

INNOVACIÓN DOCENTE E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS, INGENIERÍA Y ARQUITECTURA: DESAFÍOS DE LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Comps.

María del Mar Molero Jurado

José Jesús Gázquez Linares

África Martos Martínez

Pablo Molina Moreno

Silvia Fernández Gea

Dykinson, S.L.

**Innovación Docente e Investigación en Ciencias,
Ingeniería y Arquitectura: Desafíos de la
Enseñanza y Aprendizaje en la Educación
Superior**

Comps.

María del Mar Molero Jurado

José Jesús Gázquez Linares

África Martos Martínez

Pablo Molina Moreno

Silvia Fernández Gea

© Los autores. NOTA EDITORIAL: Las opiniones y contenidos de los textos publicados en el libro “Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura: Desafíos de la Enseñanza y Aprendizaje en la Educación Superior”, son responsabilidad exclusiva de los autores; así mismo, éstos se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado en otro lugar, así como los referentes a su investigación.

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por ningún medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Editorial DYKINSON, S.L. Meléndez Valdés, 61 - 28015 Madrid
Teléfono (+34) 91 544 28 46 - (+34) 91 544 28 69
e-mail: info@dykinson.com
<http://www.dykinson.es>
<http://www.dykinson.com>
Consejo Editorial véase www.dykinson.com/quienessomos
Madrid, 2024

ISBN: 978-84-1070-925-6

DOI: 10.14679/3760

Preimpresión realizada por los autores

CAPÍTULO 1

DEL MATERIAL AL PROYECTO: ESTRATEGIAS DE CONTINUIDAD EN LA ENSEÑANZA DE LA ARQUITECTURA

ALEJANDRO JESÚS GONZÁLEZ CRUZ Y FEDERICO LUIS DEL BLANCO GARCÍA 11

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍA EDUCATIVA Y DATOS ABIERTOS: FOMENTANDO LA ÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN COMUNIDADES RESILIENTES DE OAXACA, MÉXICO

FABIOLA COLMENERO FONSECA, AMPARO BORRELL TOMÁS, RUT BENAVENTE MARTÍNEZ, Y RAMIRO RODRÍGUEZ-PÉREZ29

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LAS COMPETENCIAS DOCENTES DE LOS FORMADORES DE DOCENTES

CRISTINA BORJA TOMÁS, ASUNCIÓN RÍOS JIMÉNEZ, JAVIER MULA FALCÓN, Y MARTA GARCÍA JIMÉNEZ47

CAPÍTULO 4

MINERÍA Y QUÍMICA (MIQUI): SOSTENIBILIZACIÓN CURRICULAR Y PRÁCTICAS DOCENTES MULTIDISCIPLINARES APLICADAS A TITULACIONES DE INGENIERÍA

VICENTE AGUSTÍN LÓPEZ SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, MARÍA TERESA COTES PALOMINO, CARMEN MARTÍNEZ GARCÍA, Y ANA BELÉN LÓPEZ GARCÍA57

CAPÍTULO 5

JUEGOS DE CONSTRUCCIÓN: COMPONENTES Y CONEXIONES. HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE EN ARQUITECTURA

ALEJANDRO JESÚS GONZÁLEZ CRUZ Y FEDERICO LUIS DEL BLANCO GARCÍA 73

CAPÍTULO 6

MÁS ALLÁ DE LAS AULAS: ESPACIO FÍSICO E INNOVACIÓN DOCENTE EN EL SIGLO XXI

CORO VILALLONGA LÓPEZ-IZQUIERDO Y PABLO CAMPOS CALVO-SOTELO87

CAPÍTULO 7

GENERATIVE AI AS A CATALYST FOR CREATIVITY AND LEARNING IN INDUSTRIAL DESIGN

ESTHER CAMPOS SERRULLA 101

CAPÍTULO 8

THE ROLE OF HANDS-ON LEARNING IN ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION

ÁNGEL PAREDES PARRILLA 113

CAPÍTULO 9

ELECTROHACK: FOSTERING ELECTRICAL ENGINEERING SKILLS THROUGH HANDS-ON CHALLENGES

ÁNGEL PAREDES PARRILLA 127

CAPÍTULO 10

DESARROLLO TEÓRICO DEL TEMA SOBRE SPLINES CÚBICOS DE CLASE 2 CON LA AYUDA DEL MODULO SYMPY DE CÁLCULO SIMBÓLICO DE PYTHON

PEDRO GONZÁLEZ RODELAS Y FRANCISCO MIGUEL GARCÍA OLMEDO 139

CAPÍTULO 11

UN PROYECTO PARA MEJORAR LA VISUALIZACIÓN ESPACIAL A TRAVÉS DE LAS TIC

ÉRIKA DIZ PITA Y GONZALO CASTIÑEIRA VEIGA..... 159

CAPÍTULO 12

ESTRATEGIAS GRÁFICAS DE APROXIMACIÓN AL DIBUJO DE LA CIUDAD A TRAVÉS DE ESTUDIOS DE SOLEAMIENTO

JUAN UTIEL GONZÁLEZ y ROCÍO CARVAJAL ALCAIDE..... 173

CAPÍTULO 13

MEJORA DE LAS PRÁCTICAS DOCENTES DE ELECTRÓNICA DE ALTA FRECUENCIA MEDIANTE EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE MICROONDAS

HÉCTOR GARCÍA MARTÍNEZ 181

CAPÍTULO 14

VODCAST COMO HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA DE APRENDIZAJE Y DIFUSIÓN DE CONOCIMIENTOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

ELIZABETH BLÁZQUEZ GÓMEZ..... 191

CAPÍTULO 15

LA ENCUESTA DE MOVILIDAD DOMICILIARIA: APORTACION A LA SOCIOLOGÍA

MARÍA DEL MAR LLOPIS ORREGO203

CAPÍTULO 16

P-GPT: UN MODELO DE LENGUAJE DE GRAN TAMAÑO PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE PROPUESTAS DE TRABAJO FIN DE TÍTULO

JOSÉ LUIS LÓPEZ RUIZ, JUAN FRANCISCO GAITÁN GUERRERO, ANTONIO PEDRO ALBÍN RODRÍGUEZ, DAVID DÍAZ JIMÉNEZ, Y MACARENA ESPINILLA.....217

CAPÍTULO 17

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS SIMULADORES SIM 8085 Y RIPES EN LA ENSEÑANZA DE ARQUITECTURA DE COMPUTADORES

JOSÉ LUIS LÓPEZ RUIZ, DAVID DÍAZ JIMÉNEZ, ANTONIO PEDRO ALBÍN RODRÍGUEZ, JUAN FRANCISCO GAITÁN GUERRERO, Y MACARENA ESPINILLA235

CAPÍTULO 18

LA CIUDAD COMO PRÁCTICA DIDÁCTICA: ITINERARIOS PARA ENTRENAR LA PERCEPCIÓN DEL PAISAJE URBANO EN MADRID

ROCÍO SANTO-TOMÁS MURO, EVA J. RODRÍGUEZ ROMERO, E IVÁN GONZÁLEZ TRUCO247

CAPÍTULO 19

LA ENSEÑANZA INVERTIDA: UN NUEVO PARADIGMA EN LA EDUCACIÓN TÉCNICA SUPERIOR

RAFAEL MONGE PALMA, DANIEL CASTRO MEDINA, MARÍA DE LA PAZ MONTERO GUTIÉRREZ, TERESA PALOMO AMORES, Y MARÍA DEL CARMEN GUERRERO DELGADO257

CAPÍTULO 20

CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS DE ARTE URBANO: ESTRATEGIAS DE REGENERACIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO EN EL TIEMPO

JOSÉ JUAN VILA SAN JOSÉ267

CAPÍTULO 21

EVALUACIÓN DE LAS PRUEBAS DE ACCESO A LA UNIVERSIDAD EN LA ASIGNATURA DE QUÍMICA EN EL MARCO DE LA TAXONOMÍA DE BLOOM

JOSÉ MANUEL VILA ABAD, ANA ISABEL ARES PERNAS, JUAN MANUEL ORTIGUEIRA AMOR, FÁTIMA LUCIO MARTÍNEZ, JESÚS JOSÉ FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, Y DIGNA VÁZQUEZ GARCÍA 281

CAPÍTULO 22

DISPARIDADES DE GÉNERO EN INGENIERÍA DE SOFTWARE: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

MARLENE VALERIA NEGRIER SEGUEL, ANA DEL PILAR BUSTAMANTE MORA, Y JORGE HOCHSTETTER..... 291

CAPÍTULO 23

DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE FORMACIÓN PARA EL EJERCICIO PROFESIONAL EN EL CAMPO DE LA FISIOLOGÍA VEGETAL

CAROLINA SÁNCHEZ ROMERO Y MIGUEL ÁNGEL QUESADA FELICE 305

CAPÍTULO 24

METODOLOGÍAS ÁGILES EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE UNIVERSITARIO DE LA ARQUITECTURA

AIDA NAVARRO REDÓN 315

CAPÍTULO 25

BOTÁNICA PRÁCTICA: UN ENFOQUE DE APRENDIZAJE SERVICIO A TRAVÉS DE LAS PRÁCTICAS CURRICULARES

ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI, CLARA RUBIO REINARES, ESTRELLA ALFARO SAIZ, RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ, ANA PAULA MELERO CASTELLOT, RAÚL LOIS MADERA, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ANA MARÍA VEGA MARAY, Y CARMEN ACEDO 325

CAPÍTULO 26

URBANKEA: HERRAMIENTA DIDÁCTICA EN INGENIERÍA PARA LA ADAPTACIÓN CLIMÁTICA DE ENTORNOS URBANOS

MARÍA DE LA PAZ MONTERO GUTIÉRREZ, TERESA PALOMO AMORES, RAFAEL MONGE PALMA, DANIEL CASTRO MEDINA, Y MARÍA DEL CARMEN GUERRERO DELGADO..... 335

CAPÍTULO 27

FICHAS BOTÁNICAS: REVELANDO LA BIODIVERSIDAD DE NUESTRO ENTORNO

SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ESTRELLA ALFARO SAIZ, CLARA RUBIO REINARES, RAUL LOIS MADERA, ANA PAULA MELERO CASTELLOT, RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ANA MARÍA VEGA MARAY, CARMEN ACEDO, Y ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI349

CAPÍTULO 28

BOTÁNICA Y SALUD: UN PROYECTO DE APRENDIZAJE-SERVICIO EN LA PREVENCIÓN DE LAS ALERGIAS RESPIRATORIAS

ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ANA MARÍA VEGA MARAY, RAUL LOIS MADERA, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ESTRELLA ALFARO SAIZ, RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ, ANA PAULA MELERO CASTELLOT, CLARA RUBIO REINARES, CARMEN ACEDO, Y ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI359

CAPÍTULO 29

INNOVACIÓN EN EDUCACIÓN: BIOMARATÓN EN ACCIÓN

ESTRELLA ALFARO SAIZ, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ANA PAULA MELERO CASTELLOT, CLARA RUBIO REINARES, CARMEN ACEDO, RAÚL LOIS MADERA, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ, ANA MARÍA VEGA MARAY, Y ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI.....373

CAPÍTULO 30

INTEGRANDO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL AULA DE INGENIERÍA: ANÁLISIS EN MECÁNICA DE SÓLIDOS

SARA JIMÉNEZ ALFARO, MARÍA TERESA ARANDA ROMERO, Y MARÍA DE LOS ÁNGELES HERRERA GARRIDO387

CAPÍTULO 31

ESCAPE ROOM SEGURALI: SEGURIDAD ALIMENTARIA, ALIMENTACIÓN E HIGIENE DE LOS ALIMENTOS

SARAH PANERA MARTÍNEZ, CRISTINA RODRÍGUEZ MELCÓN, CARLOS ALONSO CALLEJA, Y ROSA CAPITA GONZÁLEZ399

CAPÍTULO 32

¡LIQUENÉDEX, HAZTE CON TODOS! NUEVAS METODOLOGÍAS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS LÍQUENES

RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ANA PAULA MELERO CASTELLOT, CLARA RUBIO REINARES, RAÚL LOIS MADERA, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ESTRELLA ALFARO SAIZ, CARMEN ACEDO, ANA MARÍA VEGA MARAY, Y ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI 409

CAPÍTULO 33

CONCIENCIANDO: UN PASO MÁS EN EL APRENDIZAJE-SERVICIO

ANA PAULA MELERO CASTELLOT, ANA MARÍA VEGA MARAY, ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI, RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ, CARMEN ACEDO, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, CLARA RUBIO REINARES, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ESTRELLA ALFARO SAIZ, Y RAÚL LOIS MADERA 421

CAPÍTULO 34

PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON OPENSSE EN ASIGNATURAS DE ÁLGEBRA

FRANCISCO MIGUEL GARCÍA OLMEDO Y PEDRO GONZÁLEZ RODELAS 433

CAPÍTULO 35

GRAPHIC EXPRESSION IN ENGINEERING: SMART CITY

FERNANDO LOZANO RIVAS 443

CAPÍTULO 1

DEL MATERIAL AL PROYECTO: ESTRATEGIAS DE CONTINUIDAD EN LA ENSEÑANZA DE LA ARQUITECTURA

ALEJANDRO JESÚS GONZÁLEZ CRUZ Y FEDERICO LUIS DEL BLANCO GARCÍA
Universidad Politécnica de Madrid

INTRODUCCIÓN: DEL MATERIAL A LA ARQUITECTURA

La adaptación de los programas educativos españoles al Plan de Bolonia, o Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), supuso un cambio estructural integral, un ajuste en los contenidos programáticos de las asignaturas y una merma en los tiempos necesarios para su comprensión. En la carrera de Arquitectura de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), transformada hoy en un Grado en Fundamentos de la Arquitectura y un Máster Habilitante, la asignatura de Materiales de Construcción, antes impartida en varios semestres, sufrió un proceso de compartimentación, y su especificidad ha conducido a una desconexión programática respecto a otras asignaturas vinculantes. La preexistencia de cátedras que relacionaban diferentes áreas y niveles dentro de la propia disciplina, ha dado paso a departamentos estancos, que conducen al distanciamiento entre profesores y asignaturas de áreas distintas, pero necesariamente complementarias.

La iniciativa que se presenta en este texto se enmarca en un Proyecto de Innovación en Educación (PIE), aprobado en la convocatoria 2023-2024 de la UPM, titulado Del material a la arquitectura. Estrategias de continuidad y redes interdisciplinares, y cuyo objetivo principal es comenzar a disolver los límites preexistentes entre Materiales de Construcción y asignaturas colindantes de la carrera de Arquitectura (Proyectos I y II, Dibujo I y Construcción I); construyendo una red de profesores capaz de colaborar en actividades conjuntas, hacia una continuidad entre sus programas docentes, enriqueciendo las competencias y habilidades de los estudiantes, y fortaleciendo una mayor participación e interés en su autoaprendizaje.

La inserción de estrategias de continuidad en cada una de las asignaturas aboga por un modelo de docencia sustentado en la investigación basada en la experimentación, es decir, un modelo de educación basado en la generación de conocimiento compartido entre profesor y alumnado, en lugar de modelos exclusivamente orientados a la transmisión de un conocimiento cerrado aprendido e impartido. Un modelo de aula invertida, abierta, en el que poder enseñar a aprender y aprender a aprender, en un proceso colectivo de aprendizaje continuo y progresivo.

Durante los años 1925-1930, la Escuela de la Bauhaus en Dessau publicó una serie de 14 libros, editados por profesores y amigos: W. Gropius, P. Klee, P. Mondrian, T. Van Doesburg, Kandinsky, K. Malewitsch, L. Moholy-Nagy, ..., que recogían las principales ideas de la Bauhaus en torno al arte, diseño y arquitectura, representadas en una muestra seleccionada de los trabajos de sus estudiantes. El último volumen de la serie, titulado *From material to architecture* de L. Moholy-Nagy (2021), se centra en los trabajos realizados en el curso preliminar, o formación elemental, donde los estudiantes se aproximaban por primera vez a los materiales, desde ejercicios de experimentación manual de la forma a la definición y percepción del espacio.

En el semestre de otoño de 2023-2024, en la asignatura de Materiales de Construcción, se realizaron una serie de 12 ejercicios prácticos de investigación (Fig. 1) a través del estudio de las propiedades intrínsecas de los materiales. Cada investigación suponía un proceso de transformación desde el material hacia el proyecto. Estos ejercicios, que fomentaban el principio educativo de la Bauhaus ("Jedermann ist begabt" = todo el mundo tiene talento), no pretendían sustituir al conocimiento que el estudiante adquiere gracias a las clases teóricas y las prácticas de laboratorio, sino ser actividades complementarias que contribuyan al proceso de su autoaprendizaje, vinculando los contenidos entre asignaturas correlativas.

Los objetivos específicos de la investigación proponen profundizar en el conocimiento de los materiales de construcción a través del estudio experimental de sus propiedades; desarrollar nuevas técnicas, procesos y herramientas dirigidas a la conceptualización y desarrollo del proyecto; y mejorar la metodología de enseñanza de la arquitectura mediante la aplicación de estrategias de continuidad entre aulas abiertas.

Figura 1. Muestra A5 de un ejercicio de investigación material (metales) del estudiante Marcos Torres. Taller Alejandro González, Materiales de construcción, curso 2023-2024, ETSAM, UPM

FROM MATERIAL
TO ARCHITECTURE

METAL

Autor: Marcos Torres Sánchez



1030 Materiales de construcción, OCTA, ETSAM UPM
Sigueto H. Prof., Alejandro A. González Cruz, 2023-2024

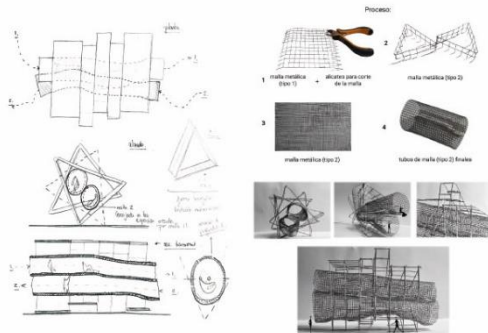
Acción: *doblar, enrojar, crear espacios huecos.*
Propiedades: *antisísmicas/resistencia de una pieza por la elasticidad de la malla metálica, rigidez, deformabilidad (plástica y elástica).*
Elemento: *Pavillo.*

Dos elementos de la misma clase o material pueden parecer, a priori, similares o iguales, incluso podría asumirse que sus características y propiedades de ambos elementos son las mismas por el simple hecho de contener un mismo material. Por supuesto, esto no tiene por qué cumplirse, y el uso de ambos elementos puede generar usos y formas para nada evidentes (y primero más); y como ejemplos, así y más lejos, se encuentra este proyecto.

En esta maqueta el uso de dos tipos de malla metálica permite definir dos formas claras que, al unirse, enrojan perfectamente gracias a la adaptación de la malla interior (o compuesta) a las formas de la malla exterior. La primera malla rígida se deforma plásticamente al ejercer la suficiente fuerza sobre ella, permitiendo obtener piezas que se adaptan a su forma cuando creas dicha fuerza; por otra parte, la segunda malla siempre su forma hasta que se ejerce una fuerza sobre ella que deforma elásticamente. Esta cuestión genera un conflicto a resolver: el conseguir adaptarse con elementos con fuerza totalmente distintos (lo cual se observa en sus características de deformación).

Las piezas triangulares generadas por la malla rígida se unen entre sí dando lugar a una estructura anidada, un anillo que define un espacio angular, con tensión en sus vértices y aparentemente no transitable al tacto. Para conseguir este efecto, se introducen las piezas cilíndricas generadas por la malla "blanda", habilitando una serie de pasillos que crean un recorrido por el interior de la maqueta. Los usuarios podrán recorrer este pasillo y sentir, a través de la malla de la propia malla, el esqueleto de malla rígida.

Y no sólo eso: la plasticidad de esta malla le permite adaptarse a la forma humana y acomodarse, como al hacer un asiento o sofá. Esta malla, además, es un componente "acogedor" al conjunto.



METODOLOGÍA: EL ENSAYO COMO HERRAMIENTA

Todos los materiales poseen un conjunto de propiedades intrínsecas mecánicas, físicas, químicas, térmicas, magnéticas, organolépticas, que los hacen diferenciarse los unos de los otros. Estas propiedades pueden ser percibidas, medidas y testadas, determinando la adecuación e idoneidad de un material para un uso concreto y/o aplicación específica. Las propiedades de los materiales son factores o características que influyen cualitativa o cuantitativamente en la respuesta de un material a estímulos externos, es decir, son reacciones del material a determinadas acciones a las que se le somete.

Como metodología de esta investigación, aplicada y dirigida a la enseñanza de la asignatura de Materiales de Construcción en la ETSAM, se propuso a cada estudiante aproximarse al material mediante un proceso de experimentación manual, observación crítica y representación proyectual. El proceso debía seguir tres pasos: 1) la elección de una propiedad del material para su profundización, 2) la implementación de una acción o conjunto de acciones sobre el material en torno a esa propiedad, registrando su reacción y comportamiento; 3) la sistematización constructiva del material a través de la elección de un elemento arquitectónico (muro, techo, suelo, ventana, puerta, escalera, rampa, ...) entre los 15 elementos propuestos por Koolhaas (2014) capaces de definir la estructura del espacio.

Con la intención de fomentar el uso de una economía circular en la enseñanza de la arquitectura, objetivo propuesto desde las comunidades EELISAA donde esta iniciativa se inscribe, las investigaciones debían utilizar materiales sostenibles desde el estudio de su ciclo de vida. Materiales reciclados de otras maquetas, materiales desechados del laboratorio, materiales encontrados, reutilizados y reinterpretados, es decir, cualquier recurso material al que se le pudiera dar una segunda oportunidad. Cada proceso de exploración material se aproximaba en paralelo al tema que se estaba impartiendo en cada momento del curso: piedras naturales, tierra, cerámica, madera, yeso-cal, cemento, hormigón, metal, vidrio y plástico; utilizando como herramientas de trabajo, pensamiento crítico y representación: el texto, la fotografía, el dibujo y la maqueta.

