han fracasado y que el tan acariciado crecimiento económico sigue sin cumplir su promesa de un bienestar social generalizado (Cosme et al., 2017). Según esta perspectiva, ya no debe perseguirse el “crecer por crecer”, sino el bienestar humano, las relaciones sociales y una distribución del trabajo adecuada, para lo cual debe tenderse a un declive económico. Esta postura es defendida por representantes de la economía ecológica tales como Nicholas Georgescu-Roegen, Serge Latouche, Manfred Max-Neef y Joan Martínez-Alier, entre otros. Este último autor define al decrecimiento como la búsqueda para construir, de forma voluntaria, una sociedad mejor y crear un nuevo modelo

posdesarrollo que sea socialmente justo y se ajuste a los límites ecológicos (Martínez-Alier et al., 2010).

El decrecimiento ha sido cuestionado por su aparente ambigüedad (Cosme et al., 2017) y suele ser calificado como un oxímoron en la sociedad capitalista actual (Khmara y Kronenberg, 2018), por lo que son escasos los trabajos en que se precisan líneas o programas de acción con esta perspectiva. No obstante, en el campo de la producción agrícola, Hoehn et al. (2021) introducen la perspectiva del decrecimiento en el debate sobre las políticas de economía circular aplicadas a la producción de alimentos y la gestión de residuos. Estos autores sostienen que las estrategias actuales suelen hacer hincapié en la eficiencia tecnológica y el reciclaje, pero no abordan los factores estructurales que impulsan el productivismo y el consumismo. Desde el punto de vista del decrecimiento, la producción sostenible requiere no solo minimizar la pérdida y el desperdicio de alimentos, sino también cuestionar la lógica orientada al crecimiento de los sistemas agroalimentarios. Utilizan como meta el concepto de Bioeconomía Circular, que se refiere al segmento de la Economía Circular que permite alcanzar la neutralidad de carbono y cumplir con los compromisos del Acuerdo de París; se basan también en la estrategia de las 4R propuesta por Latouche (2006): reterritorialización de la producción, revegetarianización de la dieta, relocalización de mercados y reestacionalización del consumo. Este cambio implica dar prioridad a la biodiversidad, la regeneración del suelo y la salud de los ecosistemas por encima de la producción agrícola y el beneficio económico. Este trabajo muestra que el decrecimiento ofrece un marco más transformador para la sostenibilidad, que desafía los límites de los enfoques dominantes de la Economía Circular y hace hincapié en la resiliencia ecológica (Hoehn et al. (2021).

Por otra parte, se han iniciado esfuerzos por compaginar la perspectiva del decrecimiento sostenible con el marco teórico de los límites planetarios, y se ha planteado la necesidad de construir límites sociales de manera democrática y transdisciplinaria (Brand et al., 2021). Este enfoque destaca la necesidad de integrar bienestar y sostenibilidad desde experiencias pluriversales, reconociendo la importancia del Estado y de enfoques radicales alternativos para redefinir el bienestar. Al mismo

tiempo, introduce el concepto de libertad social entendido como el derecho a no vivir a costa de otros, lo que fortalece la crítica decrecentista al modelo de crecimiento ilimitado y abre un espacio de diálogo hacia sociedades más justas y solidarias.

3.3 PRODUCCIÓN Y CONSUMO SOSTENIBLES

El concepto de “Producción y consumo responsables” (o sostenibles) surge como respuesta al binomio productivismo/consumismo; es decir, tras el reconocimiento de que los patrones convencionales de producción industrial y consumo crecientes generan impactos ambientales graves (agotamiento de recursos, contaminación, generación de residuos) y amplias desigualdades sociales (Figura 5).