Para homogeneizar la muestra de estudio, cada estudiante realizaba una investigación por material, con un total de 12 materiales explorados, incluyendo el papel y el cartón como primeros tanteos. Se restringieron las medidas (Juárez-Chicote, 2016) de las maquetas (10x10x10cm) y se les compartió una plantilla en formato A5 (un A4 doblado por la mitad) para la presentación de sus trabajos. Las plantillas estaban compuestas por una portada (nombre del ejercicio, material y autor, y una fotografía en blanco y negro de su maqueta), un texto descriptivo de la investigación (nombre de la propiedad, acción/es y elemento), un dibujo en planta y sección a escala, y una contraportada con el registro fotográfico del proceso de

experimentación, paso a paso. La incorporación de personas a escala en las maquetas permitía transformar los objetos en espacios (Fujimoto, 2015)

Durante el curso se tuvo acceso permanente al Laboratorio de materiales de la ETSAM para la realización de ensayos mecánicos, físicos y químicos, así como a la Materioteca, una biblioteca-museo de materiales de construcción. Se invitaron a docentes de distintos departamentos a sesiones críticas conjuntas (Fig. 2), llevando un seguimiento periódico y colectivo de los avances del trabajo. Se realizaron muestras expositivas y públicas de los resultados obtenidos. Y, finalmente, se construyó una base de datos compartida como punto de partida para la formulación de nuevas estrategias de continuidad.

Figura 2. Sesiones Críticas. Prof. invitados: David Sanz (Materiales de Construcción) y Nicolás Maruri (Proyectos I y II). Taller A. González, Materiales de Construcción, ETSAM, otoño 2023-2024



RESULTADOS: APRENDER A TRAVÉS DE LOS SENTIDOS

Materiales de Construcción es la primera asignatura con la que el estudiante se aproxima al área de conocimiento de la Construcción y Tecnologías Arquitectónicas, en el Grado en Fundamentos de Diseño de la ETSAM. Es una materia obligatoria, impartida en 2º curso, con un total de 8 grupos docentes, de 60-70 estudiantes por profesor, distribuidos en dos semestres (7 grupos en otoño y 1 en primavera), y una carga lectiva de 6 créditos ECTS, equivalentes a 180h, 25-30h de trabajo de estudiante por crédito, repartidas en 15 semanas por semestre.

Durante los últimos años, Materiales de Construcción ha tenido que reajustar los contenidos y tiempos sin reducir las competencias y los resultados de aprendizaje necesarios en la formación de la Arquitectura. Sin embargo, los objetivos alcanzados dan síntomas de manifestar un nivel de exigencia elevado, con una metodología de enseñanza excesivamente teórica, a pesar de las prácticas de laboratorio, basada en un modelo de clase magistral o charla, y un sistema de evaluación sustentado en la memorización. Este sistema de evaluación otorgaba un 80-90% de la calificación de la asignatura a los resultados obtenidos en exámenes teóricos (parciales, finales y pruebas test) y un 10-20% a las prácticas de laboratorio y un puntual reconocimiento

de materiales. Esta situación ha derivado en una tasa de abandono del 20-30% por curso y una tasa de suspenso del 30-40% de los presentados.

En el curso 2023-2024, se introdujeron algunos cambios en el sistema de evaluación, destinando un 60% a exámenes basados en casos prácticos, un 20% en prácticas del laboratorio y un nuevo 20% destinado a actividades complementarias y voluntarias, donde se enmarca esta iniciativa de innovación en educación. Los resultados obtenidos en la asignatura, han comenzado a ver sus frutos, si bien las tasas de abandono (25%) y de suspensos (25%), siguen siendo elevadas, –probablemente por la carga teórica impartida-requerida y la exigencia excesiva de un examen elaborado y evaluado entre todos los profesores de la asignatura en aras de una mayor objetividad–, se ha conseguido mejorar la tasa de aprobados al 65-75% de los presentados. La participación en clase y el interés de los estudiantes por la asignatura han aumentado, fomentando un conocimiento basado en la experimentación racional y sensorial con los materiales de construcción. Todos los estudiantes que siguieron el curso, realizando los ejercicios de experimentación material aprobaron el examen, requisito indispensable para hacer media con las actividades complementaria y aprobar por curso.

La aproximación sensorial al material a través de su manipulación y transformación abre nuevos caminos en el aprendizaje de la arquitectura (Sánchez Lampreave, 2001), sumando al conocimiento adquirido a través de la razón, o inteligencia, un conocimiento o reconocimiento adquirido a través de los sentidos, o percepción. Los sentidos enriquecen la experiencia de la arquitectura, y el contacto directo con el material fortalece el vínculo con las emociones.

Del mismo modo que los primeros ejercicios del curso preliminar de la Bauhaus fomentaban la percepción táctil de los materiales, los primeros pasos en la experimentación con el material, propuestos en Materiales de Construcción de la ETSAM, son acciones manuales, táctiles, exploraciones materiales que ponen en valor el sentido del tacto, a través de la percepción de sus texturas, consistencias o temperaturas. La experimentación sensorial del material canaliza la comprensión de los procesos de fabricación o manufacturación. Un terreno fértil para el aprendizaje de la arquitectura que relaciona los materiales, la construcción y el proyecto, en la producción de nuevos significados (Gausa, 2000).

Se desarrollaron aproximadamente 475 ensayos de investigación material durante el curso. Si bien, estos ejercicios eran voluntarios, y suponían un 20% sobre la nota final, la mayoría de los estudiantes los iniciaron, pero no todos pudieron completarlo, reduciéndose progresivamente hasta la mitad la participación en las actividades complementarias durante el curso, desde los 55 ensayos de investigación sobre papel o 50 ensayos sobre el cartón, a los 26 ensayos de investigación sobre plásticos o 25 ensayos sobre vidrios. Este suceso tiene lugar no sólo por el nivel de

exigencia y la cantidad de trabajo que aumenta durante el curso, sino también por la dificultad que supone el aproximarse a determinados materiales con los que los estudiantes no están acostumbrados a trabajar.

Figura 3. Ejercicios de papel. A. González, 2024

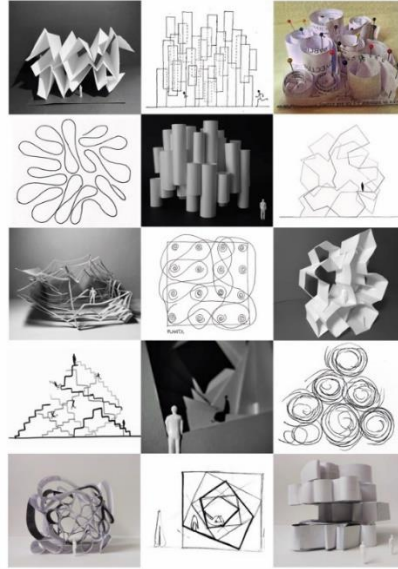


Figura 4. Ejercicios de cartón. A. González, 2024

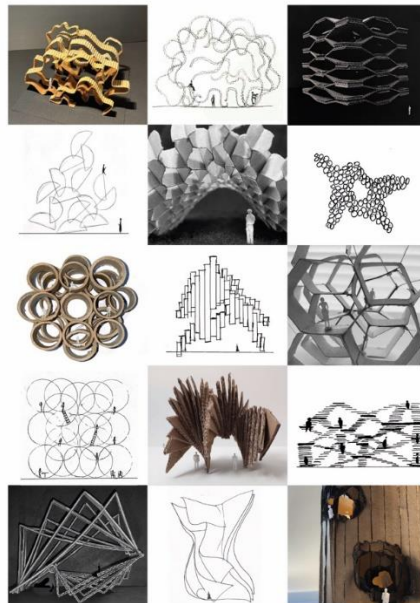


Figura 5. Fig.05. Ejercicios de piedras. A. González, 2024

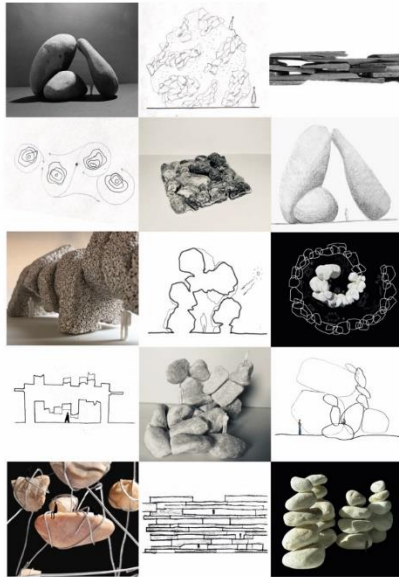
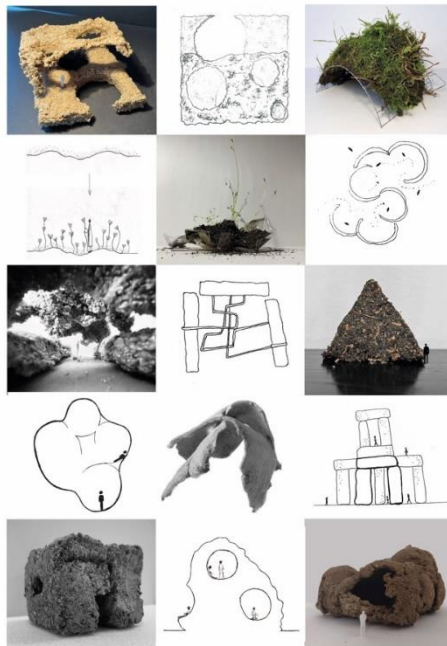


Figura 6. Ejercicios de tierra. A. González, 2024



El curso de experimentación en Materiales de Construcción comenzó con el estudio del papel y del cartón, como materiales disponibles, accesibles y sencillos de

manipular y transformar. Con el papel (Fig. 3) y el cartón ((Fig. 4) estudiaron propiedades como la elasticidad, rigidez, resistencia a compresión y flexión, torsión, tensión y deformación, color, homogeneidad y heterogeneidad, equilibrio y estabilidad, flexibilidad o ligereza. El papel, al igual que el cartón, están compuestos por celulosa, un biopolímero procedente de la madera, el bambú o el algodón. Mediante acciones como plegar, superponer, cortar y pegar, doblar, unir, arrugar, quemar, mojar, romper, modelar, enrollar, encajar, maclar, repetir, ordenar, montar, rasgar, apilar, ensamblar, agrupar, o el uso de técnicas como el origami o la papiroflexia, los estudiantes profundizaban en sus propiedades.

Uno de los primeros hallazgos aprendidos a través de estos ejercicios fue que el origen del proyecto, su conceptualización, surgía de las investigaciones de las propiedades del material, es decir, los proyectos comenzaban desde el material (Desplades, 2010), y no al revés, como normalmente sucede en la enseñanza de proyectos desde los talleres de las Escuelas de Arquitectura. Cada investigación comenzaba con un testeo, pruebas previas, intuitivas, que permitían el desarrollo de versiones y/o variaciones. Las descripciones del proceso de experimentación en el tiempo, paso a paso, y la presentación de las herramientas utilizadas permitían identificar errores y aciertos, aplicando rectificaciones y sistematizando los procedimientos de investigación. La importancia de la medida, la modulación, el peso, el espesor, la textura, consistencia, propias del tipo de material elegido, o la forma de partida del material reciclado seleccionado, determinaban su operatividad y el camino de su transformación.

En los ensayos de las piedras naturales (Fig. 5) se dio inicio a los contenidos teóricos específicos, temas, propios de la asignatura, tras dos semanas de introducción generalizada a las propiedades de todos los materiales. Esta condición de aprendizaje paralelo, donde se imparte un conocimiento teórico de las propiedades específicas de cada material, enriquecía la experimentación. Acciones como equilibrar, comprimir, atar, partir, agujerear, pretensar, tallar, pulir, sujetar, amarrar, clavar, apoyar, encajar, encofrar, romper, golpear, oradar, permitían trabajar la piedra, estudiando propiedades como la resistencia mecánica, la fisilidad, la densidad, la dureza o la isotropía. El trabajo con las piedras requería herramientas distintas a las empleadas con el papel o el cartón, desde martillos y destornilladores, a pernos o cables que funcionaban a tracción para pretensar o post-tensar a compresión las piedras que estaban estudiando.

Frente a la continuidad y regularidad del papel, la piedra natural es un material discontinuo e irregular. Al trabajar con elementos independiente surgía la oportunidad de utilizar estructuras desmontables, más adaptables y flexibles. Pero las imperfecciones formales de la piedra dificultaban su ejecución recurriendo en ocasiones al uso del pegamento, en lugar del atado, el apilado, o incluso de alianzas

con otros materiales como la tierra o el cemento. El recurso del pegamento fue eliminándose progresivamente para favorecer el comportamiento lógico constructivo de cada material. La representación del material pétreo fue un camino de exploración en sus ejercicios ¿cómo se dibujan las piedras?, ¿de forma abstracta o figurativa?, técnica o artística?; algunos dibujaban las piedras diferenciando tipos de línea, otros introducían luces y sombras, y otros recurrían a la representación mixta entre dibujo y fotografía de maqueta para responder la cuestión.

Los posteriores ensayos con la tierra (Fig. 6) y la cerámica (Fig. 7) permitieron a los estudiantes continuar acercándose a materiales naturales primarios, presentes desde los inicios de la historia de la construcción. La tierra es un material sin forma, capaz de adaptarse a cualquier molde. Es un material formado por un conjunto de discontinuidades que pueden constituir una unidad. Las arcillas tienen la capacidad, en su vínculo con el agua, al humedecerse, de compactarse, son empleadas en la fabricación del adobe o en la construcción de muros mediante la técnica del tapial. Al mismo tiempo, la tierra es un sustrato donde la vida puede darse, transformando su materialidad con el paso del tiempo. La compacidad, consistencia, resistencia mecánica, porosidad, densidad, plasticidad son algunas de las propiedades exploradas por los estudiantes a través de acciones como mezclar, moldear, llenar y vaciar, humedecer, secar, plantar, sembrar, amasar, mojar, prensar, excavar, comprimir, aplastar, congelar, fragmentar, filtrar o tamizar, aglomerar, apelmazar, ..., utilizando herramientas como moldes y contra-moldes para dar forma. Cuando la tierra no era rica en arcillas utilizaban cola blanca como aglutinante.

Con la cerámica, algunos estudiantes exploraron la técnica del ready made, partiendo de objetos con forma predefinida y reinterpretándolos. Sin ser un proceso de fabricación material en sí mismo, podían reflexionar sobre la condición sine qua non de reutilizar productos materiales cotidianos y en desuso. En ciertos casos, el proceso era mal interpretado, destruyendo objetos útiles y en buen estado para repensarlos. Sin embargo, otros ensayos con la cerámica aprovechaban los desechos materiales aplicando acciones como fragmentar y unir, romper y recomponer, desconfigurar y configurar. El proceso de fabricación de la cerámica, permitía entender la necesidad de calentar u hornear a altas temperaturas las arcillas, o materia prima, mejorando sus propiedades, transformando su estructura interna gracias a los procesos de sinterización y vitrificación, que conseguían mejorar su conductividad, durabilidad, resistencia e impermeabilidad, consiguiendo que su plasticidad fuera irreversible.

Figura 7. Ejercicios de cerámica. A. González, 2024

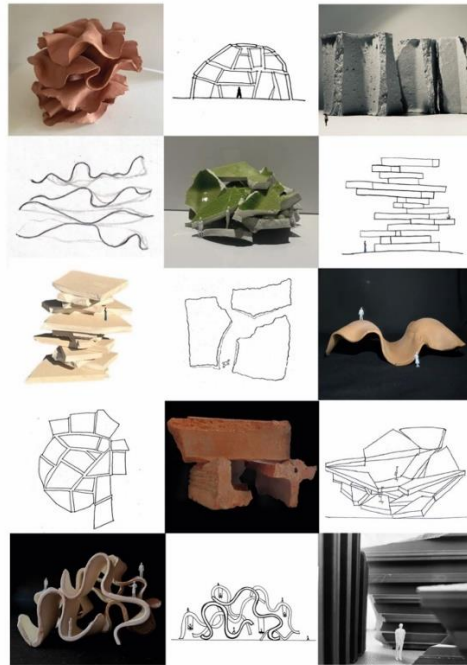


Figura 8. Ejercicios de madera. A. González, 2024

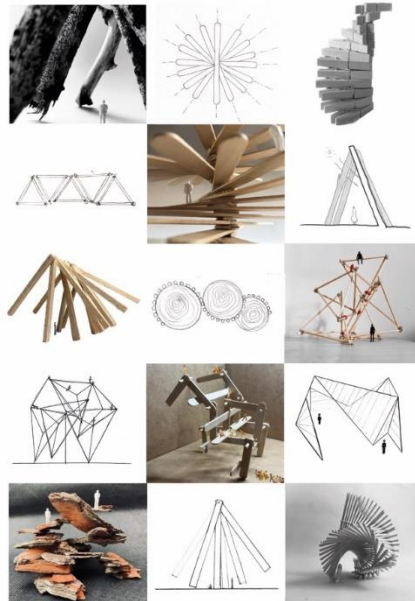


Figura 9. Ejercicios de yeso. A. González, 2024

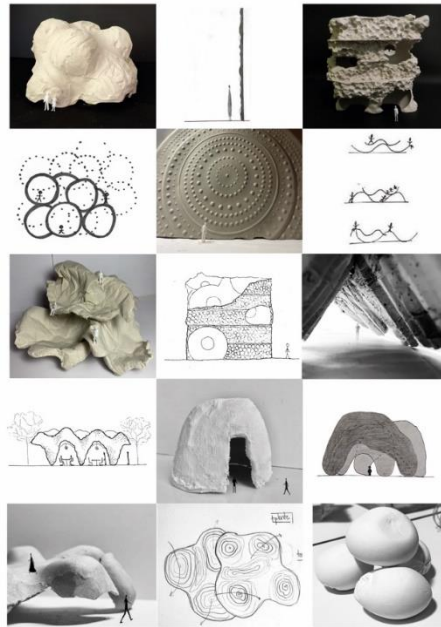


Figura 10. Ejercicios de cemento. A. González, 2024



Los ensayos con materiales primarios presentes en los inicios de la historia de la construcción continuaron con la madera (Fig. 8). Entre sus propiedades investigadas destacan la anisotropía, flexibilidad, dureza, resistencia mecánica, ligereza, durabilidad, flotabilidad, consistencia, hidrocopiscidad, estabilidad, conductividad, o su vulnerabilidad a la combustibilidad y biodegradabilidad, mermando su eficacia. La madera está presente en toda la formación del estudiante de arquitectura como material recurrente para maquetas, lo que favorece su manipulación, el estudiante se identifica con el material, siendo capaz de construir estructuras con mayor facilidad. Muchos objetos cotidianos, hechos en madera, han sido utilizados en la experimentación material por su capacidad sorpresiva en la construcción de estructuras formales. Los ejemplos estudiados mostraban que las estructuras formales debían ser abiertas y abstractas, y no formas cerradas, concretas y muy definidas, lo que reducía su flexibilidad y su capacidad de adaptación o transformación. El punto clave en el uso de la madera se detectó en las uniones de sus elementos, derivando en algunos casos esta responsabilidad a otros materiales como los metales o los textiles.

Los yesos (Fig. 9), cementos (Fig. 10) y hormigones (Fig. 11) permitieron investigar cambios de estado de un material en el tiempo, registrando los procesos de transformación iniciados al combinarlos con el agua. Mientras los ensayos con los yesos debían considerar un fraguado rápido (15-30min), las exploraciones con el cemento y el hormigón debían esperar entre 24 y 48h para completar su fraguado. La fluidez inicial de estos materiales permitía adaptarse a cualquier molde, sin embargo, algunas exploraciones mantenían la forma adoptiva de sus moldes, en ocasiones objetos cotidianos (globo, papel, tapones de botella, piezas xps,...), en lugar de hacer desaparecer durante el proceso cualquier rastro literal de los mismos. Las investigaciones iniciadas en los cementos podían tener su continuidad en los hormigones, o explorar otras propiedades. Los hormigones son materiales compuestos, donde el cemento se combina con áridos finos y gruesos, formando diferentes recetas. Las posibilidades se multiplican cuando la piedra es sustituida por otros materiales, o por residuos del propio hormigón.

La versatilidad y capacidad de manipulación de estos materiales motivaron a los estudiantes a documentar variaciones o alternativas, en ocasiones azarosas, generadas durante el proceso (Moneo, 2005). En estos ejercicios, el proceso de experimentación condujo a los estudiantes a explorar varias técnicas o estrategias de transformación del material, pudiendo obtener una reflexión más profunda de la propiedad estudiada. Propiedades como higroscopicidad, aislamiento acústico, resistencia al fuego, porosidad, maleabilidad y rigidez, dureza, consistencia, plasticidad, fluidez, adaptabilidad, deformación, fluidez, impermeabilidad, resistencia térmica, rotura, resistencia a compresión, eran exploradas a través de acciones como

mezclar, fabricar, forrar, moldear, recubrir, encofrar, verter, humedecer, amasar, fraguar, endurecer, secar, sustraer, desencofrar, agujerear, cortar, atornillar, inflar, esterificar, esculpir, excavar, aglutinar, amontonar, apoyar, romper. Cada experimentación de una propiedad se convertía en una posible línea de investigación para el proyecto (Fujimoto, 2008).

La capacidad de trabajar con elementos prefabricados facilita la construcción de estructuras formales, pero se pierde libertad de experimentación material. La investigación de las propiedades de los metales (Fig. 12) como maleabilidad, resistencia a tracción, tenacidad, ductilidad o ligereza, se desarrollaron a través de acciones como doblar, cortar, unir, soldar, coser, grapar, atar, modular, montar, atornillar, recortar o entrelazar, pero sin alterar sustancialmente sus formatos iniciales. Debido a la dificultad técnica que supone el procesado del metal, los estudiantes realizaron sus ejercicios a través de elementos o componentes prefabricados, disponibles en sus casas o en el propio material académico utilizado en la escuela. La relación de coherencia escalar entre el uso del material y el rol que desarrolla en la construcción real de la arquitectura añade valor al proceso de experimentación.

Los últimos ejercicios de experimentación con el material supusieron una reducción en la participación de los estudiantes, dada la exigencia conjunta de las asignaturas. Quizás si el orden de experimentación de los materiales hubiera sido otro las aproximaciones a los vidrios (Fig. 13) y plásticos (Fig. 14) hubieran sido más numerosas, ofreciendo una lectura más diversa. Los ensayos al vidrio incentivaron, en la mayoría de los casos, la acción de romper en pedazos objetos cotidianos de partida, para ser pegados, apilados, hincados o maclados, posteriormente, mediante siliconas, alambres o mallas. Se incorporaron al desarrollo de experimentación material, voluntariamente, nuevas herramientas de comunicación como el video, grabados y subidos a internet a través de Youtube, y representados en el A5 mediante código QR. Un medio de difusión de mayor alcance. La imagen y el sonido eran percibidos simultáneamente, analizando propiedades como la transparencia, fragilidad, resistencia mecánica. Con los plásticos se introdujeron nuevas herramientas de transformación como la máquina de hilo caliente, el mechero, la grapadora o la máquina de aire. Acciones como el cortar, doblar con calor, disolver o quemar, grapar, hilar o inflar, permitieron estudiar propiedades del material como aislamiento térmico, maleabilidad, impermeabilidad, flexibilidad, elasticidad, deformación plástica y transparencia.

Figura 11. Ejercicios de hormigón. A. González, 2024



Figura 12. Ejercicios de metales. A. González, 2024

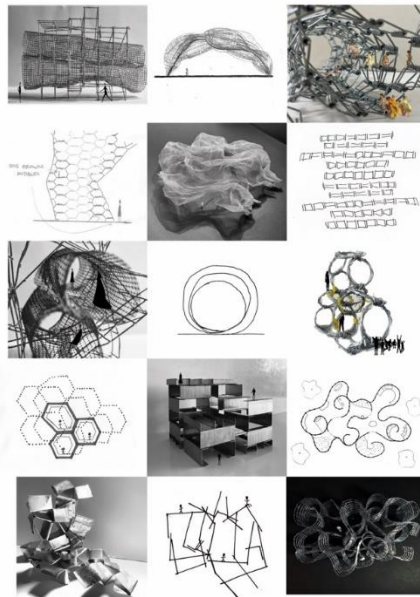


Figura 13. Ejercicios de vidrio. A. González, 2024

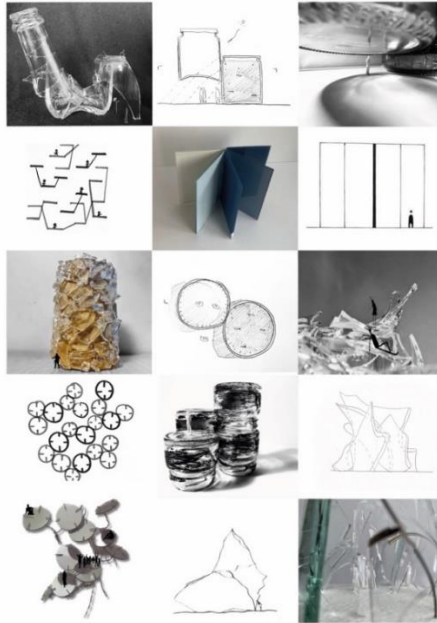
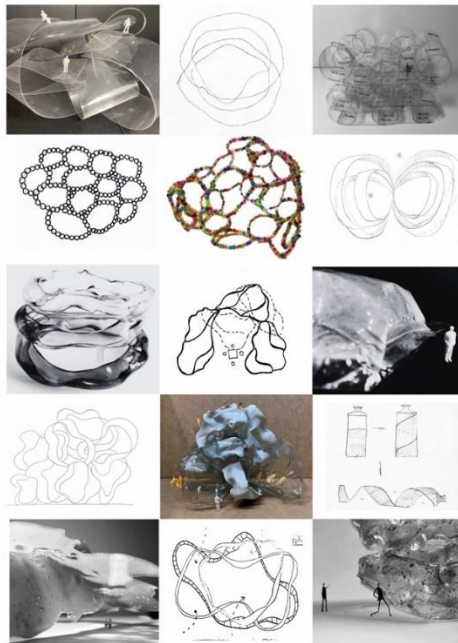


Figura 14. Ejercicios de plástico. A. González, 2024



CONCLUSIONES: ESTRATEGIAS DE CONTINUIDAD

Materiales de Construcción es una de las asignaturas más interdisciplinarias del grado de Fundamentos de Diseño en la ETSAM, no sólo por el conocimiento que requiere, sino por el perfil de los profesores que la imparten (químicos, geólogos, ingenieros y arquitectos). Sin embargo, esta condición no ha evitado su desconexión respecto a las otras asignaturas de la carrera. Este proyecto de innovación en educación recupera la conexión interdepartamental mediante estrategias de continuidad. Su implementación en el aprendizaje de los materiales, ha permitido a los estudiantes entender su vínculo con la construcción, con los proyectos, con la historia o incluso con el dibujo.

La experiencia sensorial adquirida a través de la experimentación material complementa al conocimiento racional aprendido con el estudio de sus contenidos teóricos. En la docencia de la arquitectura la práctica enriquece y asienta el conocimiento, fortaleciendo los vínculos entre profesor-alumno y favoreciendo el autoaprendizaje. Al romper, en cierto modo, el modelo metodológico basado en la consecución semanal de charlas magistrales, la motivación y el interés del alumnado aumentan quedando reflejado en la asistencia y participación en clase, y en sus resultados. Esta iniciativa presenta la docencia como construcción de conocimiento, más allá de su mera transmisión, siendo la investigación y la crítica herramientas fértiles para el autoaprendizaje. La apertura pública de los resultados obtenidos, o del conocimiento nuevo generado, a través de exposiciones (Fig. 15) contribuyó a su difusión.

Los 12 ejercicios de aproximación a los materiales desvelaron un conjunto de acciones, herramientas, técnicas y procesos de transformación asociados a las propiedades de cada material (Mansilla y Tuñón, 2005). Las propiedades de los materiales eran estudiadas como reacciones del material al ser sometido a estímulos externos. El registro de los procesos de experimentación material permitió su sistematización, construyendo un conjunto de estrategias operativas útiles para el proyecto (González Cruz, 2021). Durante los ensayos se comprendían las diferencias entre materias primas, materiales y productos, relacionándolas directamente con la cantidad de energía invertida y el momento en el que se encontraban dentro de su ciclo de vida. Si bien, los productos podían interpretarse con el objetivo último de transformación de sus materias primas extraídas, estos ejercicios abogaban por una economía circular donde el final de un proceso puede convertirse en el inicio de otro nuevo.

Figura 15. Entrega final y Exposición pública. Taller A. González, Materiales de Construcción, ETSAM, otoño 2023-2024



REFERENCIAS

Desplazes, A. (2010). *Construir la arquitectura: Del material en bruto al edificio*. Barcelona: Gustavo Gili.

Fujimoto, S. (2008). *Sou Fujimoto: Primitive Future: Contemporary architect's concept series #1*. Inax-Shuppan.

Fujimoto, S. (2015). *Architecture is everywhere*. New York: MoMA.

Gausa, M., Guallart, V., Muller, W., Soriano, F., Porrás, F., y Morales, J. (2000). *Diccionario metápolis de arquitectura avanzada: Ciudad y tecnología en la sociedad de la información*. Barcelona: Actar.

González Cruz, A.J. (2021). *Reglas de juego y grados de libertad: una aproximación al origen de la forma en los proyectos de arquitectura de Mansilla + Tuñón [1992-2012]* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.69177>.

Juárez-Chicote, A. (2016). *Dimensión mínima, apertura máxima. Hacia un alfabeto del proyecto arquitectónico*. En JIDA'16. IV Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura, 174-190.

Koolhaas, R. (2014). *Elements of Architecture*. Venice: Marsilio; BOX edición

Moholy-Nagy, L. (2021). *From material to architecture. Bauhausbücher 14*. (K. Schamun & J. DeStone, Trad.). Zurich: Lars Müller. (Obra original publicada en 1929).

Moneo, R. (2005). *Sobre el concepto de arbitrariedad en la arquitectura. Discurso de ingreso a la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando*.

Moreno Mansilla, L. y Tuñón, E. (2005). La sorprendente presencia de lo posible. *Circo. Jaia Lore Artea*, 127(6), 1-2.

Sánchez Lampreave, R. (2001). Trabajos manuales. *Arquitectura: Revista del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM)*, 323, 72-83.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍA EDUCATIVA Y DATOS ABIERTOS: FOMENTANDO LA ÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN COMUNIDADES RESILIENTES DE OAXACA, MÉXICO

FABIOLA COLMENERO FONSECA*, AMPARO BORRELL TOMÁS**,
RUT BENAVENTE MARTÍNEZ**, Y RAMIRO RODRÍGUEZ-PÉREZ**
**Universitat Politècnica de València, Universidad de La Salle México;*
***Universitat Politècnica de València*

INTRODUCCIÓN

La integración de la tecnología educativa y los datos abiertos son elementos fundamentales para mejorar la calidad educativa, promover la sostenibilidad y fomentar la ética en comunidades resilientes como las de Oaxaca, México. La tecnología educativa proporciona acceso a una amplia gama de recursos y permite la personalización del aprendizaje, lo que es de suma importancia en áreas con infraestructuras educativas limitadas (Trucano, 2013). Los datos abiertos mejoran la transparencia y la eficiencia en la gestión educativa, permitiendo decisiones informadas y el uso óptimo de los recursos (Davies et al., 2019). Además, la tecnología educativa puede incluir contenidos que promuevan la ética y el respeto, esenciales para construir sociedades resilientes (UNESCO, 2015). Empoderar a las comunidades a través de datos abiertos facilita la participación ciudadana y fortalece la identidad cultural (World Bank, 2015). Reducir la brecha digital mediante la inclusión tecnológica garantiza que todos los estudiantes tengan acceso equitativo a las oportunidades de aprendizaje y desarrollen competencias digitales necesarias para su integración en la economía global (OECD, 2020).

Además, la implementación de enfoques holísticos que integren la sostenibilidad y la ética en los proyectos de infraestructura puede servir como un puente entre la educación y el desarrollo económico local. Tal como lo destacan Allenby y Sarewitz (2013), es esencial que la formación académica incorpore una visión interdisciplinaria que prepare a los estudiantes para entender y mitigar los impactos sociales, económicos y ambientales de sus proyectos. Esta preparación es especialmente relevante en regiones como Oaxaca, donde las soluciones innovadoras y sostenibles son necesarias para superar desafíos históricos de desigualdad y subdesarrollo.

La intersección entre diseño, ingeniería de materiales, construcción, promoción de la ética y sostenibilidad enfrenta desafíos significativos relacionados con conflictos sociales, impactos ambientales y desigualdades económicas. Autores como Uher y Lawson (2021) han señalado que muchos proyectos de infraestructura no consideran

adecuadamente estos aspectos, lo que puede agravar los problemas en un mundo cada vez más globalizado y urbanizado. En su investigación, destacan la necesidad de que los profesionales adopten enfoques que promuevan la ética y la sostenibilidad, sugiriendo que las metodologías tradicionales de ingeniería (García, Torres, y Pérez, 2022). deben ser reevaluadas para incluir criterios éticos y sostenibles que mejoren la calidad de vida y contribuyan a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

Además, estudios recientes han subrayado la importancia de la educación interdisciplinaria para preparar a los futuros profesionales a enfrentar estos desafíos. Por ejemplo, en su trabajo sobre ingeniería y sostenibilidad, Allenby y Sarewitz (2013) argumentan que la formación académica debe incluir una comprensión profunda de los impactos sociales, económicos y ambientales de los proyectos de construcción (Das y Neithalath, 2019).

En el contexto de Oaxaca, México, la implementación de asignaturas que integren ética y sostenibilidad en los currículos de ingeniería de materiales, construcción y diseño es fundamental. Albornoz y Contreras (2021) y Gutiérrez-Bucheli et al. (2022) han estudiado cómo la educación en sostenibilidad y ética puede transformar la forma en que los profesionales abordan los proyectos en comunidades vulnerables. Su investigación muestra que un enfoque holístico que incluye fases de análisis, planificación, desarrollo de contenido, selección de casos de estudio, diseño de estrategias de enseñanza, aplicación práctica y evaluación puede preparar a los estudiantes para enfrentar los desafíos de manera efectiva.

El objetivo principal de este proyecto educativo sobre la implantación de una nueva asignatura es proporcionar a los estudiantes una comprensión profunda de cómo la multidisciplinaria puede contribuir a la ética (Harris et al., 2019) y la sostenibilidad, explorando los impactos sociales, económicos y ambientales de los proyectos de construcción en el manejo de conflictos. Para lograr esto, la asignatura se centrará en la interacción con diferentes niveles de gobierno, enseñando a los estudiantes a colaborar con autoridades e influir en políticas públicas para implementar proyectos sostenibles. Se espera que los estudiantes desarrollen habilidades en resolución de conflictos, gestión de proyectos y colaboración interdisciplinaria, lo que les permitirá abordar los desafíos complejos de manera efectiva y holística, especialmente en contextos vulnerables como el de Oaxaca, México.

La integración de la tecnología educativa y los datos abiertos en las comunidades resilientes de Oaxaca, México, mejorará significativamente la calidad educativa, promoverá la sostenibilidad y fomentará el trabajo ético, empoderando a las comunidades para participar activamente en la toma de decisiones y reducir la brecha

digital, lo que, a su vez, estimulará el desarrollo económico local y fortalecerá la identidad cultural.

MÉTODO

El método pedagógico "Reconéctate con tu Cultura" (RWYC) y Carta de Tokio (Niglio, 2021) influye significativamente en el eje de sostenibilidad de la asignatura "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura" al promover una comprensión profunda de los valores culturales locales y su conexión con prácticas sostenibles. Este enfoque pedagógico reconoce que muchas comunidades poseen conocimientos tradicionales arraigados en sus culturas que han permitido la sostenibilidad de sus entornos naturales durante generaciones (Winston, 2021).

Al integrar este método en el diseño curricular, los estudiantes tienen la oportunidad de explorar cómo los principios éticos y sostenibles pueden alinearse con las tradiciones culturales locales para promover prácticas de construcción más respetuosas con el medio ambiente y socialmente responsables. Por ejemplo, los proyectos prácticos pueden involucrar la colaboración con comunidades locales para identificar y aplicar métodos de construcción tradicionales que minimicen el impacto ambiental y promuevan la equidad social (Smith y Tardif, 2009).

Además, "Reconéctate con tu Cultura" fomenta un enfoque holístico que considera tanto los aspectos técnicos como los culturales y sociales de la sostenibilidad. Esto permite a los estudiantes comprender que la sostenibilidad no se trata solo de adoptar tecnologías verdes, sino también de preservar y respetar las prácticas culturales que han demostrado ser sostenibles a lo largo del tiempo. Como red de expertos en el campo de la educación y la sustentabilidad RWYC propone los siguientes objetivos: a) Acercar a las generaciones más jóvenes a los valores y contenidos de las culturas locales. b) Fortalecer la identidad local, el conocimiento de las tradiciones del lugar, y crear una fuerte conciencia y conocimiento de las culturas y el patrimonio vivo. c) Fomentar el diálogo intergeneracional y el diálogo intercultural, por lo tanto, entre las diferentes naciones, porque después de haber conocido bien nuestra cultura es importante dialogar con otras culturas para apreciar la diversidad que representan importantes recursos y oportunidades para el desarrollo del mundo y difundir las propias (Colmenero, 2022).

La presente metodología se estructura bajo un enfoque mixto, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas para abordar de manera integral la enseñanza de la ética, la sostenibilidad y la promoción de la ética en proyectos de construcción. Esta aproximación multidisciplinaria está diseñada para proporcionar a los estudiantes una formación completa, que abarca desde la teoría hasta la aplicación práctica en contextos reales. A través de seis fases interconectadas, se pretende desarrollar

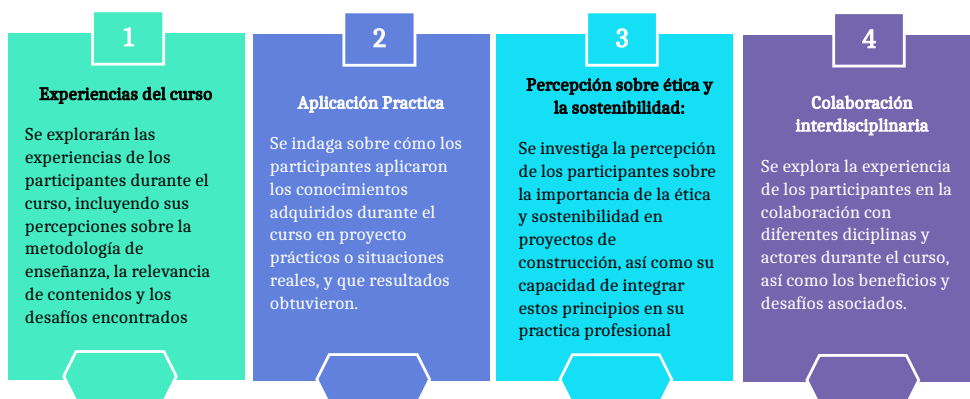
habilidades técnicas y capacidades interpersonales, esenciales para enfrentar los desafíos complejos en la gestión de proyectos de infraestructura en comunidades vulnerables como Oaxaca, México.

La primera fase, Análisis y Planificación, implica la definición de objetivos claros y la planificación detallada del curso, asegurando que las necesidades y contextos específicos de los estudiantes sean considerados. En la segunda fase, Desarrollo del Contenido, se crean materiales didácticos centrados en ética y sostenibilidad, integrando experiencias y ejemplos reales. La tercera fase, Selección de Casos de Estudio, se enfoca en identificar y analizar casos relevantes que ilustren los principios enseñados. La cuarta fase, Diseño de Estrategias de Enseñanza, desarrolla metodologías pedagógicas efectivas que promuevan el aprendizaje activo. La quinta fase, Aplicación Práctica, permite a los estudiantes implementar sus conocimientos en contextos reales, colaborando con comunidades y autoridades locales. Finalmente, la sexta fase, Evaluación y Retroalimentación, asegura una mejora continua del curso a través de la evaluación y la retroalimentación.

Para recopilar datos cualitativos, se utilizarán instrumentos como entrevistas semiestructuradas y grupos focales. Estos métodos permitirán obtener perspectivas detalladas y contextuales sobre la efectividad y los impactos del curso en los participantes. Además, se podrían emplear cuestionarios y encuestas para recopilar datos cuantitativos sobre el progreso académico de los estudiantes y su percepción sobre el contenido y la metodología del curso.

Las entrevistas semiestructuradas (Ver Fig.1) se diseñaron para obtener una comprensión profunda de las percepciones, experiencias y opiniones de los participantes sobre la efectividad y los impactos del curso. Se centrarán en los siguientes temas principales:

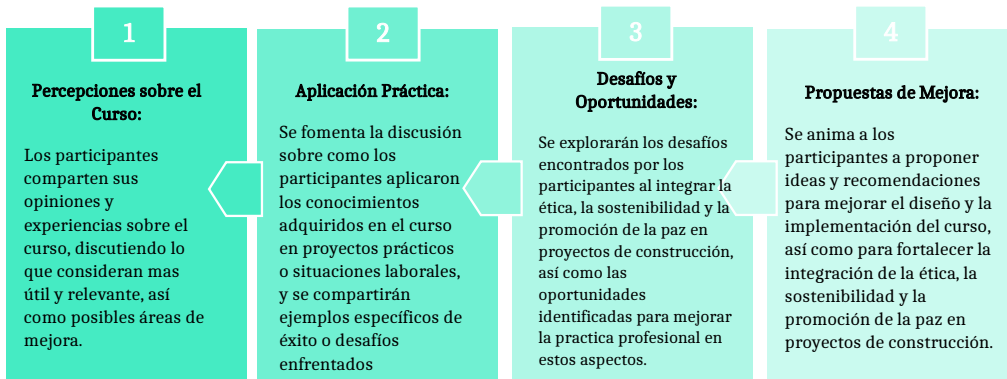
Figura 1. Instrumentos de aplicación: Ejes principales de las entrevistas semiestructuradas



Fuente: Elaboración propia

Los grupos focales se organizarán para fomentar la discusión y el intercambio de ideas entre los participantes del estudio. Se abordarán temas similares a los de las entrevistas semiestructuradas, pero con un enfoque en la interacción grupal y la generación de conocimiento colectivo (ver Fig. 2) Los temas principales a discutir incluirán:

Figura 2. Instrumentos de aplicación: Ejes principales del grupo focal



Fuente: Elaboración propia

El análisis de datos se realizó de manera mixta, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos. Para los datos cualitativos obtenidos de entrevistas y grupos focales, se emplearán técnicas de análisis de contenido y análisis temático para identificar patrones, temas y categorías emergentes. Por otro lado, los datos cuantitativos recopilados a través de encuestas y cuestionarios se analizarán utilizando métodos estadísticos descriptivos e inferenciales, como análisis de frecuencias, pruebas de comparación de medias y análisis de correlación, según corresponda.