FIGURA 5. *Ciclo virtuoso del binomio producción responsable/consumo responsable.*



Fuente: Imagen generada con IA.
OpenAI (2025). <https://chat.openai.com/>

En la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992, y más tarde en otros foros internacionales como la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo (2002), se enfatizó la necesidad de adoptar modelos económicos y de consumo que redujeran esas externalidades negativas (ONU, 2015). Este objetivo quedó formalizado en 2015

como el objetivo 12 de la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU: “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” (ONU, s. f.). En su definición, se promueve la eficiencia en el uso de recursos y energía, la necesidad de infraestructura sostenible, acceso a servicios básicos, empleos verdes y una mejor calidad de vida para todos; su intención es “hacer más y mejor con menos”, reduciendo el uso de recursos, degradación y contaminación a lo largo del ciclo de vida de productos (ONU, s. f.).

El ODS 12 reconoce que el cumplimiento de patrones de producción y consumo sostenibles no depende únicamente de la innovación tecnológica o de las políticas públicas, sino también de la ética y la responsabilidad compartida de productores y consumidores. Desde la perspectiva empresarial, implica asumir la obligación de diseñar productos con menor impacto ambiental, fomentar cadenas de suministro transparentes y adoptar principios de Economía Circular que reduzcan el desperdicio. Por parte de los consumidores, la responsabilidad se traduce en decisiones de compra conscientes, preferencia por bienes duraderos y sostenibles, y en la reducción del consumo superfluo. Este vínculo ético es central para transformar la cultura del consumo y promover una economía donde la calidad de vida no se mida únicamente por el crecimiento material, sino también por la justicia social y el respeto a los límites planetarios (ONU, 2015). Así, la ética del productor y del consumidor constituye un pilar fundamental para materializar el ODS 12 como una estrategia de transición hacia la sostenibilidad.

La ética del consumo se relaciona con la perspectiva del decrecimiento sostenible a través de la idea de la autolimitación voluntaria, entendida como la decisión consciente de reducir el consumo y el uso de recursos más allá de lo que imponen las regulaciones o el mercado. Esta práctica implica cuestionar la noción de bienestar basada en la acumulación material y optar por estilos de vida más sobrios y responsables, en línea con los principios del ODS 12. Desde la ética, la autolimitación supone asumir la corresponsabilidad frente a los límites planetarios y la justicia intergeneracional (Latouche, 2009). Empero, su adopción plantea retos significativos: la resistencia cultural en sociedades orientadas al consumo, la presión de los modelos económicos productivistas y la

necesidad de políticas que faciliten alternativas sostenibles accesibles para todos (Kallis, 2018). En este sentido, la autolimitación voluntaria no solo se convierte en una estrategia individual, sino también en un desafío colectivo que demanda transformaciones profundas en los valores sociales y en las estructuras de producción y consumo.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar el surgimiento, las transformaciones y los horizontes de la producción sostenible, que se contrastaron con la lógica insustentable que ha marcado la historia de la industria moderna. Se mostró cómo la Revolución Industrial sentó las bases del sistema fabril y, con él, de las derivas del productivismo y el consumismo, un binomio que configuró un ciclo vicioso de producción masiva y consumo inducido, con altos costos ambientales y sociales. La reflexión histórica permitió identificar cómo, a lo largo de los siglos XVIII, XIX y XX, fueron emergiendo cuestionamientos teóricos y prácticos que desembocaron en el paradigma de la sostenibilidad, consolidado con el Informe Brundtland y más tarde con el concepto de límites planetarios.

A partir de ello, se revisaron las principales estrategias aplicadas a la producción industrial: el cumplimiento normativo, orientado inicialmente al control de emisiones; la producción más limpia, que trasladó la atención hacia la eficiencia y la prevención; la sostenibilidad regenerativa, que busca no solo minimizar daños, sino restaurar ecosistemas y comunidades; y, finalmente, la perspectiva del decrecimiento, que plantea la necesidad de autolimitación y transformación de los valores dominantes del sistema económico.