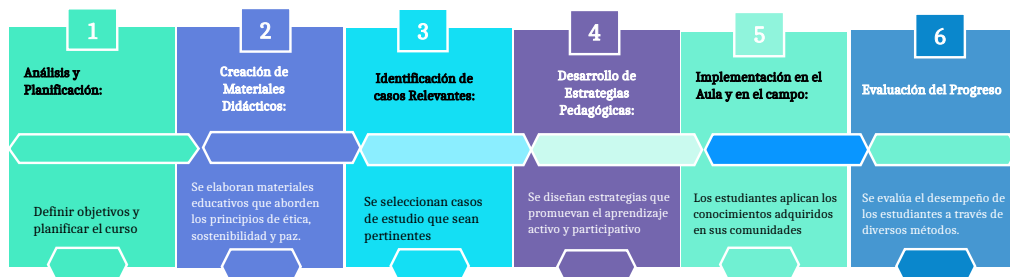
Metodología en seis fases del curso construcción ética y sostenible: Integrando la ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura

"Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura". Esta asignatura refleja la naturaleza multidimensional del curso, que aborda tanto aspectos éticos como prácticos de la construcción sostenible, mientras enfatiza la importancia de la promoción de la ética y la colaboración interdisciplinaria en el ámbito de la infraestructura. En la siguiente figura 3 se puede observar las seis fases del curso.

Esta metodología integral garantiza que los estudiantes no solo adquieran conocimientos teóricos, sino que también desarrollen habilidades prácticas y una

comprensión profunda de cómo aplicar estos principios en la vida real, contribuyendo así al desarrollo sostenible y la ética en sus comunidades (Ogunyemi, 2015).

Figura 3. Instrumentos de aplicación: Ejes principales de las entrevistas semiestructuradas



Fuente: Elaboración propia

Población y Muestra

La población objetivo de este estudio incluye:

1. Estudiantes inscritos en la asignatura "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura" en diversas universidades.
2. Docentes que imparten la asignatura en dichas universidades.
3. Colaboradores externos, tales como profesionales de la industria de la construcción y representantes de comunidades locales involucradas en proyectos de infraestructura sostenible.

Justificación de la Población

Los estudiantes son los principales beneficiarios del curso y proporcionan retroalimentación directa sobre el contenido y la metodología de enseñanza.

Los docentes aportan una perspectiva crítica sobre la eficacia de los materiales y estrategias pedagógicas.

Los colaboradores externos ofrecen una visión práctica sobre la aplicación de los principios enseñados en el curso.

Muestra

Para obtener una muestra representativa, se utilizaron los siguientes criterios:

Selección aleatoria estratificada para garantizar la representación de diversas universidades y niveles de estudio.

Inclusión de un número equilibrado de docentes con experiencia variada en la enseñanza de la asignatura.

Colaboradores externos seleccionados en función de su participación activa en proyectos de infraestructura sostenible.

RESULTADOS

La asignatura "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura" implica la integración de diversas disciplinas para abordar los desafíos complejos relacionados con la construcción ética y sostenible. Algunas de las disciplinas multidisciplinarias que se pueden implicar son:

Ingeniería Civil: Proporciona los fundamentos técnicos para la planificación, diseño y construcción de infraestructuras sostenibles.

Arquitectura: Contribuye al diseño de edificaciones que incorporen principios de sostenibilidad y respeto por el entorno.

Ética: Aborda los aspectos morales y éticos de la toma de decisiones en la construcción, considerando el impacto social y ambiental de las acciones.

Ingeniería de Materiales: Se centra en la preservación de los recursos naturales y la reducción del impacto ambiental del correcto uso de los materiales en los proyectos de construcción

Economía: Analiza los aspectos financieros y económicos de los proyectos de infraestructura, considerando la viabilidad económica de las soluciones sostenibles.

Ciencias Sociales: Explora el impacto social de los proyectos de construcción en las comunidades locales y promueve la participación ciudadana en la toma de decisiones.

Objetivo General del Curso

El objetivo general del curso "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura" es proporcionar a los estudiantes una comprensión integral y multidisciplinaria de cómo integrar principios éticos, sostenibles y de promoción de la ética en proyectos de construcción, con el fin de contribuir al desarrollo sostenible y al bienestar de las comunidades.

Objetivos Específicos

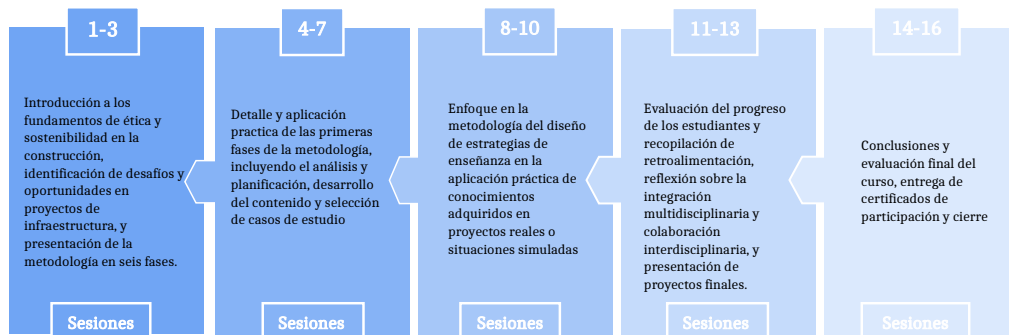
Analizar los desafíos y oportunidades asociados con la integración de la ética, la sostenibilidad y la promoción de la ética en proyectos de infraestructura, desde una perspectiva multidisciplinaria.

Desarrollar habilidades prácticas para planificar, diseñar, ejecutar y evaluar proyectos de construcción que incorporen principios éticos, sostenibles y de promoción de la ética.

La asignatura "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura" aborda un total de 16 sesiones teórico-prácticas de

tres horas cada una, distribuidas en una línea de tiempo como se muestra en la evaluación panorámica de la figura 4.

Figura 4. Diagrama de evaluación panorámica de la asignatura "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura"



Fuente: Elaboración propia

Resultados de las Entrevistas

A continuación, se presentan algunos resultados clave obtenidos de las entrevistas con la muestra representativa de 50 estudiantes, 10 docentes y 5 colaboradores externos:

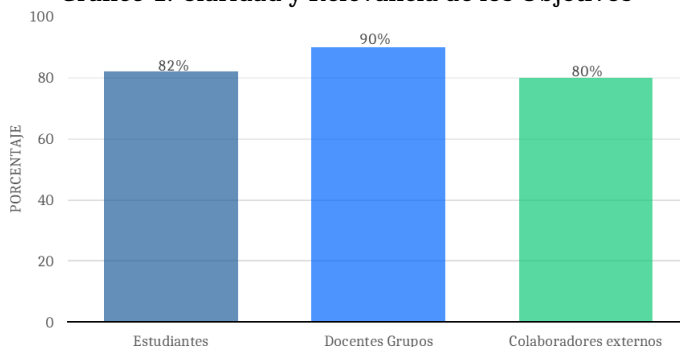
Claridad y Relevancia de los Objetivos

Estudiantes: El 82% de los estudiantes consideraron que los objetivos del curso estaban claramente definidos y alineados con sus expectativas.

Docentes: El 90% de los docentes coincidieron en que los objetivos eran claros y relevantes.

Colaboradores Externos: El 80% de los colaboradores externos percibieron los objetivos como pertinentes y bien estructurados.

Gráfico 1. Claridad y Relevancia de los Objetivos



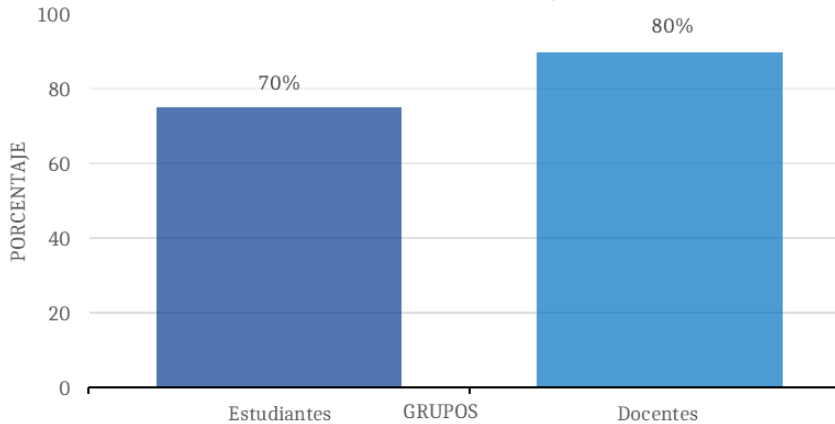
Fuente: Elaboración propia

Evaluación del Conocimiento Previo y Necesidades Educativas

Estudiantes: El 70% de los estudiantes indicaron que el curso evaluó adecuadamente su conocimiento previo y ajustó los contenidos según sus necesidades.

Docentes: El 80% de los docentes estuvieron de acuerdo en que la evaluación inicial del conocimiento fue efectiva para planificar el curso.

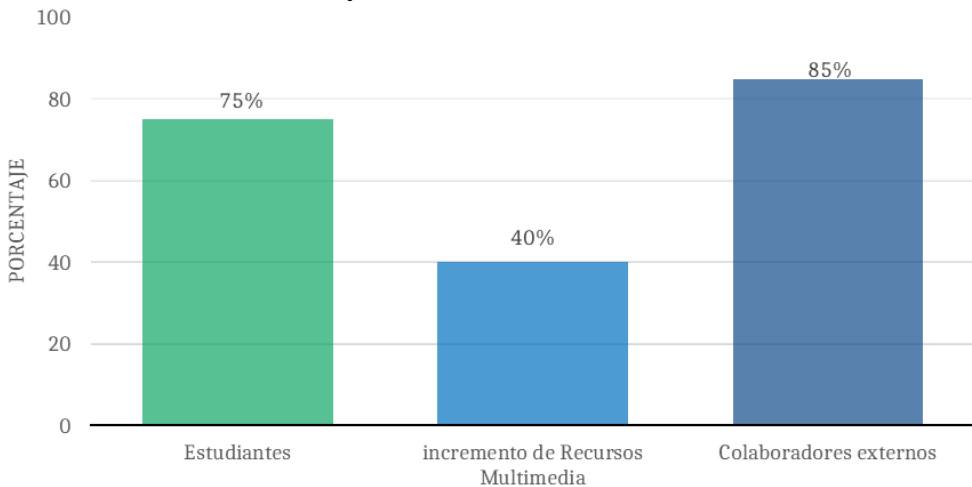
Gráfico 2. Evaluación del Conocimiento Previo y Necesidades Educativas



Fuente: Elaboración propia

Calidad y Adecuación de los Materiales Didácticos

Gráfico 3. Calidad y Adecuación de los Materiales Didácticos



Fuente: Elaboración propia

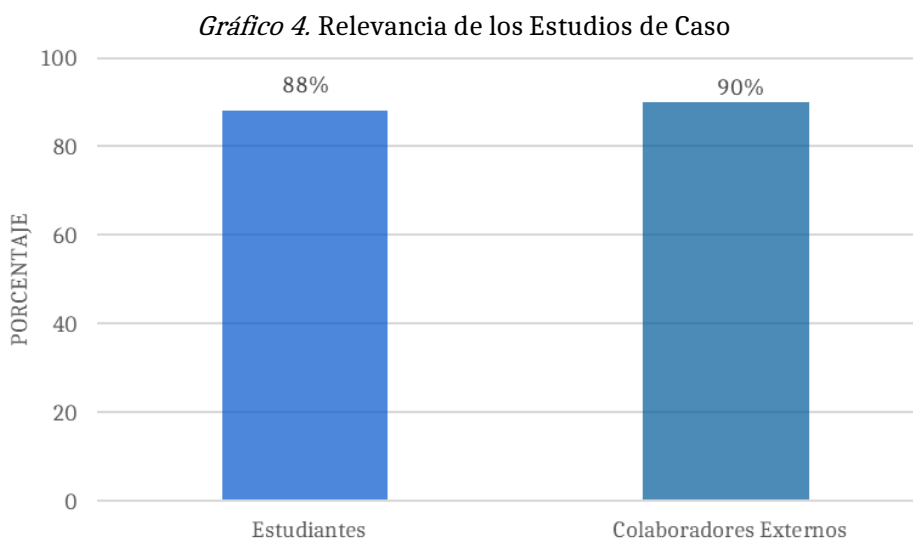
Estudiantes: El 75% de los estudiantes valoraron positivamente la calidad de los materiales didácticos, aunque un 40% sugirió incrementar el uso de recursos multimedia interactivos.

Docentes: El 85% de los docentes consideraron que los materiales eran adecuados y bien elaborados.

Relevancia de los Estudios de Caso

Estudiantes: El 88% de los estudiantes encontraron los estudios de caso altamente relevantes y útiles para entender la aplicación práctica de los principios enseñados.

Colaboradores Externos: El 90% de los colaboradores externos también valoraron positivamente la selección de estudios de caso.



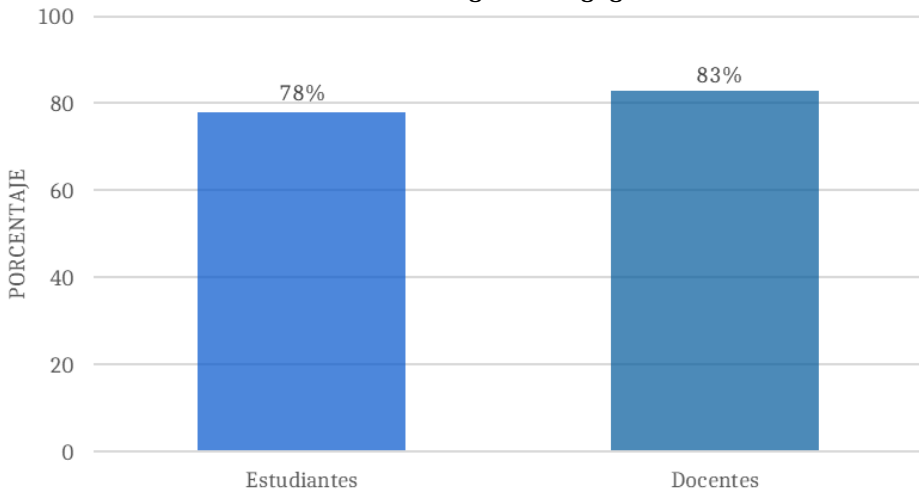
Fuente: Elaboración propia

Estrategias Pedagógicas

Estudiantes: El 78% de los estudiantes apreciaron las estrategias de aprendizaje activo, como proyectos y discusiones en grupo.

Docentes: El 83% de los docentes señalaron la efectividad de estas estrategias, aunque un 30% sugirió mejorar la participación y colaboración de los estudiantes.

Gráfico 5. Estrategias Pedagógicas



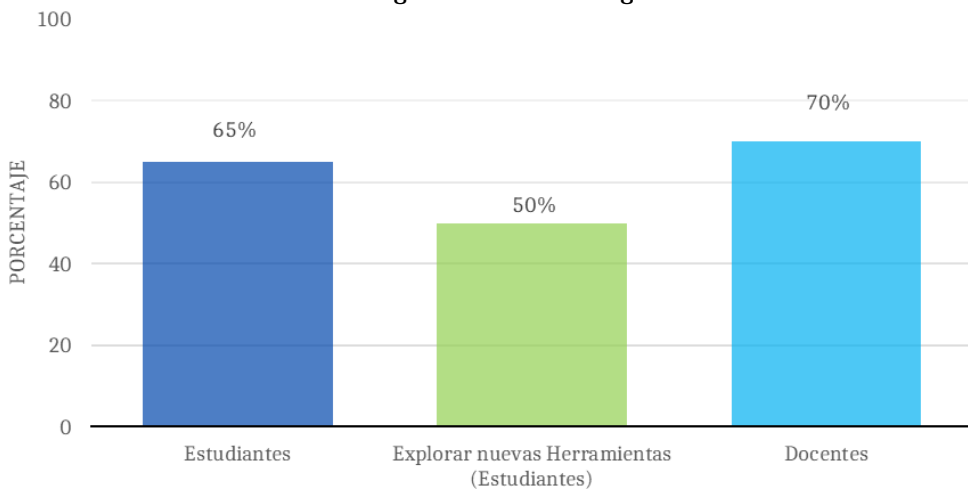
Fuente: Elaboración propia

Integración de Tecnologías Educativas

Estudiantes: El 65% de los estudiantes consideraron que la integración de tecnologías educativas fue efectiva, pero un 50% propuso explorar nuevas herramientas y plataformas.

Docentes: El 70% de los docentes estuvieron de acuerdo con la necesidad de innovar más en el uso de tecnologías educativas.

Gráfico 6. Integración de Tecnologías Educativas

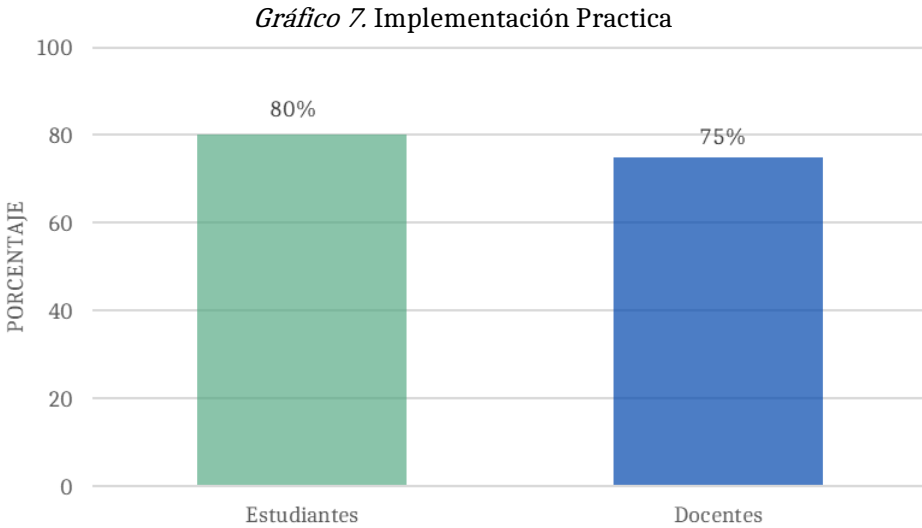


Fuente: Elaboración propia

Implementación Práctica

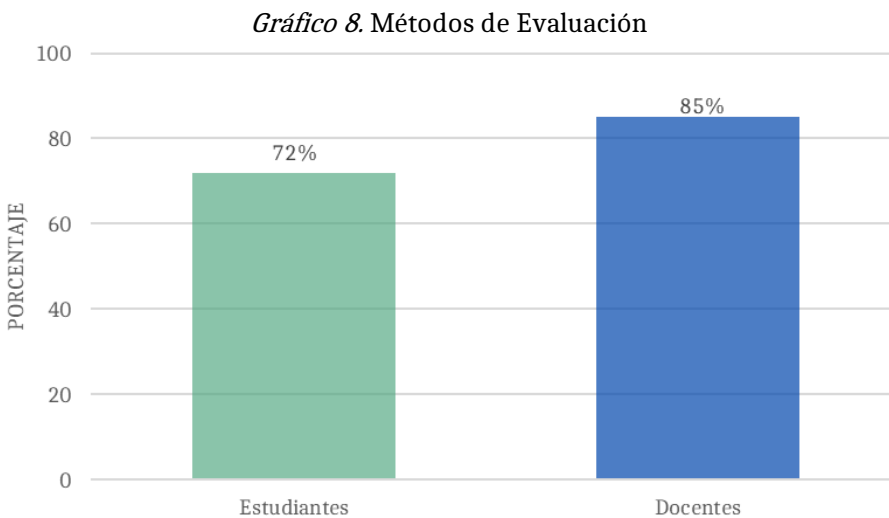
Estudiantes: El 80% de los estudiantes valoraron la oportunidad de aplicar sus conocimientos en proyectos reales.

Docentes: El 75% de los docentes destacaron la importancia de la colaboración con gobiernos y comunidades locales, aunque un 40% mencionó la necesidad de mejorar la coordinación.



Fuente: Elaboración propia

Métodos de Evaluación del Desempeño



Fuente: Elaboración propia

Estudiantes: El 72% de los estudiantes consideraron que los métodos de evaluación fueron variados e integrales.

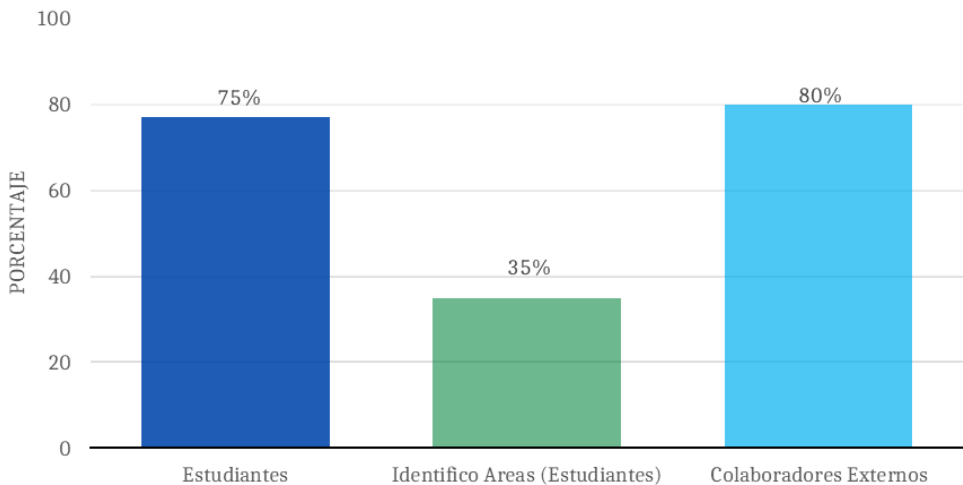
Docentes: El 85% de los docentes estuvieron satisfechos con la diversidad de métodos de evaluación utilizados.

Retroalimentación General del Curso

Estudiantes: El 77% de los estudiantes proporcionaron retroalimentación positiva sobre el curso, pero un 35% identificó áreas de mejora en la claridad de las instrucciones y la profundidad de algunos contenidos.

Docentes: El 80% de los docentes también ofrecieron retroalimentación positiva, coincidiendo en la necesidad de ajustar ciertos aspectos para mejorar el curso.

Gráfico 9. Retroalimentación del Curso



Fuente: Elaboración propia

En el estudio sobre la asignatura "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura", se recolectaron datos a través de entrevistas y focus groups con una muestra representativa de 50 estudiantes, 10 docentes y 5 colaboradores externos, seleccionados por su participación activa en el curso y proyectos relacionados. Los gráficos resultantes reflejan la percepción y evaluación de diferentes aspectos del curso, incluyendo la claridad y relevancia de los objetivos (Gráfico 1), la evaluación del conocimiento previo y necesidades educativas (Gráfico 2), la calidad y adecuación de los materiales didácticos (Gráfico 3), y la pertinencia de los estudios de caso (Gráfico 4). Además, se analizaron la profundidad del análisis de casos (Gráfico 4), la efectividad de las estrategias pedagógicas (Gráfico 5), y la integración de tecnologías educativas (Gráfico 7).

También se evaluó la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos (Gráfico 8), los métodos de evaluación del desempeño estudiantil y la retroalimentación general del curso (Gráfico 9).

DISCUSIÓN

El curso "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura" adopta una metodología mixta integral que combina técnicas cualitativas y cuantitativas para enseñar ética, sostenibilidad y promoción de la ética en el ámbito de la construcción. Cada fase del curso está diseñada para desarrollar habilidades técnicas y capacidades interpersonales, permitiendo a los estudiantes aplicar sus conocimientos en situaciones reales y colaborar con diferentes disciplinas y actores.

Asimismo, se menciona que el curso se basa en seis fases interconectadas, desde el análisis y planificación hasta la evaluación y retroalimentación. Si bien esta estructura parece proporcionar un marco sólido para el aprendizaje, sería beneficioso profundizar en cómo se facilita la transición entre estas fases y cómo se garantiza la coherencia y continuidad del proceso educativo. En este sentido, autores como Biggs y Tang (2011) ofrecen perspectivas sobre el diseño de currículos basados en competencias, destacando la importancia de la alineación entre objetivos de aprendizaje, actividades de enseñanza y estrategias para promover una experiencia educativa significativa y coherente.

Otro aspecto relevante es el énfasis en la colaboración interdisciplinaria y la responsabilidad social. Si bien esta integración es fundamental para abordar los desafíos complejos en la gestión de proyectos de infraestructura, sería importante explorar cómo se fomenta y evalúa esta colaboración en el contexto específico del curso. Autores como Healey y Jenkins (2009) ofrecen reflexiones sobre la enseñanza y el aprendizaje interdisciplinarios, destacando la importancia de crear entornos de aprendizaje inclusivos y facilitadores que promuevan la participación activa y la colaboración entre estudiantes de diferentes disciplinas.

En cuanto a la aplicación práctica de los principios éticos y sostenibles, es fundamental que los estudiantes no solo adquieran conocimientos teóricos, sino que también desarrollen habilidades para aplicar estos principios en situaciones reales. En este sentido, autores como Sterman (2006) abogan por enfoques de aprendizaje experiencial que permitan a los estudiantes enfrentarse a desafíos auténticos y reflexionar sobre sus experiencias para mejorar su comprensión y toma de decisiones éticas.

CONCLUSIONES

La asignatura "Construcción Ética y Sostenible: Integrando ética y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura" ha sido bien recibida y valorada por su enfoque multidisciplinario y práctico. Los estudiantes no solo adquirieron conocimientos teóricos, sino que también desarrollaron habilidades prácticas aplicables a sus contextos reales, contribuyendo así al desarrollo sostenible y la promoción de la ética en sus comunidades. La metodología en seis fases proporcionó una estructura clara y efectiva para la implementación del curso, aunque se identificaron oportunidades para mejorar en términos de actualización de materiales, variedad de casos de estudio y uso de tecnologías innovadoras en la enseñanza. Si bien el curso "Construcción Ética y Sostenible" ofrece una propuesta educativa completa y multidisciplinaria, existen áreas que podrían ser objeto de mayor reflexión y desarrollo para garantizar la efectividad y relevancia del aprendizaje. Al integrar las perspectivas y recomendaciones de diversos autores en el diseño y la implementación del curso, se puede mejorar la preparación de los estudiantes para abordar los desafíos éticos, sostenibles y de ética en el campo de la construcción de manera más efectiva y significativa. La integración de estas perspectivas en el curso ofrece una experiencia que prepara a los estudiantes para abordar los desafíos éticos, sostenibles y de ética en el campo de la construcción de manera efectiva y significativa. Sin embargo, para garantizar la relevancia y efectividad del aprendizaje, es fundamental seguir reflexionando sobre cómo equilibrar enfoques metodológicos, facilitar la transición entre fases del curso, fomentar y evaluar la colaboración interdisciplinaria y promover la práctica en situaciones reales. Para implementar los hallazgos del curso hacia la ética en sostenibilidad, es fundamental integrar objetivos claros alineados con principios éticos de gestión ambiental y responsabilidad social. Esto implica adaptar contenidos educativos para destacar estudios de caso que ilustren prácticas sostenibles, fomentar el debate ético mediante estrategias pedagógicas activas, y utilizar tecnologías educativas para explorar soluciones éticas a desafíos contemporáneos. Asimismo, la evaluación continua del conocimiento previo y la retroalimentación ajustada permitirán fortalecer la comprensión y aplicación práctica de estos principios, preparando a los estudiantes para enfrentar dilemas éticos.

Los estudiantes valoraron positivamente un caso de estudio en Oaxaca por varios motivos:

1. Relevancia y aplicación práctica: Si el caso de estudio permite a los estudiantes aplicar sus conocimientos teóricos en situaciones reales y relevantes, como problemas de diseño y construcción en comunidades vulnerables, podría ser percibido como una valiosa oportunidad de aprendizaje.

2. Desarrollo de habilidades: Los casos de estudio desafiantes pueden ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades críticas como la resolución de problemas, la

gestión de proyectos y la colaboración interdisciplinaria, aspectos fundamentales para su futura carrera profesional.

3. Conciencia social y responsabilidad: La oportunidad de trabajar en proyectos que benefician a comunidades vulnerables puede sensibilizar a los estudiantes sobre la importancia de la ética y la sostenibilidad en la práctica profesional.

Contribuciones de los autores: Fabiola Colmenero y Amparo Borrell desarrollaron la metodología junto con la preparación de la conceptualización y curación de datos; Rut Benavente, Fabiola Colmenero y Ramiro Rodríguez recopilaron y analizaron los datos. Fabiola Colmenero y Ramiro Rodríguez realizaron la parte de revisión y edición; Amparo Borrell se encargó de la adquisición de fondos; Fabiola Colmenero, Amparo Borrell, Rut Benavente y Ramiro Rodríguez, escribieron el artículo. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Agradecimientos

Esta publicación es parte de los proyectos de I+D+i PID2021-1285480B-C21&C22 y CNS2023-144190, financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 “FEDER Una manera de hacer Europa” y por la Unión Europea “NextGenerationEU”/PRTR, respectivamente.

REFERENCIAS

Albornoz, J.M. y Contreras, M.V. (2021). Diseño curricular orientado al desarrollo de competencias. En *Educación orientada al desarrollo de competencias: Guía para su implementación efectiva* (pp. 30-40). doi: 10.22533/at.ed.1302121104

Allenby, B.R. y Sarewitz, D.R. (2013). *The techno-human condition*. MIT Press.

Biggs, J. y Tang, C. (2011). *Teaching for Quality Learning at University*. Maidenhead, UK Open University Press.

Colmenero, F. (2022). Experiencias pedagógicas culturales e inclusivas en los sistemas educativos de México (RWYC México). *Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo*, 43(2), 24–36. Recuperado de: <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/678>

Das, B.B. y Neithalath, N. (2019). *Sustainable Construction and Building Materials*. Publisher: Springer Nature. doi: 10.1007/978-981-13-3317-0

Davies, T., Walker, S.B., y Rubinstein, M. (2019). *The State of Open Data: Histories and Horizons*. African Minds.

García, M., Torres, J., y Pérez, L. (2022). Integrating Ethics and Sustainability in Engineering Education: A Case Study in Oaxaca, Mexico. *Journal of Sustainable Development in Engineering Education*, 8(1), 45-59.

Gutierrez-Bucheli, L., Kidman, G., y Reid, A. (2022). Sustainability in engineering education: A review of learning outcomes. *Journal Of Cleaner Production*, 330, 129734. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129734

Harris, C.E., Pritchard, M.S., y Rabins, M.J. (2019). *Engineering Ethics: Concepts and Cases*. Wadsworth Publishing Co Inc.

Healey, M. y Jenkins, A. (2009). *Developing undergraduate research and inquiry*. Higher Education Academy.

Niglio, O. (2021). Towards a Humanist Education: Understanding Cultural Heritage to Redesign the Future. *Academia Letters*, 3223. doi: 10.20935/AL3223

OECD (2020). *Education in the Digital Age: Healthy and Happy Children*. OECD Publishing. doi: 10.1787/1209166a-en

Ogunyemi, K. (2015). *Teaching ethics across the management curriculum: a handbook for international faculty* (Primera Edición). Prensa Experta en Negocios.

Smith, D.K. y Tardif, M. (2009). *Building information modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers*. John Wiley & Sons.

Sterman, J.D. (2006). Learning from Evidence in a Complex World. *American Journal of Public Health*, 96(3), 505-514. doi: 10.2105/ajph.2005.066043

Trucano, M. (2013). *Will Technology Transform Education for the Better? World Bank Blogs*. Recuperado de: <https://www.povertyactionlab.org/sites/default/files/documents/education-technology-evidence-review.pdf>

UNESCO (2015). *Global Citizenship Education: Topics and Learning Objectives*. Recuperado de: https://www.edu-links.org/sites/default/files/media/file/Global%20citizenship%20education_%20topics%20and%20learning%20objectives%20-%20UNESCO%20Digital%20Library.pdf

Winston, N. (2021). Sustainable community development: Integrating social and environmental sustainability for sustainable housing and communities. *Sustainable Development*, 30(1), 191-202. doi: 10.1002/sd.2238

World Bank (2015). *Open Data for Sustainable Development*. Recuperado de: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/741081441230716917-0190022015/original/OpenDataforSustainabledevelopmentPNFINALONLINESeptember1.pdf>

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LAS COMPETENCIAS DOCENTES DE LOS FORMADORES DE DOCENTES

CRISTINA BORJA TOMÁS*, ASUNCIÓN RÍOS JIMÉNEZ*, JAVIER MULA FALCÓN*,
Y MARTA GARCÍA JIMÉNEZ**

**Universidad de Granada; **Universidad de Almería*

INTRODUCCIÓN

La implementación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) ha producido transformaciones significativas en las políticas educativas universitarias. Uno de los principales cambios es la educación basada en competencias. La nueva realidad ha llevado a un replanteamiento de la formación del profesorado de las universidades europeas. Tal y como corrobora De-Juanas y Beltrán (2014) los nuevos requerimientos en educación superior ponen de manifiesto la necesidad de que estos profesionales estén capacitados para poder integrar en las aulas universitarias nuevos modelos de aprendizaje y estrategias pedagógicas adecuadas.

Partiendo de estas premisas, el cambio más significativo para el profesorado universitario es la evolución en sus modelos de enseñanza, trascendiendo las concepciones tradicionales sobre su rol como transmisores de conocimiento hacia un enfoque más activo y colaborativo, centrado en el desarrollo de competencias y habilidades en los estudiantes (Zabalza, 2008). De forma que, se está apostando por una enseñanza que coloca al estudiante en el centro del proceso, promoviendo un aprendizaje activo y colaborativo a través del diálogo y la construcción conjunta del conocimiento (Gargallo et al., 2007). Este enfoque pedagógico rompe con los modelos tradicionales, que buscan como producto del aprendizaje la reproducción (Kember, 1997). Siendo así, se entiende que la calidad educativa depende en gran medida de la disposición de los docentes a comprometerse a desarrollar su profesión sobre la base de los nuevos roles que sugiere el EEES, lo que implica una actualización constante y un compromiso con la innovación pedagógica (De-Juanas y Beltrán, 2014).

En este contexto, es crucial que los profesores universitarios adquieran y desarrollen un conjunto de competencias que les permitan desarrollar su labor educativa con eficacia (Domínguez et al., 2014). De hecho, De-Juanas y Beltrán (2014) subrayan la preocupación existente por la ausencia de estas competencias en los docentes universitarios, ya que se consideran esenciales para asegurar una enseñanza de calidad. Moreno-Murcia et al. (2015) sugieren que la evaluación de las competencias docentes es clave para garantizar la calidad en las instituciones universitarias porque ayuda a identificar las fortalezas y debilidades del profesorado,

diseñar programas específicos de formación, promover la mejora continua y reflexionar sobre la práctica docente.

Este estudio se centra en el análisis de las competencias de los formadores de docentes, considerados como los docentes que enseñan cómo enseñar (Blume, 1971). Lunenberg et al. (2007) destacan la importancia de estos profesionales en la renovación pedagógica, y en el cambio de actitudes y creencias hacia la docencia. Además, subrayan que la manera en la que estos docentes desarrollan su labor profesional tiene un impacto mayor que el contenido teórico que transmiten. Korthagen et al. (2005) profundizan en esta idea al afirmar que los formadores de docentes no solo guían el aprendizaje sobre cómo enseñar, sino que, mediante su propia práctica docente, también sirven como modelos para los futuros docentes. De hecho, Blume (1971) señala que los profesores tienden a enseñar como fueron enseñados, no como fueron instruidos.

Debido a su relevancia, en los últimos años, este grupo de profesionales ha sido objeto de estudio en numerosas publicaciones que buscan identificar, definir y analizar las competencias necesarias para desempeñar su labor profesional con éxito. Los estudios sobre esta temática se pueden agrupar en dos categorías, aquellos que evalúan la eficacia del profesorado desde la perspectiva de los estudiantes (Dejene y Song, 2020; Valencic, 2007), y aquellos que lo hacen desde la perspectiva de los formadores (Ballantyne et al., 1999; Duarte, 2013). Si bien las evaluaciones externas aportan datos valiosos (De-Juanas y Beltrán, 2014), la autoevaluación ofrece una visión interna y única de la práctica docente. Esta última permite a los profesores una comprensión profunda de la práctica profesional mediante la reflexión y el análisis crítico (Pithouse-Morgan, 2022), y les proporciona a las instituciones educativas una herramienta para analizar la calidad formativa y profesional (Moreno-Murcia et al., 2015).

De-Juanas y Beltrán (2014), ante la proliferación de estudios sobre las competencias de los formadores de docentes, proponen una clasificación en 4 dimensiones. La primera, la competencia pedagógica, que está estrechamente asociada con la capacidad didáctica, el desarrollo de competencias y la formación de valores. Por ejemplo, Reichenberg et al. (2015) señalan que los formadores de docentes que accedieron a la docencia universitaria sin ninguna formación pedagógica encontraron dificultades para desarrollar con éxito su labor profesional.

La segunda, es la competencia académica, que se refiere al conocimiento de los profesores del contenido teórico de las asignaturas. Ping et al. (2018) afirman que los formadores de formadores deben conocer el contenido de la asignatura, cómo enseñarla y conocer el currículo. Por ejemplo, Superfine y Lin (2014) concluyen que los profesores que imparten contenido de matemáticas en la carrera de Educación Primaria necesitan tener conocimiento matemático.

La tercera dimensión es la personalidad del profesorado. Esta abarca desde las habilidades blandas de estos profesionales tales como las comunicativas, liderazgo, empatía o asertividad, hasta la ética profesional y las interacciones del profesorado con los estudiantes y compañeros. Por ejemplo, Paschal (2023) afirma que los docentes más éticos profesionalmente no solo establecen relaciones positivas con sus estudiantes, sino que también fomentan un clima más constructivo y respetuoso.

La última es la relacionada con la eficacia profesional, que enfatiza el compromiso académico del docente con su área de investigación y su desempeño pedagógico. Castle (2013) subraya la necesidad de que estos profesionales participen en congresos, publiquen sus resultados y creen comunidades de investigación para fortalecer su desarrollo profesional y su enseñanza.

Desde esta perspectiva, el presente estudio tiene como objetivo analizar las competencias de los formadores de profesores de las universidades valencianas.

MÉTODO

Participantes

Para la estimación inicial de la muestra representativa se tuvo en cuenta el número de formadores de profesores que impartían docencia en las universidades valencianas ($n=1338$). Según la fórmula de muestreo aleatorio simple para muestra finita, la muestra final ($n=331$) permitió obtener resultados estadísticamente significativos (Tagliacarne, 1968).

El profesorado trabajaba en la Universitat de València (24.5%), Universitat Jaume I (23.9%), Universidad Internacional de Valencia (14.8%), Universitat d'Alacant (14.2%), Universidad Católica de Valencia (13%), Universidad Cardenal Herrera (4.8%) y Florida Universitaria (4.8%) e impartía docencia en Educación Infantil, Educación Primaria, doble grado de Infantil y Primaria, Pedagogía, doble grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y Educación Primaria y Máster universitario en profesorado de educación secundaria obligatoria y bachillerato. La mayoría señalaron que impartían docencia en más de una titulación.

Del total de participantes, 144 fueron hombres (43.5%), 178 mujeres (53.8%) y 9 prefirieron no decirlo (2.7%). La mayor parte de los encuestados superaron los 41 años (32.6%) y tuvieron una experiencia docente 5 y 10 años (23.6%). Con respecto al rango, fueron principalmente profesores asociados (26.3%), contratados doctores (23.0%) y profesores titulares de universidad (19%).

Instrumento

Se utilizó el *Cuestionario de Evaluación de Intervención Docente (CEID)* (Moreno-Murcia et al., 2015). Este instrumento fue valorado a través de una *escala tipo Likert* con 5 alternativas que presentaba 28 ítems. Los ítems se estructuraron en

tres factores: planificación (ítems: 4, 20, 21 y 22), desarrollo (ítems: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 23 y 26) y resultado (ítems: 5, 6, 14, 24, 25, 27 y 28).

Procedimiento

En primer lugar, se identificó a los profesores a través de las páginas institucionales y se les contactó por correo. Tras explicar el objetivo de la investigación y garantizar la confidencialidad de los datos, se les invitó a participar voluntariamente a través del consentimiento informado, completando un cuestionario en Google Forms. La investigación recibió la aprobación del comité de ética de la universidad (registro 2762/CEIH/2022).

Análisis de datos

Los datos se analizaron con el *programa estadístico IBM SPSS*, respetando el anonimato.

RESULTADOS

Los datos iniciales del *CEID* indicaron que las medias y desviaciones estándar de cada respuesta del cuestionario se agruparon en torno a valores elevados, cercanos al máximo de 5 puntos (Tabla 1). Este hallazgo sugirió un alto nivel de consenso entre los docentes involucrados en la formación del profesorado o en titulaciones relacionadas con la educación.