Estas estrategias se enlazan con la producción y consumo responsables, hoy plasmados en el ODS 12 de la Agenda 2030 de la ONU, que incorporan tanto la innovación tecnológica como la ética y la responsabilidad compartida de productores y consumidores. La noción de autolimitación voluntaria refuerza este marco, al subrayar la necesidad de reducir el consumo más allá de lo impuesto por el mercado, y enfrentar así los retos culturales, económicos y políticos de sociedades orientadas al

crecimiento ilimitado. En conjunto, este análisis confirma que avanzar hacia una producción y un consumo sostenibles requiere superar la lógica del crecimiento perpetuo y apostar por un modelo que articule justicia social, equidad intergeneracional y respeto a los límites planetarios, con lo cual se abre el horizonte de la sustentabilidad en el siglo XXI.

REFERENCIAS

- Amate, J. I. (2015). El consumo de recursos en el siglo XX. Una revisión. *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista de la SOLCHA*, 4(1), 5–32
- Anastas, P. T., Warner, J. C. (2000). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press
- Anastas, P. T., Zimmerman, J. B. (2003). Design through the Twelve Principles of Green Engineering. *Environmental Science & Technology*, 37(5), 94A–101A
- Bhambra, G. K. (2023). *Rethinking modernity: Postcolonialism and the sociological imagination*, 2nd. edition. Palgrave Macmillan
- Brand, U., Muraca, B., Pineault, É., Sahakian, M., Schaffartzik, A., Novy, A.,... Görg, C. (2021). From planetary to societal boundaries: an argument for collectively defined self-limitation. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 17(1), 264-291
- Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press
- Chung, I. (2006). Acuerdos Ambientales y Producción más Limpia. United Nations Environmental Programme. <http://bit.ly/4gUBcpo>
- Cosme, I., Santos, R., O'Neill, D. W. (2017). Assessing the degrowth discourse: A review and analysis of academic degrowth policy proposals. *Journal of Cleaner Production*, 149, 321-334
- de Lorenzo, J. (2020). *Un mundo de artefactos*. Trotta
- Dhanani, R. (2023). The history of regenerative sustainability. <http://bit.ly/3KtNGrE>
- du Pisani, J. A. (2006). Sustainable development – historical roots of the concept. *Environmental Sciences*, 3 (2), 83-96
- EEA (2024). Volumes and destruction of returned and unsold textiles in Europe's circular economy. ETC CE Report 2024/4. European Environment Agency. <http://bit.ly/3IObRR4>

- Ellen MacArthur Foundation (2013). *Towards the Circular Economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation
- Erkman, S. (1997). Industrial ecology: An historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 1–10
- Glavič, P. (2021). Evolution and current challenges of sustainable consumption and production. *Sustainability*, 13(16), 9379
- Griffon, M. (2011). Productivité n'est pas productivisme (introduction). *Revue Projet*, 324325 (5), 24-27
- Grober, U. (2007). Deep roots - a conceptual history of 'sustainable development' (Nachhaltigkeit). Discussion Papers. Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH. <http://bit.ly/4nkBxnz>
- Hens, L., Block, C., Cabello-Eras, J. J., Sagastume-Gutiérrez, A., García-Lorenzo, D., Chamorro, C., Herrera-Mendoza, K., Haeseldonckx, D., Vandecasteele, C. (2018). On the evolution of “Cleaner Production” as a concept and a practice. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3323-3333
- Hobsbawm, E. J. (2011). *En torno a los orígenes de la Revolución Industrial*. Siglo XXI Editores
- Hoehn, D., Laso, J., Margallo, M., Ruiz-Salmón, I., Amo-Setién, F. J., Abajas-Bustillo, R., Sarabia, C., Quiñones, A., Vázquez-Rowe, I., Bala, A., Batlle-Bayer, L., Fullana-i-Palmer, P., Aldaco, R. (2021). Introducing a Degrowth Approach to the Circular Economy Policies of Food Production, and Food Loss and Waste Management: Towards a Circular Bioeconomy. *Sustainability*, 13(6), 3379
- Hoffman, A. J. (2001). *From heresy to dogma: An institutional history of corporate environmentalism*. Stanford University Press
- Ibrahim, I., Ahmed, N. (2022). Investigating regenerative ideation within sustainable development goals. *Sustainability*, 14(16), 10137
- Kallis, G. (2018). *Degrowth*. Agenda Publishing
- Khmara, Y., Kronenberg, J. (2018). Degrowth in business: An oxymoron or a viable business model for sustainability?. *Journal of Cleaner Production*, 177, 721-731
- Latouche, S. (2006). *Le pari de la Décroissance*. Fayard
- Latouche, S. (2009). *Pequeño tratado del decrecimiento sereno*. Icaria
- Lizárraga-Mendiola, L., López-León, L. D., Vázquez-Rodríguez, G. A. (2022). Municipal solid waste as a substitute for virgin materials in the construction industry: A review. *Sustainability*, 14(24), 16343