Tabla 1. Medias y desviaciones típicas para cada respuesta del CEID

		%						
		Media	DT	1	2	3	4	5
Planificación	4. Informa con claridad en el programa de los objetivos, bibliografía, tutorías, contenidos y métodos de evaluación.	4.77	.568	0.9	-	1.8	15.7	81.6
	20. Diseña y relaciona los contenidos teóricos con los prácticos.	4.74	.608	0.9	-	3.3	16.0	79.8
	21. Incorpora y emplea con eficiencia las TICs.	4.03	1.035	3.3	4.8	17.5	34.1	40.2
	22. Domina los contenidos de la asignatura.	4.70	.601	0.9	-	2.1	22.1	74.9
Desarrollo	1. Presenta los contenidos mínimos de su materia ajustándose al nivel de conocimientos del alumnado.	4.08	1.002	3.6	3.9	12.7	39.9	39.9
	2. Es fácilmente accesible (tutorías, correos, etc.).	4.82	.539	0.9	-	1.8	10.3	87.0
	3. Permite al estudiante la organización y distribución de parte de las tareas a realizar en la asignatura.	4.18	.978	3.0	2.7	14.2	33.8	46.2
	7. Presenta los contenidos siguiendo un esquema claro y lógico, destacando lo importante	4.65	.649	0.6	0.3	5.1	21.1	72.8
	8. Permite y estimula la participación del alumnado.	4.69	.647	0.6	0.9	3.9	17.5	77.0
	9. Propicia el trabajo individual.	3.96	1.061	2.1	8.8	19.3	30.8	39.0
	10. Propicia el trabajo en equipo.	4.53	.874	3.0	0.9	4.8	22.1	69.2
	11. Relaciona los aprendizajes con el ámbito profesional.	4.70	.641	0.6	0.9	3.6	17.5	77.3
12. Realiza síntesis iniciales y finales de la sesión y/o tema en clase.	4.14	.980	2.4	3.9	15.7	33.5	44.4	

Tabla 1. Medias y desviaciones típicas para cada respuesta del CEID (continuación)

		%						
		Media	DT	1	2	3	4	5
Resultados	13. Favorece el interés del alumnado y la motivación por aprender.	4.56	.673	0.6	0.3	5.7	29.0	64.4
	15. Facilita la interacción estudiante-estudiante y estudiante-docente.	4.70	.658	0.9	0.9	3.0	17.2	77.9
	16. Atiende y responde con claridad las consultas realizadas en clase.	4.76	.556	0.6	0.3	1.8	16.9	80.4
	17. Atiende adecuadamente las tutorías que se le solicitan.	4.81	.592	0.9	0.3	3.3	8.2	87.3
	18. Mantiene una postura objetiva y respetuosa con el alumnado.	4.83	.524	0.9	-	1.2	10.9	87.0
	19. Organiza actividades para que el estudiante participe activamente en las tareas de clase.	4.65	.524	0.9	0.9	3.9	20.5	73.7
	23. Interrelaciona los contenidos de la materia con otras asignaturas.	4.12	.933	1.8	5.1	11.8	41.7	39.6
	26. Se relaciona satisfactoriamente con el alumnado.	4.67	.640	0.9	-	3.9	21.5	73.7
	5. Informa de las competencias previstas que el estudiante tiene que adquirir.	4.24	.999	2.7	4.2	11.5	29.0	52.6
	6. Proporciona información científica que permite conocer más y mejor la materia.	4.47	.752	0.3	1.8	8.5	29.0	60.4
	14. Fomenta la investigación y el espíritu crítico de los estudiantes.	4.53	.748	0.6	1.5	7.3	25.7	65.0
	24. Aplica el programa establecido con cierta flexibilidad, para una mejor dinámica de clase.	4.49	.698	0.3	1.2	6.3	33.2	58.9
	25. Utiliza recursos materiales que facilitan el aprendizaje.	4.50	.865	3.0	0.9	3.9	27.2	65.0
	27. Diseña el contenido y desarrolla la asignatura para favorecer la adquisición de competencias profesionales.	4.54	.771	1.8	0.6	4.5	27.5	65.6
28. Aplica los criterios de evaluación de las actividades correspondientes a los establecidos en el programa.	4.68	.642	0.9	0.3	3.3	20.8	74.6	

Tabla 2. Medias y desviaciones típicas por dimensión del CEID

Dimensiones	M	DT
Planificación	4.5597	.52226
Desarrollo	4.5218	.50072
Resultados	4.4950	.58089

Planificación

La dimensión que obtuvo mayor valoración media en el estudio fue Planificación (Tabla 2). Estos resultados se atribuyeron a que, en general, los docentes afirmaron haber poseído un profundo conocimiento de las asignaturas que impartían (74.9%), así como sólidas habilidades pedagógicas para organizar y estructurar el proceso de enseñanza (81.6%). Además, indicaron haber conectado los contenidos teóricos con actividades prácticas (79.8%) y haber utilizado herramientas tecnológicas para enriquecer el aprendizaje (40.2%).

Desarrollo

Los resultados mostraron que los profesores estuvieron “totalmente de acuerdo” con el uso de estrategias que promovieron el aprendizaje activo, tales como el trabajo colaborativo (69.2%), la conexión de los contenidos con el mundo real (77.3%) y la estimulación de la participación (77.0%). Pero también lo estuvieron con su compromiso por establecer relaciones cercanas y respetuosas con sus estudiantes (87.3%), facilitando la comunicación (87.0%) e interacción (77.9%).

Resultados

Los hallazgos de esta dimensión mostraron que los docentes se enfocaron en desarrollar competencias específicas (52.6%), proporcionar información actualizada y relevante (60.4%), fomentar la investigación y el pensamiento crítico (65.0%), adaptarse al ritmo de sus estudiantes (58.9%), utilizar recursos didácticos (65.0%) y diseñar actividades y evaluaciones alineadas con los objetivos establecidos al inicio del curso (74.6%).

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio han revelado un notable dominio de las competencias por parte de los docentes universitarios de titulaciones relacionadas con la enseñanza y educación. Este hallazgo ha estado en consonancia con el de Domínguez et al. (2014), quienes también evidenciaron que el profesorado mostró un alto nivel en el manejo de competencias, lo cual tuvo un impacto positivo en la mejora de la práctica docente y en la adaptación a los retos del EEES. De manera similar, la revisión realizada por Ping et al. (2018) subrayaron la necesidad de que los formadores de docentes tuviesen desarrolladas unas competencias específicas para ofrecer una enseñanza de calidad, servir como modelos adecuados para sus estudiantes y contribuir al desarrollo profesional dentro del ámbito universitario. Kosnik et al. (2015) respaldaron estas ideas al destacar que el dominio de competencias en áreas como la investigación o la pedagogía resultó crucial para el éxito en la formación de futuros docentes.

El análisis de las dimensiones ha permitido comprobar que los formadores mostraron una tendencia hacia la adopción de unas prácticas docentes que se enmarcaban en el modelo centrado en el aprendizaje, de corte constructivista. Este hallazgo se pudo comprobar en las respuestas relacionadas con la metodología docente, materiales didácticos, uso de las tutorías, relación con sus estudiantes o el sistema evaluativo. Las altas puntuaciones en estos ítems sugirieron una fuerte inclinación hacia este modelo de enseñanza. Korthagen et al. (2005) también notaron que los formadores de docentes se adaptaban a los nuevos conocimientos sobre la enseñanza, el aprendizaje y el papel de la investigación. Ahora bien, Gargallo et al.

(2007) afirmaron que normalmente los docentes no sintonizaban con un único modelo, sino que se decantaban por variaciones y categorías intermedias. Izadinia (2014) señaló que los formadores de docentes, aunque mostraban una inclinación hacia el aprendizaje activo, tendían a integrar elementos de diversos modelos pedagógicos en función del contexto, necesidades de los estudiantes, habilidades docentes o la asignatura.

Aunque se han observado puntuaciones altas en todos los ítems, ha llamado la atención que las más altas se concentrasen en los ítems relacionados con la accesibilidad, postura respetuosa con los estudiantes y atención en tutorías. Los hallazgos sugirieron que los formadores de docentes estaban comprometidos con ofrecer una atención individualizada y con mantener un trato justo, equitativo y respetuoso con su alumnado. Estos aspectos fueron necesarios para desarrollar con éxito los modelos de corte constructivista, que demandaron una adecuada interacción, apoyo personalizado y atención a la individualidad del alumnado (Kember, 1997). De igual manera, Paschal (2023) los consideró esenciales para fomentar un entorno educativo efectivo y desarrollar una práctica docente ética. Según Paschal, los formadores de docentes, al mantener una actitud respetuosa y justa, no solo fortalecieron la relación con sus estudiantes, sino que también contribuyeron a desarrollar en ellos una identidad profesional sólida, basada en valores éticos y en un compromiso con la profesión.

Los ítems con menor consenso entre los formadores de docentes se reflejaron en la promoción del trabajo individual, la interrelación de contenidos con otras asignaturas y la integración de las TIC en las aulas. Atendiendo al trabajo individual, se ha observado que la mayoría del profesorado prefirieron promover las actividades grupales. Esto pudo deberse a que la mayoría de los formadores priorizaron el desarrollo de las habilidades blandas de sus estudiantes (por ejemplo, trabajo en equipo, colaboración, resolución de problemas y comunicación efectiva), mientras que un grupo menor enfatizó la autonomía y responsabilidad individual. En este sentido, Hornby (2009) informó que las prácticas de aprendizaje cooperativo estaban relacionadas con un mayor logro académico que las individuales, además de permitir un entrenamiento más efectivo de las habilidades blandas del alumnado. Todo esto ha podido explicar las preferencias por actividades grupales en la formación docente.

La segunda consideración fue que la interdisciplinariedad no se priorizó entre los formadores de docentes. Bertram y Rusznyak (2023), señalaron que los currículos tradicionales eran tan rígidos que dificultaban la integración de diferentes disciplinas. Además, Cheng et al. (2013) informaron que los formadores de docentes necesitaban contar con una base de competencias pedagógicas clara, habilidades en el manejo de técnicas y un dominio de las disciplinas para favorecer la integración interdisciplinaria en sus prácticas profesionales.

La última consideración fue que los formadores de docentes mostraron discrepancias en la utilización de las nuevas tecnologías. Buils et al. (2022) detectaron que las principales barreras para el uso efectivo de las TIC por parte de los formadores eran la falta de tiempo y dispositivos adecuados (por ejemplo, ordenadores, tabletas), conexiones a internet insuficientes y limitaciones en los recursos disponibles. Brooks (2012) sugirió que, aunque las aulas universitarias equipadas con tecnología tuvieron el potencial para mejorar de experiencia de aprendizaje, por sí solas no garantizaron mejores resultados. La clave estuvo en las prácticas pedagógicas del profesorado y en las interacciones entre estudiantes y profesores.

El propósito de este estudio es analizar, en función de las valoraciones de los formadores de docentes, sus competencias en diversas áreas relacionadas con su práctica profesional. Las respuestas recogidas permiten proporcionar información sobre el desempeño de estos profesionales. Como se manifiesta en las dimensiones del CEID, los formadores han alineado su docencia con las sugerencias del EEES. Los resultados reflejan que la gran mayoría de los formadores de docentes se inclinan hacia planteamientos que coinciden con un modelo centrado en el aprendizaje. Estos hallazgos son relevantes y destacan características que favorecen un planteamiento constructivista, como la disponibilidad para atender al alumnado, accesibilidad y el trato equitativo, justo y respetuoso con el alumnado.

El presente estudio tiene varias limitaciones. En primer lugar, al tratarse de un cuestionario autoadministrado, las respuestas pueden estar influenciadas por la tendencia de los participantes a presentar una imagen más positiva de su desempeño profesional. En segundo lugar, los resultados reflejan un contexto y momento específico, por lo que los resultados no se pueden generalizar. Por último, el estudio se ha centrado exclusivamente en los formadores de docentes de las universidades. Sería interesante que futuras investigaciones incluyeran una visión más amplia de las competencias docentes, incluyendo también a los profesores de las escuelas que supervisan a los estudiantes en prácticas, porque también participan en la formación de los estudiantes de magisterio.

Agradecimientos

Este trabajo pertenece al proyecto de I+D+i PID2021-129018NB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033/ y por FEDER, UE.

REFERENCIAS

- Ballantyne, R., Bain, J., y Packer, J. (1999). Researching university teaching in Australia: Themes and issues in academics' reflections. *Studies in Higher Education*, 24(2), 237–257. doi: 10.1080/03075079912331379918
- Bertram, C. y Ruzsnyak, L. (2024). Navigating Tensions in Designing a Curriculum That Prepares Preservice Teachers for School-Based Learning. *Education As Change*, 28. doi: 10.25159/1947-9417/14677
- Blume, R. (1971). Humanizing teacher education. *Phi Delta Kappan*, 52(7), 411-415.
- Brooks, D. (2012). Space and consequences: The impact of different formal learning spaces on instructor and student behavior. *Journal of Learning Spaces*, 1(2).
- Buils, S., Esteve-Mon, F., Sánchez-Tarazaga, L., y Arroyo-Ainsa, P. (2022). Análisis de la perspectiva digital en los marcos de competencias docentes en Educación Superior en España. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 25(2), 133-152. doi: 10.5944/ried.25.2.32349
- Castle, K. (2013). The State of Teacher Research in Early Childhood Teacher Education. *Journal of Early Childhood Teacher Education*, 34(3), 268–286. doi: 10.1080/10901027.2013.816807
- Cheng, M., Tang, S., y Cheng, A. (2013). Differences in pedagogical understanding among student-teachers in a four-year initial teacher education programme. *Teachers and Teaching*, 20(2), 152–169. doi: 10.1080/13540602.2013.848566
- Dejene, W. y Song, H. (2020). Conceptions of teaching & learning and teaching approach preference: Their change through preservice teacher education program. *Cogent Education*, 7(1). doi: 10.1080/2331186X.2020.1833812
- De-Juanas, Á. y Beltrán, J. (2014). Valoraciones de los estudiantes de ciencias de la educación sobre la calidad de la docencia universitaria. *Educación XXI*, 17(1), 57-82. doi: 10.5944/educxx1.17.1.10705
- Domínguez, C., Leví, G., Medina, A., y Ramos, E. (2014). Las competencias docentes: diagnóstico y actividades innovadoras para su desarrollo en un modelo de educación a distancia. *REDU: Revista de Docencia Universitaria*, 12(1), 239-267. doi: 10.4995/redu.2014.6431
- Duarte, F. (2013). Conceptions of Good Teaching by Good Teachers: case studies from an Australian University. *Journal of University Teaching & Learning Practice*, 10(1), 1-17. doi: 10.53761/1.10.1.5
- Gargallo, B., Fernández, A., y Jiménez, M. (2007). Modelos docentes de los profesores universitarios. *Teoría de la Educación*, 19(1), 167-189. doi: 10.14201/3256
- Hornby, G. (2009). The effectiveness of cooperative learning with trainee teachers. *Journal of Education for Teaching*, 35(2), 161–168. doi: 10.1080/02607470902771045
- Izadinia, M. (2014). Teacher educators' identity: a review of literature. *European Journal of Teacher Education*, 37(4), 426–441. doi: 10.1080/02619768.2014.947025
- Kember, D. (1997). A reconceptualisation of the research into university academics' conceptions of teaching. *Learning and Instruction*, 7(3), 255-275. doi: 10.1016/S0959-4752(96)00028-X

Korthagen, F., Loughran, J., y Lunenberg, M. (2005). Teaching teachers—Studies into the expertise of teacher educators: An introduction to this theme issue. *Teaching and Teacher Education*, 21(2), 107-115. doi: 10.1016/j.tate.2004.12.007

Kosnik, C., Menna, L., Dharamshi, P., Miyata, C., Cleovoulou, Y., y Beck, C. (2015). Four spheres of knowledge required: an international study of the professional development of literacy/English teacher educators. *Journal of Education for Teaching*, 41(1), 52-77. doi: 10.1080/02607476.2014.992634

Lunenberg, M., Korthagen, F., y Swennen, A. (2007). The teacher educator as a role model. *Teaching and Teacher Education*, 23(5), 586-601. doi: 10.1016/j.tate.2006.11.001

Moreno-Murcia, J., Silveira, Y., y Belando, N. (2015). Cuestionario de evaluación de las competencias docentes en el ámbito universitario. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 4(1), 60-66. doi: 10.7821/naer.2015.1.106

Paschal, M. (2023). Ethics in the teaching profession: A practical approach to teachers' professionalism. *International Journal of Social Sciences and Educational Studies*, 10(3), 82-94. doi: 10.1234/ijsses.2023.1003

Ping, C., Schellings, G., y Beijaard, D. (2018). Teacher educators' professional learning: A literature review. *Teaching and Teacher Education*, 75, 93-104. doi: 10.1016/j.tate.2018.06.003

Pithouse-Morgan, K. (2022). Self-study in teaching and teacher education: Characteristics and contributions. *Teaching and Teacher Education*, 119, 103880. doi: 10.1016/j.tate.2022.103880

Reichenberg, R., Avissar, G., y Sagee, R. (2014). 'I owe to my tutor much of my professional development': looking at the benefits of tutoring as perceived by the tutees. *Professional Development in Education*, 41(1), 40-56. doi: 10.1080/19415257.2013.866974

Superfine, A. y Li, W. (2014). Developing mathematical knowledge for teaching teachers: A model for the professional development of teacher educators. *Issues in Teacher Education*, 23(1), 113-132.

Tagliacarne, G. (1968). *Técnicas y práctica de las investigaciones de mercado*. Barcelona: Ariel.

Valencic, M. (2007). Student's conceptions of knowledge, the role of the teacher and learner as important factors in a didactic school reform. *Educational Studies*, 33(1), 29-40. doi: 10.1080/03055690600948166

Zabalza, M. (2008). *Las competencias docentes del profesorado universitario: calidad y desarrollo profesional*. Madrid: Narcea.

CAPÍTULO 4

MINERÍA Y QUÍMICA (MIQUI): SOSTENIBILIZACIÓN CURRICULAR Y PRÁCTICAS DOCENTES MULTIDISCIPLINARES APLICADAS A TITULACIONES DE INGENIERÍA

VICENTE AGUSTÍN LÓPEZ SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, MARÍA TERESA COTES PALOMINO,
CARMEN MARTÍNEZ GARCÍA, Y ANA BELÉN LÓPEZ GARCÍA
Universidad de Jaén

INTRODUCCIÓN

Las sostenibilización curricular en la enseñanza universitaria de las ingenierías

La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), promovida por la UNESCO, responde a los desafíos urgentes del planeta reorientando la educación hacia el desarrollo sostenible. La EDS es fundamental en la Agenda 2030 (ONU, 2015) y el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 (ODS 4), y es clave para lograr los 17 ODS (UNESCO, 2021).

Con la Declaración de Bolonia (1999) y la creación de nuevos grados se inició un debate sobre las competencias en sostenibilidad que deben adquirir los titulados universitarios. Las universidades han firmado compromisos para incluir el desarrollo sostenible en su oferta formativa, como la Copernicus Charta 2.0 (2011). En España, la Conferencia de Rectores para las Universidades Españolas (CRUE) creó en 2012 el Grupo de Trabajo de Calidad Ambiental y Desarrollo Sostenible para desarrollar directrices para la “sostenibilización curricular”. Este concepto implica un cambio de paradigma educativo, sustituyendo la visión estática de la realidad por una más dinámica, fomentando el pensamiento sistémico, mejorando la contextualización de la enseñanza y adoptando una concepción integral de la educación (Barrón, Navarrete, y Ferrer-Balas, 2010).

Implementar este cambio de paradigma ha encontrado obstáculos, como el escaso conocimiento del concepto entre la comunidad universitaria, la falta de formación en sostenibilidad del profesorado y la dificultad para incluir la sostenibilidad en el currículo y en los procesos de evaluación (Villamandos, Gomera, y Antúnez, 2019).

El profesorado es clave en este proceso, ya que planifica e imparte la formación. Es urgente ofrecerle una formación integral en sostenibilidad. La Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (SDSN) publicó en 2017 una guía que ha ayudado a las instituciones de educación superior a entender su papel en la consecución de los ODS. En España, el documento “Implementando la Agenda 2030 en la universidad. Casos

inspiradores” (Miñano y García, 2020) recopila experiencias para inspirar y movilizar a instituciones a implementar la EDS adecuadamente.

La formación en desarrollo sostenible es multidisciplinar y necesita contribuciones de diversas áreas. Entre ellas la ingeniería puede jugar un papel destacado (Mihelcic et al., 2003; Martínez, Cotes, y López, 2021). Sin embargo, la alta especialización en los planes de estudios de ingeniería ha llevado a una compartimentación del conocimiento sobre importantes ámbitos de la actividad técnica (Jiménez-Alonso et al., 2010), por ejemplo, la explotación y el reciclaje de los recursos mineros.

El proyecto de innovación docente (PID) “Minería y Química; Integración de prácticas docentes multidisciplinarias aplicadas a titulaciones de Ingeniería: sostenibilización curricular (MIQUI)”, del Plan de Proyectos de Innovación y Mejora Docente en la Universidad de Jaén 2019-2024 (Referencia PIMED11_202123), busca realizar actividades docentes multidisciplinarias en tres asignaturas de tres titulaciones de ingeniería diferentes de la Escuela Politécnica Superior de Linares (EPSL, Universidad de Jaén) (Figura 1).

Figura 1. Titulaciones y asignaturas involucradas en MIQUI



En “Yacimientos Minerales” (Grado en Ingeniería de Tecnologías Mineras; ITM), se estudian las características geológicas de los yacimientos minerales y su explotación, pero se omite la reutilización de los residuos mineros. En “Experimentación en Ingeniería Química II” (Grado en Ingeniería Química Industrial; IQI), se enseñan operaciones de separación y transmisión de calor, sin abordar el origen y tratamiento de los materiales. En “Tecnología del medio ambiente y valorización de residuos” (Máster Universitario en Ingeniería de los Materiales y Construcción Sostenible; IMCS), se exploran tecnologías para valorizar residuos, incluidos los de la industria minera, pero se ignoran el origen y tratamiento de estos materiales.

Como alternativa a esta fragmentación, el PID MIQUI presenta actividades de sostenibilización curricular aplicadas a estas asignaturas, mostrando cómo la

multidisciplinaria puede fomentar la EDS y contribuir a formar profesionales preparados para abordar los desafíos del desarrollo sostenible. El estudio, explotación, tratamiento y valorización de las menas y residuos de un yacimiento mineral deben ser abordados como un proceso integral. La Economía Circular, fundamentada en esta visión, es clave para la producción sostenible de minerales y metales, objetivo prioritario del desarrollo sostenible en la minería (International Council on Mining and Metals, 2016).

MIQUI: Un proyecto de innovación docente sobre minería y química

El objetivo principal del proyecto MIQUI ha sido el diseño y realización, en el primer cuatrimestre de los cursos académicos 2022-23 y 2023-24, de actividades académicas coordinadas y multidisciplinarias para el alumnado de las titulaciones antes mencionadas, para mejorar su formación sobre el ciclo de vida completo de los minerales extraídos en las explotaciones mineras, así como de los residuos generados. Partiendo del estudio de los yacimientos y los residuos mineros del cercano Distrito Minero de Linares, la puesta en marcha de las distintas actividades (seminarios introductorios, visita de campo y muestreo, prácticas de caracterización de materiales geológicos y residuos y seminario de valorización de éstos) ha ido permitiendo tomar conciencia y reflexionar sobre los retos y las oportunidades que plantean los distritos mineros abandonados. Las tareas mencionadas han sido realizadas con la participación activa del alumnado de las asignaturas implicadas y mediante la aplicación de las metodologías de aula invertida y entornos colaborativos. Las distintas actividades de evaluación del proyecto ponen de manifiesto la satisfacción por los resultados obtenidos, tanto por parte del estudiantado como del profesorado implicado. Se resalta así la importancia de la sostenibilización curricular y de la aplicación de metodologías docentes multidisciplinarias y colaborativas en los estudios universitarios.

Objetivos del proyecto

El proyecto MIQUI plantea un objetivo general (OG), desglosado en cuatro objetivos específicos (OE), en los cuales el OE1 se desglosa, a su vez, en tres objetivos subspecíficos (Figura 2).

La consecución de estos objetivos ha guiado todas las actividades realizadas. Éstas se agrupan en:

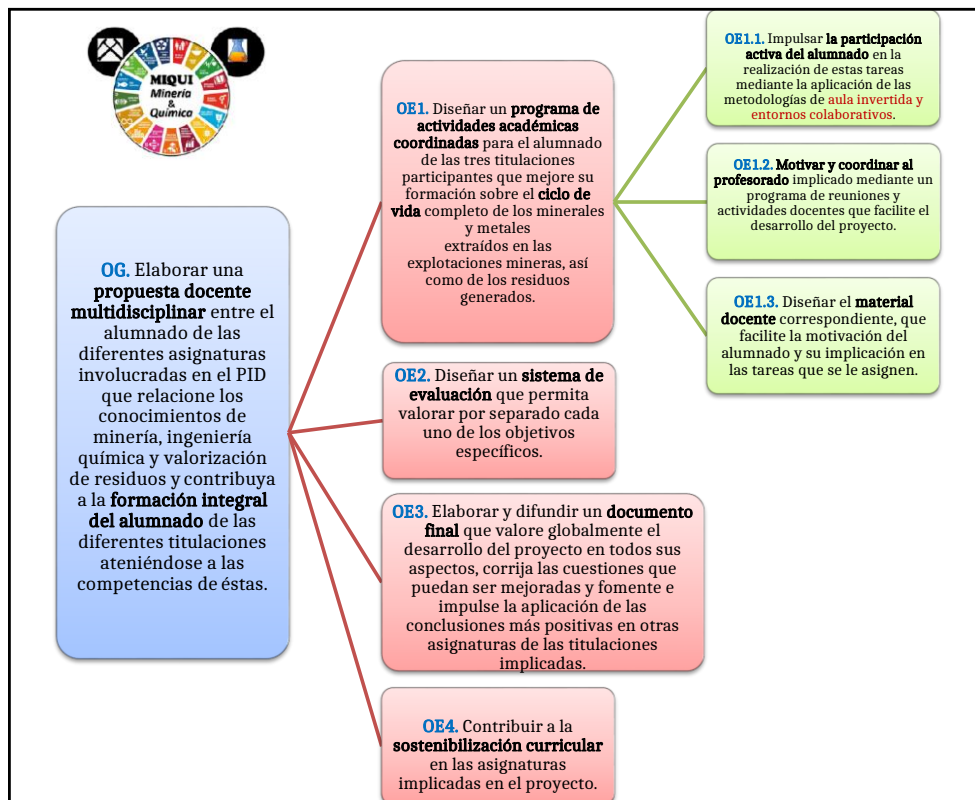
Actividades docentes: OE1, OE1.1 y OE1.3

Actividades de coordinación y motivación del profesorado: OE1 y OE1.2.

Actividades de evaluación: OE2.

Actividades de análisis, discusión y difusión de los resultados: OE3 y OE4.

Figura 2. Objetivos del PID MIQUI

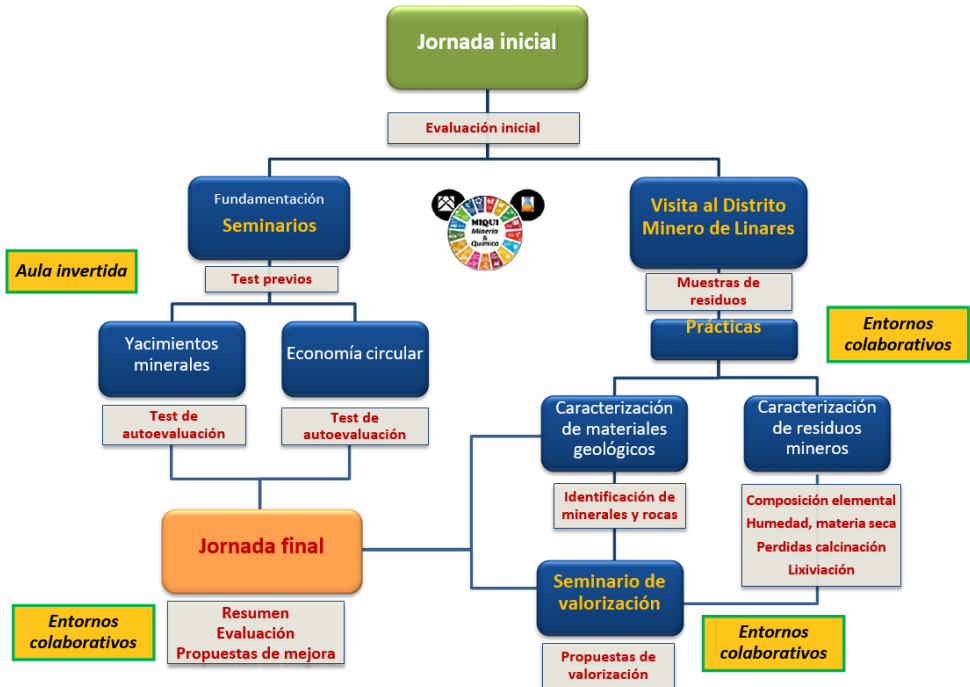


MÉTODO

Justificación, planificación y recursos disponibles

La Figura 3 muestra la metodología implementada y las actividades llevadas a cabo en el proyecto. El orden y el contenido de las actividades se establecieron para que el resultado de cada una de ellas posibilitara el desarrollo de la siguiente mediante la generación de los materiales necesarios para ello. Así, la Jornada inicial y los seminarios establecieron el marco organizativo y conceptual para todas las demás actividades. La visita al distrito minero permitió entender la formación de los residuos mineros y tomar las muestras que se caracterizaron en las dos sesiones prácticas. Los resultados cualitativos y cuantitativos de estas determinaciones fueron el material de partida para las propuestas del seminario de valorización. Finalmente, los resultados de todas estas actividades fueron revisados y valorados en la Jornada final.

Figura 3. Relación entre las actividades docentes de MIQUI, los resultados obtenidos (rectángulos grises con texto en granate) y las metodologías docentes aplicadas (rectángulos con fondo amarillo)



Las actividades docentes llevadas a cabo durante los dos cursos académicos, su temporización durante el primer cuatrimestre del curso, los/as responsables de cada actividad, las metodologías empleadas y los resultados más destacables se resumen en la Tabla 1. Todas las actividades del proyecto de innovación eran obligatorias para el alumnado y estaban recogidas en las guías docentes oficiales de cada asignatura durante el periodo de vigencia del proyecto.

Tabla 1. Resumen de las actividades docentes realizadas en el proyecto MIQUI

Actividades docentes	Fechas (1er cuatrim.)	Responsables de la actividad*	Metodología docente	Materiales generados
Jornada inicial	Septiembre: semana 3	Profesores coordinadores	Exposición tradicional Diálogo posterior	Presentación. Cuestionario de evaluación inicial.
Seminario 1: Yacimientos minerales	Octubre: semana 1	PITM	Aula invertida Exposición tradicional	Videos y cuestionarios para aula invertida. Vídeo de la presentación.
Seminario 2: Economía circular	Octubre: semana 2	PIMC	Aula invertida Exposición tradicional	Videos y cuestionarios para aula invertida. Vídeo de la presentación.
Visita al Distrito Minero de Linares	Noviembre: semana 2	PITM	Explicaciones, observaciones y toma de muestras	Paneles explicativos de las paradas realizadas. Muestras de residuos mineros
Práctica: caracterización de minerales y rocas	Noviembre: semana 4	EITM (supervisión de PITM)	Entornos colaborativos	Presentaciones de los estudiantes. Resultados de la caracterización.
Práctica: caracterización de residuos	Diciembre: semana 1	EIQI (supervisión de PIQI)	Entornos colaborativos	Presentaciones de los estudiantes. Resultados de la caracterización.
Seminario 3: Valorización de los residuos mineros	Diciembre: semana 2	EIMC (supervisión de PIMC)	Entornos colaborativos	Presentaciones y pósteres para las explicaciones a cargo de los estudiantes. Propuestas de valorización de residuos.
Jornada final	Febrero: semana 1	Todo el profesorado Todos los estudiantes	Exposición tradicional Entornos colaborativos	Presentación. Pósteres a cargo de los estudiantes. Cuestionarios de evaluación final. Propuestas de mejora.

El PID MIQUI ha dispuesto de un espacio en la plataforma telemática PLATEA de la Universidad de Jaén, que ha sido utilizada como repositorio del material docente y de evaluación generado y como vehículo de contacto con el alumnado (Fig. 4). El material incluye los cuestionarios de evaluación de las actividades (elaborados mediante Google Forms), la presentación de la Jornada inicial, los enlaces a videos y otros materiales para las actividades de aula invertida, los videos de las presentaciones de los seminarios iniciales, los materiales necesarios para la realización de las prácticas de caracterización y los resultados obtenidos de éstas, y los pósteres y presentaciones del seminario de valorización y de la Jornada final.

Descripción de las actividades docentes

Jornada inicial

En la jornada inicial se presentó el proyecto a los estudiantes, informándoles sobre los objetivos, actividades, cronograma, y tareas específicas (Figura 4). Se resaltó el carácter multidisciplinar de las actividades y su contribución a la sostenibilidad curricular en los planes de estudio de las titulaciones involucradas.

Figura 4. Cartel de la Jornada Inicial del curso 2022/23. Detalles de la presentación utilizada en la Jornada. Espacio de MIQUI en PLATEA

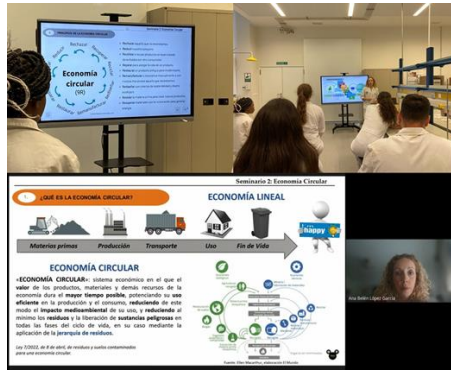
El cartel de la Jornada Inicial del curso 2022/23 presenta el proyecto de innovación docente "Minería y química: integración de prácticas docentes multidisciplinares aplicadas a titulaciones de ingeniería: Sostenibilización curricular (MIQUI)". El evento se celebró el 19 de septiembre de 2022 a las 15:30 h en la Escuela Politécnica Superior de Linares. El cartel incluye un índice con tres puntos: 1. INTRODUCCIÓN, 2. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES, y 3. SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y ENCUESTAS. También se menciona la coordinación del proyecto por Teresa Cortés Palomino y Vicente A. Lizasoain, y la colaboración de Ana B. López García y Carmen Martínez García. El cartel también muestra el logo de PLATEA y UJA.

PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE
"Minería y química: integración de prácticas docentes multidisciplinares aplicadas a titulaciones de ingeniería: Sostenibilización curricular (MIQUI)"
19 DE SEPTIEMBRE 2022 15,30 h
JORNADA INICIAL
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
FINANCIADA POR COLABORA
COORDINACIÓN: Teresa Cortés Palomino, Vicente A. Lizasoain
COLABORA: Ana B. López García, Carmen Martínez García
ÍNDICE
1. INTRODUCCIÓN
2. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES
3. SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y ENCUESTAS
Espacio de MIQUI en PLATEA

Seminarios introductorios

Se impartieron seminarios sobre Yacimientos Minerales y Economía Circular para establecer el marco conceptual del proyecto (Figura 5). Estos seminarios abordaron la importancia social y económica de los yacimientos minerales, la necesidad de replantear su explotación y el destino de los residuos mineros en el marco de la Economía Circular. Los seminarios fueron seguidos de tiempo de diálogo para aclarar dudas y discutir la importancia de los contenidos tratados. Antes de cada seminario, y mediante la metodología de aula invertida, los estudiantes realizaron test de conocimientos previos y respondieron a cuestionarios basándose en videos de conferencias sobre estos temas.

Figura 5. Seminario sobre “Economía Circular” y video para aula invertida



Visita al Distrito Minero de Linares

Esta visita fue esencial para las siguientes actividades del proyecto (Figura 6). En el Distrito Minero de Linares, donde se explotaron yacimientos de plomo (Pb) y plata (Ag) durante los siglos XIX y XX, los estudiantes pudieron:

- Conocer las características geológicas de los yacimientos minerales.
- Estudiar los procesos de explotación y concentración de menas y metales.
- Observar los diferentes tipos de residuos mineros generados y su impacto ambiental.
- Tomar muestras de éstos para las prácticas de caracterización.

Figura 6. Imágenes de las visitas al Distrito Minero de Linares



Prácticas de caracterización de residuos mineros

Estas prácticas se llevaron a cabo en dos sesiones: una para la caracterización de materiales geológicos y otra para la caracterización química de los residuos mineros.

Se utilizó una metodología de entornos colaborativos en la que los estudiantes, en función de su formación previa, acorde con la asignatura cursada, prepararon y guiaron las sesiones.

Caracterización de Materiales Geológicos (Figura 7):

Focalizada en el estudio de las escombreras con materiales extraídos durante la excavación de las minas.

Se llevó a cabo la identificación de minerales y rocas en muestra de mano y mediante observaciones al microscopio.

Caracterización Química:

Centrada en los residuos de los lodos de flotación y las escorias de fundición.

Se realizó el análisis de composición química por fluorescencia de rayos X, caracterización mineralógica por difracción de rayos X, y ensayos de calcinación y lixiviación.

Figura 7. Prácticas de caracterización de materiales geológicos



Seminario de valorización

Partiendo de los resultados previos, los EIMC propusieron alternativas de valorización de los residuos mineros caracterizados, mediante presentaciones y pósteres (entornos colaborativos). Estas propuestas fueron debatidas por todos los participantes.

Jornada final

En la jornada final los responsables del proyecto resumieron las actividades realizadas (Figura 8). Los estudiantes, agrupados por titulaciones, presentaron y evaluaron las tareas en las que participaron utilizando pósteres (entornos colaborativos). Se eligió el mejor póster mediante votación y se realizó una valoración

global de todas las actividades a través de un cuestionario de Google Forms, incluyendo propuestas de mejora.

Figura 8. Cartel e imágenes de la Jornada Final del curso 2023/24



Descripción de las actividades de coordinación

Figura 9. Ejemplos de acciones de difusión de MIQUI



Las reuniones de planificación y coordinación del proyecto MIQUI han sido cruciales. Las tareas principales incluyeron:

- Establecer el calendario de las actividades docentes y de difusión.

- Planificar el desarrollo de cada actividad docente, incluyendo tareas, materiales, tutela de estudiantes y diseño de evaluaciones.
- Evaluar y mejorar las tareas realizadas, especialmente entre el curso 2022-23 y el 2023-24.
- Preparar la difusión del proyecto en redes sociales, listas de correo, la web de la EPSL y el Boletín Informativo de la UJA (Figura 9).
- Preparar actividades de transferencia, como resúmenes, un vídeo promocional y pósteres para eventos.

RESULTADOS

Resultados encontrados o esperados del proyecto

Entre los objetivos específicos de MIQUI el OE.2 (Figura 2) recoge “diseñar un sistema de evaluación que permita valorar por separado cada uno de los objetivos específicos”. Para ello, se ha desarrollado un proceso de evaluación flexible y completo que ha permitido determinar el grado de consecución de todos los objetivos planteados (general y específicos), siguiendo el esquema de Deming (Figura 10), a través de dos tareas de evaluación (recogidas en la Tabla 1):

Figura 2.

Figura 10. Esquema de Deming seguido en la evaluación del PID



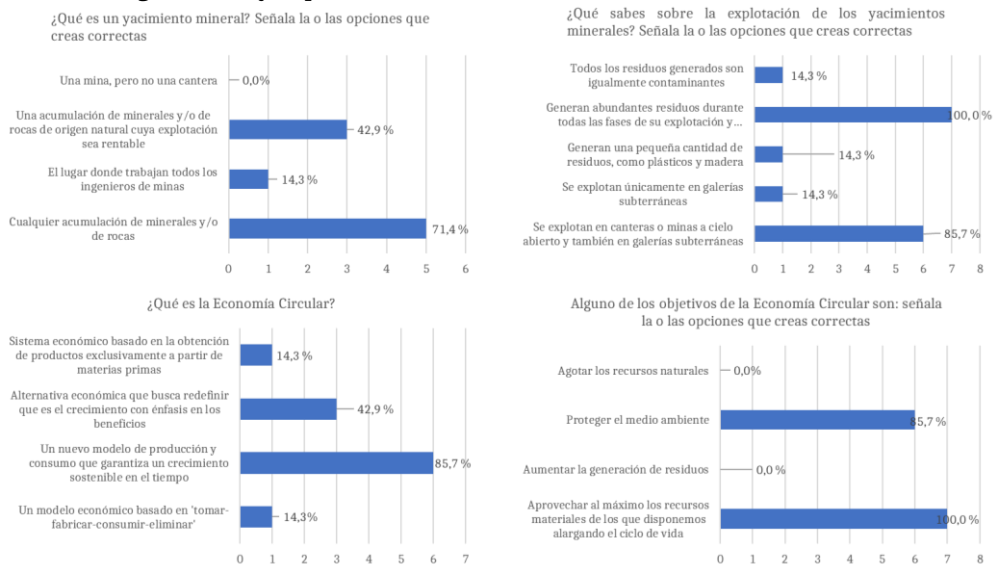
1. Tareas de evaluación de los conocimientos de los estudiantes.

Incluyeron:

- a. Un test de evaluación inicial de los conocimientos del estudiantado sobre yacimientos minerales, minería y economía circular.
- b. Los test sobre el material suministrado con anterioridad para los seminarios 1 y 2 (metodología de aula invertida).
- c. La valoración realizada por los profesores responsables de cada asignatura sobre la asistencia y participación del alumnado en las diferentes actividades académicas.

Como comentario general, las respuestas al test de evaluación inicial mostraban mayoritariamente un considerable grado de desconocimiento de partida sobre los temas mencionados (Figura 11).

Figura 11. Ejemplo de test de evaluación inicial (curso 2022/23)



Por el contrario, los test previos a los seminarios fueron bastante positivos, poniendo de manifiesto el interés mayoritario de los estudiantes por esta tarea (Figura 12).

Figura 12. Test para aula invertida previa al seminario 'Yacimientos Minerales' (curso 2023/24)



2. Encuestas anónimas de evaluación del grado de satisfacción sobre el desarrollo de las diferentes actividades de MIQUI.

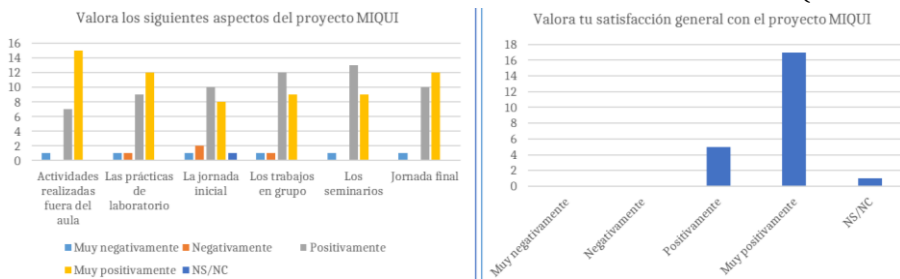
Incluyeron:

- Valoración cuantitativa de la formación académica, metodologías docentes, actividades realizadas y grado de satisfacción general.
- Valoración cualitativa de los aspectos positivos y negativos.
- Propuestas de mejora y otros comentarios.

Resultados de las encuestas cuantitativas (Figura 13):

- Un 87% del alumnado afirmó que el PID mejoró su formación, aunque un 13% indicó que le supuso un tiempo excesivo.
- El 100% del alumnado adquirió formación en metodologías docentes innovadoras.
- La valoración de las actividades y la satisfacción general fueron mayoritariamente positivas o muy positivas.

Figura 13. Resultados globales acumulados para los dos cursos académicos de la encuesta de valoración cuantitativa sobre el desarrollo de MIQUI



Las valoraciones cualitativas destacan los siguientes aspectos:

- El conocimiento multidisciplinar adquirido y la posibilidad de interactuar con el profesorado y alumnado de distintas titulaciones.
- Valoración muy positiva de todas las actividades prácticas, comenzando por la visita al distrito de Linares, que ha contribuido a tener una visión global del proceso minero, de la procedencia de los residuos, de la variedad de características de éstos y de su posible revalorización.
- Las actividades docentes con la metodología de entornos colaborativos en las que el alumnado ha tenido que involucrarse al 100%.
- Un número significativo de estudiantes no ha encontrado aspectos negativos destacables.
- En el curso 22-23 se consideró excesiva por un porcentaje elevado del alumnado la duración de los videos utilizados en el aula invertida. Esto fue corregido para el curso 23-24.

- De forma contradictoria, algunos estudiantes valoraban que el número de horas dedicado a las actividades de MIQUI era excesivo mientras que otros opinaban que éstas eran escasas.

- Algunos estudiantes propusieron dedicar más tiempo a las prácticas de laboratorio y/o salidas de campo.