- Martínez-Alier, J., Pascual, U., Vivien, F.-D., Zaccai, E. (2010). Sustainable de-growth: mapping the context, criticisms and future prospects of an emergent paradigm. *Ecological Economy*, 69, 1741e1747
- McDonough, W., Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth: A report to the Club of Rome*. Universe Books
- Melià-Seguí, J., Tuset-Peiró, P. (2019). Introducció a la indústria 4.0. Universitat Oberta de Catalunya
- ONU (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas
- ONU (s. f.). Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Organización de las Naciones Unidas. <http://bit.ly/3IzPYVN>
- Pourhejazy, P. (2020). Destruction decisions for managing excess inventory in e-commerce logistics. *Sustainability*, 12(20), 8365
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F.,... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458
- Roberts, H., Milios, L., Mont, O., Dalhammar, C. (2023). Product destruction: Exploring unsustainable production-consumption systems and appropriate policy responses. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 300-312
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F.,... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475
- Ruiz-Valdepeñas, A. (s.f.). Los orígenes de la Revolución Industrial. *Hastapenak: Revista de Historia Contemporánea y Tiempo Presente*. <http://bit.ly/4nkF0T7>
- Samuelson, P., Nordhaus, W. (2010). *Macroeconomía con aplicaciones en Latinoamérica*. Mc Graw Hill
- SEMARNAT (2024). Bases para la elaboración de un diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://bit.ly/3Wi4Hrq>
- 3M (s. f.). Our global impact – Sustainability. <http://bit.ly/3IDCo3K>
- UNEP (1990). *Environmental Auditing*. United Nations Environmental Programme
- UNIDO (2025). *What are NCPCs?* United Nations Industrial Development Organization. <http://bit.ly/4nMGzsK>

- Ure, A. (1835). *The Philosophy of Manufactures, or an exposition of the scientific, moral, and commercial economy of the factory system of Great Britain*. Charles Knight
- Vázquez-Rodríguez, G. A., Lucho-Constantino, C., Olivares, C. C. y Beltrán-Hernández, R. I. (2014). Esbozo histórico de las ciencias ambientales I. De Hipócrates a *Primavera Silenciosa*. *Pädi - Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 2(3)
- Vázquez-Rodríguez, G. A. (2021). Productivismo: Una genealogía de la insustentabilidad industrial. *Memorias del III Congreso Virtual Desarrollo Sustentable y Desafíos Ambientales “El ambiente, los problemas ambientales y la pos-pandemia”*. Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios, 8-18 de noviembre, pp. 886-899. <http://bit.ly/4724Cye>
- noviembre, pp. 886-899. <http://bit.ly/4724Cye>
- Weber, M. (2012). *Historia económica general*. Fondo de Cultura Económica
- Zarte, M., Pechmann, A., Nunes, I. L. (2019). Decision support systems for sustainable manufacturing surrounding the product and production life cycle—A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 219, 336-349