- Algunos estudiantes sugirieron dedicar más tiempo a la tutorización del seminario de valorización.

Independientemente de la valoración positiva expresada, el profesorado que ha llevado a cabo el proyecto MIQUI ha encontrado las siguientes dificultades durante su implementación:

- Problemas para compatibilizar el calendario académico de los grados y del máster del estudiantado participante en el proyecto.

- El reducido número de estudiantes matriculados/as en la asignatura de Yacimientos Minerales (Grado en Ingeniería de Tecnologías Mineras).

- Grado de conocimiento muy limitado del idioma español de un número significativo del alumnado matriculado en el máster.

Pese a estos hechos, y como conclusión, el profesorado valora de forma muy positiva su participación en el proyecto.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

Conclusiones. Novedades que su implementación reporta

Los resultados del proyecto MIQUI han mostrado las siguientes mejoras en la formación universitaria:

- Se demuestra que es posible renovar los programas formativos con actividades innovadoras y coordinadas.
- Se puede implicar a profesorado y alumnado de distintas titulaciones en actividades académicas comunes.
- Los contenidos y competencias de asignaturas de diversas titulaciones se pueden complementar entre sí identificando los temas clave para la integración y diseñando actividades docentes concretas.
- La sostenibilización curricular puede ser implementada con éxito en la docencia universitaria en lo referente a contenidos, metodología y sistemas de evaluación.

Estos resultados ayudan al fomento de la colaboración multidisciplinar y a la aplicación de metodologías innovadoras, demostrando que los planes de innovación docente pueden contribuir a la mejora de la sostenibilización curricular.

REFERENCIAS

Barrón, Á., Navarrete, A., y Ferrer-Balas, D. (2010). Sostenibilización curricular en las universidades españolas. ¿Ha llegado la hora de actuar? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92013009018>

EEES (1999). *Declaración de Bolonia. Bolonia, 1999*. Recuperado de: https://ehea.info/media.ehea.info/file/Ministerial_conferences/06/0/1999_Bologna_Declaration_Spanish_553060.pdf

European Commitment to Higher Education for Sustainable Development (s.f.). *COPERNICUS CHARTA 2.0/2011*. Recuperado de: https://www.copernicus-alliance.org/images/Downloads/COPERNICUSCharta_2.0.pdf

International Council on Mining and Metals (2016). *Mining and metals and the circular economy*. London.

Jiménez, F., Naranjo, J.E., y Serradilla, F. (2010). Extensión de un plan de prácticas comunes en asignaturas de Grado y Máster impartidas en diferentes escuelas para promover un enfoque multidisciplinar. En *VI Congreso Internacional Docencia Universitaria e Innovación, CIDUI 2010, Barcelona, España*.

Martínez, C., Cotes, M.T., y López, A.B. (2021). Sostenibilización curricular en la docencia de asignaturas de Máster en las áreas de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente. En *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura: Nuevos Enfoques en la Metodología Docente* (pp. 217-224). Dykinson

Mihelcic, J.R., Crittenden, J.C., Small, M.J., Shonnard, D.R., Hokanson, D.R., Zhang, Q., ... Schnoor, J.L. (2003). Sustainability Science and Engineering: The Emergence of a New Metadiscipline. *Environmental Science and Technology*, 37, 5314-5324.

Miñano, R. y García, M. (Eds.) (2020). *Implementando la Agenda 2030 en la universidad. Casos inspiradores*. Red Española para el Desarrollo Sostenible, Madrid.

SDSN Australia/Pacific (2017). *Getting started with the SDGs in universities: A guide for universities, higher education institutions, and the academic sector*. Australia, New Zealand and Pacific Edition. Sustainable Development Solutions Network–Australia/Pacific, Melbourne.

UNESCO (2021). Berlin Declaration on Education for Sustainable Development; Learn for our planet: act for sustainability. En *World Conference on Education for Sustainable Development. Berlin Declaration. Berlín, 2021*. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381229?posInSet=1&queryId=N-EXPLORE-64d0fad-b-a2e3-4cf1-9d8b-11d617982d5f>

Villamandos, F., Gomera, A., y Antúnez, M. (2019). Conciencia ambiental y sostenibilización curricular, dos herramientas en el camino hacia la sostenibilidad de la Universidad de Córdoba. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 1, 1301.

CAPÍTULO 5

JUEGOS DE CONSTRUCCIÓN: COMPONENTES Y CONEXIONES. HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE EN ARQUITECTURA

ALEJANDRO JESÚS GONZÁLEZ CRUZ Y FEDERICO LUIS DEL BLANCO GARCÍA
Universidad Politécnica de Madrid

INTRODUCCIÓN

¿Y si el aprendizaje de la arquitectura pudiera comenzar antes?

La iniciativa que se presenta en este texto se inscribe dentro de un proyecto de innovación en educación y mejora de la calidad de la enseñanza, aprobado en la convocatoria de 2023-2024, bajo el título “Del material a la arquitectura: estrategias de continuidad y redes interdisciplinarias” y coordinado por Alejandro Jesús González Cruz (DCTA) y Nicolás Maruri González de Mendoza (DPA). Esta iniciativa brota como un ejercicio metodológico aplicado a la enseñanza de Construcción I, asignatura obligatoria de 3ECTS impartida por 8 grupos docentes en el 2º año del grado de Fundamentos de Diseño de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), donde se propuso establecer nexos de conexión, horizontal y vertical, con asignaturas periféricas como Dibujo, Materiales de construcción y Proyectos y, al mismo tiempo, extender vínculos con escuelas de secundaria, en un esfuerzo por inspirar y acercar a futuras generaciones a la disciplina de la Arquitectura.

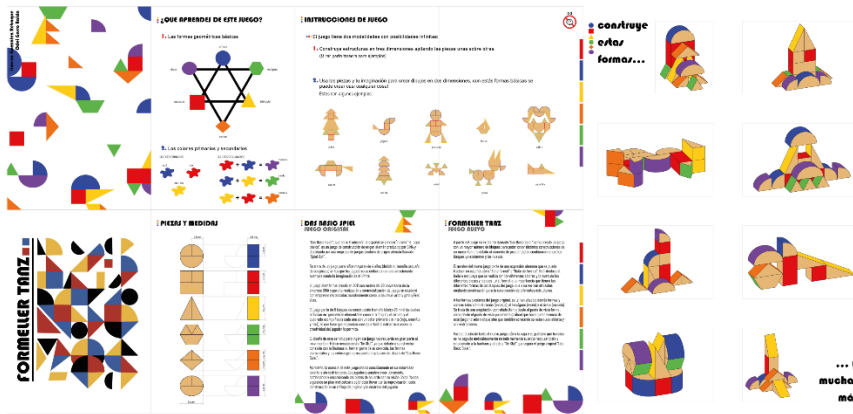
Durante el curso 2023-2024, en paralelo al estudio de los principios básicos de los sistemas constructivos, contenido obligatorio de la asignatura de Construcción I, se propuso a los estudiantes investigar, a través del análisis de una selección de casos, en torno a la Construcción industrializada, entendida desde sus componentes y conexiones, la prefabricación, el montaje y desmontaje, la capacidad de adaptabilidad, flexibilidad y transformación, o la eficiencia energética, económica y ecológica. Como aproximación metodológica al entendimiento y comprensión de la industrialización en la construcción, se incentivó un aprendizaje basado en la investigación de juegos de construcción, que constaba de 2 fases especialmente diferenciadas: una 1ª fase de concepción y fabricación, dentro del aula, desarrollada por los estudiantes de grado, y una 2ª fase de juego y testeo, fuera del aula, compartida con estudiantes de secundaria.

Como cada año, la Comunidad de Madrid impulsa un programa educativo llamado “4ºESO+empresa” dirigido a los alumnos que cursan 4º de Enseñanza Secundaria en los centros inscritos. Este programa educativo se desarrolla en

colaboración con empresas privadas e instituciones públicas de la región, en la que los jóvenes de 15 y 16 años realizan estancias educativas con el fin de enriquecer su formación y aproximarse al mundo laboral del que ellos mismos formarán parte en el futuro. En el semestre de primavera de 2024, del 19 al 21 de marzo, tuvo lugar una estancia educativa de estudiantes de 4º de la ESO en la ETSAM (UPM), invitados a participar en 5 talleres impartidos por profesores de diferentes departamentos: taller de superficies regladas (SDMA), taller de maquetas, taller de Ideación Gráfica: imaginación espacial (DIGA), el taller de acústica arquitectónica (DEFE), y un taller de juegos de construcción (DCTA) fruto de la iniciativa de innovación en educación que se proponía.

El taller de juegos de construcción cumplía un doble propósito u objetivo: por un lado, transmitir principios básicos de la Arquitectura, utilizando el juego como una herramienta de aprendizaje (Bordes, 2007) y, por otra parte, testar los juegos de construcción ideados y contruidos por los estudiantes de grado (Bordes, 2012). El taller fomentaba el vínculo entre estudiantes de secundaria y estudiantes de segundo de carrera, participando como jugadores, o como autores y guías del juego, correspondientemente.

Figura 1. Manual de instrucciones de un juego de construcción



Autores del juego: J. González + O. Garro

MÉTODO

El juego como herramienta de aprendizaje

Desde el primer día en el aula de Construcción I, los juegos de construcción se incorporaron a la docencia y aprendizaje de la asignatura. Se realizó un ensayo de aplicación de una metodología basada en el juego, Lego Serious Play, con la intención de que el grupo de 45 estudiantes pudiera conocerse entre sí, trabajar en equipo y resolver retos de forma colectiva. El aula se convirtió en un taller, se reorganizaron

sus mesas, y se generaron 7 grupos de trabajo de 6-7 estudiantes. Durante 1h y 30min, se testó el método cuyo proceso consistía en: 1. Plantear un desafío, 2. Construir con Lego un modelo individual y una historia asociada con significado, 3. Compartir con el grupo cada historia, 4. Reflexionar sobre lo expuesto y construir un modelo colectivo que aunara todas las historias. Este acercamiento metodológico posibilitó una primera toma de contacto con la herramienta del juego, demostrando su capacidad productiva y didáctica.

El sistema de evaluación de la asignatura de Construcción I comprendía un 40% de teoría (un examen teórico-práctico) y un 60% de práctica (proyecto de construcción + actividades complementarias). Durante el desarrollo de la parte práctica del curso, los estudiantes debían investigar en torno a un tema central, la Construcción Industrializada, realizando el proyecto de construcción de una casa unifamiliar seleccionada dentro de un listado que se les entregaba. Paralelamente, se destinaban dos semanas para la realización de un ejercicio o actividad complementaria, con la libertad de ser desarrollada de forma más experimental. La metodología implementada como iniciativa de innovación en educación, a través de las actividades complementarias, estaba constituida en dos partes: la creación de un juego de construcción –proyectar jugando– y su testeado mediante el juego del mismo –jugar proyectando–.

La primera parte de la iniciativa consistía en un ejercicio en equipo (2-3 estudiantes) que comenzaba con la selección de un juego de construcción, perteneciente a un listado previo que se les entregaba u otro que ellos quisieran conocer. Una vez seleccionado el juego de construcción debían investigarlo, conocerlo e introducir en él una innovación o mejora. Los juegos de construcción están formados por componentes y conexiones (Meijs, 2009), y un conjunto de reglas de juego recogidas en un manual de instrucciones para los usuarios. La innovación o mejora suponía una transformación en el componente o en la conexión. Los equipos debían valorar donde una modificación podía conseguir una mejora sustancial de juego. A veces la innovación estaba en el cambio de material (Moholy-Nagy, 2021), otras en la simplificación de los componentes, o en la diversidad de sus formas, y otras veces estaba en el sistema de unión, en la manera en el que las piezas se conectaban.

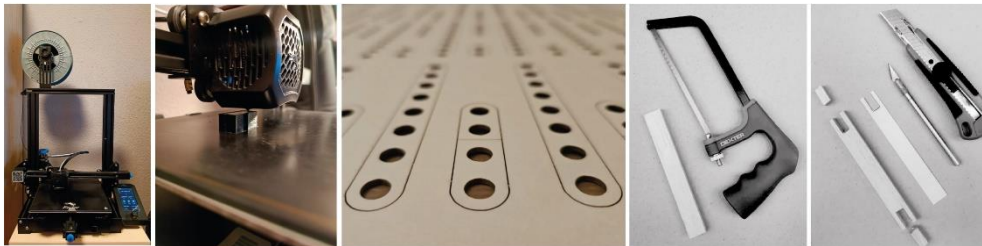
Figura 2. Primer testeo de los Juegos de Construcción. Construcción 1



Foto: Alejandro González (PDI).

Los juegos de construcción debían ser fabricados por los estudiantes de grado con un presupuesto lo más reducido posible. Esta condición, sumada a la limitación temporal de 2 semanas para la realización del ejercicio, o a la dificultad de acceso y uso de herramientas necesarias para transformar los materiales, condicionaron la elección material y determinaron el nivel de complejidad de los juegos. Todo juego debía poderse guardar en una caja muy sencilla. Una vez fabricados, los juegos fueron testados en clase por los compañeros. El aula se convirtió de nuevo en taller, y todos pudieron intercambiar sus trabajos, jugar con ellos, y compartir sus impresiones, abriendo un debate sobre los aspectos positivos y negativos de cada trabajo, y valorándolos mediante votación secreta para establecer un primer ranking. Algunos de los juegos fueron ajustados posteriormente.

Figura 3. Herramientas de fabricación: impresión 3d, cortadora laser, útiles de carpintería



Para la realización del taller de juegos de construcción con estudiantes de 4º de la ESO, segunda parte de la iniciativa metodología, se eligió el espacio central cubierto o atrio del pabellón nuevo de la ETSAM, por su accesibilidad en planta baja, su condición espacial horizontal y vertical, la luz natural cenital que lo recorre y por la oportunidad que ofrece para que estudiantes y profesores interesados puedan participar u observar. El desarrollo de los juegos se hizo en una mesa blanca longitudinal, reorganizando el mobiliario del espacio. La mesa disponía de 10 asientos por cada lado para poder albergar a 20 estudiantes simultáneamente. Se colocaron 10 juegos repartidos a lo largo de la mesa, 1 para cada dos jugadores, y otros 10 juegos reunidos en uno de sus extremos. Además, sobre la mesa, delante de cada asiento, se colocaban post-it de colores, un lápiz y modelos de personas en maqueta a escala 1/100.

El taller se dividió en dos sesiones de 105min, y 20 estudiantes en cada una. La actividad comenzaba con la elección de un compañero/a de juego, y de la ubicación en la mesa, sentados uno enfrente del otro. Durante el tiempo del taller, cada pareja de estudiantes debía poder testar al menos 5 juegos distintos, con 15min para cada uno. Los juegos de construcción, contenidos en pequeñas cajas, estaban compuestos por piezas (componentes y conexiones) y un manual de instrucciones detallado. A cada estudiante se le indicaron los pasos que debían seguir para el desarrollo del taller: 1. Selecciona un juego de construcción y juega con él, 2. Construye una estructura y habita sus espacios, y 3. Cambia de juego y repite el proceso.

Se abrían las cajas, se sacaban las piezas y el juego comenzaba. Cada pareja leía las instrucciones de cada juego para conocer las reglas que debían aplicar para construir. Algunos decidieron omitir dichas reglas y hacer uso de las piezas del juego de forma intuitiva y más libre. Cuanto más sencillos eran los componentes y conexiones del juego, mayor desarrollo creativo se producía en la construcción de los espacios. Los estudiantes podían utilizar el material complementario para incorporar la escala humana e introducir dibujos y textos (mobiliario, vegetación...) en sus construcciones. Registrando sus espacios a través de la fotografía, y utilizando el móvil como herramienta de trabajo. Con la elección de un nuevo juego, se producía un nuevo aprendizaje, oscilando desde la actividad lúdica a la construcción de un proyecto.

RESULTADOS

Componentes y conexiones

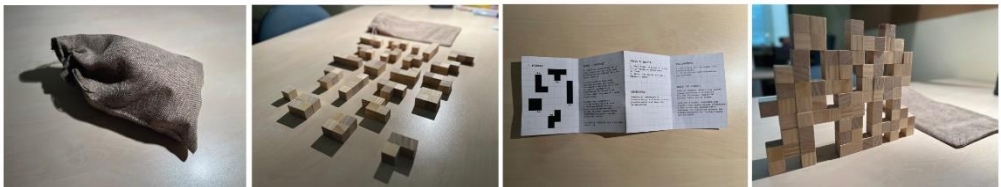
Entre los 20 juegos de construcción seleccionados, concebidos y fabricados en el aula por 45 estudiantes de grado y testados por los 40 estudiantes de 4º de ESO que participaron en el taller, los resultados de la autoevaluación por medio de votación colectiva mostraban notables semejanzas y pequeñas diferencias: Block-xit (3+4), Build Rush (4+8), Connect a Tube (6+2), Construction Age, Engranados (+1), Flexi-

Cards (1), Formeller Tanz (3), Fusion , Geo-connect (4+2), Geopix, Las torres jenga (2), Loge (1+2), Meccano (+1), Metatrigon (+1), Octo-hoo (3+5), Play plax, Spiniflex blox (2+6), Stanbloks, Tensegritón (+5), Tetri-Blocchi (3+3). Los juegos que sobresalieron se caracterizaban por la repetición de un solo componente y conexión, construidos en un solo material, y cuyas reglas de juego fueron sustituidas por la lógica constructiva que otorgaba el sistema y por la libertad intuitiva de la experimentación manual de los jugadores. La sencillez y simplificación material, formal y tipológica de los componentes y conexiones respecto al juego original, y la valoración obtenida en el proceso de testado, han sido utilizados para seleccionar 10 de estos ejercicios:

Del juego Plus-Plus (Dinamarca, 2009) ideado por Jens Martin Phil, quien patentó una pieza plástica con forma de dos signos positivos unidos, surgió Build -Rush, un juego de construcción cuya innovación se centra en el componente, una pieza en madera, compuesta por la unión de pequeños cubos, que adoptan la forma de cuatro signos positivos unidos en torno a un hueco. La repetición de una pieza homogénea en las dos direcciones del plano, enriquecida por el aumento de las opciones de conexión y el cambio de materialidad fueron determinantes para su aceptación y valoración.

Otro referente de partida, elegido por los estudiantes, fue Tetris (Rusia, 1984), un videojuego diseñado y programado por Alekséi Pázhitnov, del que posteriormente han derivado otros juegos como Pentominós un rompecabezas compuesto por 12 poliformas de 5 cuadrados cada una que deben unirse entre sí sin dejar ningún hueco. El Tetris es un puzle bidimensional formado por 5 piezas de 4 cuadrados cada una, con colores distintos, que caen sobre una base, y cuyo usuario puede hacer caer para eliminar huecos que queden aislados al amontonarse las piezas. Tetri-Blocchi (Figura 4) parte de este concepto, he introduce la tridimensionalidad como parte de su innovación. Al fabricar las piezas en madera, cuyos cubos se van uniendo hasta formar cada pieza, diferenciadas en forma y no en color, estas desaparecen cuando se conectan entre sí, dando homogeneidad a la estructura.

Figura 4. Tetri-Blocchi



Autores del juego: L. Bocigas + G. de Manuel de Villena. *Foto:* A. González

Lego (Dinamarca, 1958), cuyo sistema de conexión fue ideado y patentado por Godtfred Kirk Christiansen, es probablemente uno de los juegos de construcción más

investigados, en especial en la disciplina de la arquitectura. Lego comenzó fabricando muebles y juguetes en madera, y 1940 introdujo el plástico y el color rojo en sus piezas, sin manual de instrucciones para fomentar la creatividad de los niños. El sistema de enganche o conexión de Lego supuso una innovación permitiendo conectar en vertical piezas de diferentes tamaños. Loge evoluciona el sistema de enganche introduciendo conexiones horizontales, macho-hembra, unidas por deslizamiento, y explorando la impresora 3d con plástico reciclado en su fabricación.

El juego Spiniflex Cluster (Alemania, 2014), ideado por Sebastian Kalies, se basa en la definición de una pieza prismática longitudinal de sección rectangular, construida en madera, con dos huecos en sus extremos. Su sistema de conexión está determinado por la repetición de la misma pieza y su unión a través de los huecos, condicionando una disposición ortogonal. Spiniflex box (Figura 5) parte de esta limitación, aumentando los grados de libertad con la apertura lateral de los huecos de la pieza de madera. Mientras las conexiones del modelo original estaban restringidas a sus extremos, el nuevo modelo posibilita la unión a lo largo de toda la pieza.

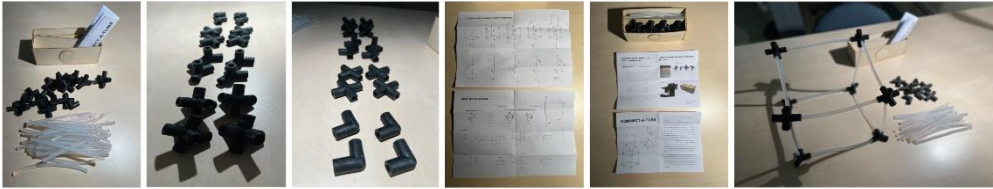
Figura 5. Spiniflex box



Autores del juego: L. Pacheco + A. Rodríguez + M. Serrano. Foto: A. González

Las estructuras lineales, versátiles y ligeras comienzan a explorarse en la década de los 60 integrando el uso de materiales plásticos y procesos de fabricación por extrusión de perfiles huecos de aluminio. Juegos de construcción como Plasticant (Alemania, 1960), Stabo modellbau Spiel (Alemania, 1970), o Construct-o-straws (Usa, 1970), ideado por Parker Brother, comienzan a integrar esta tecnología. Estos juegos diferencian claramente entre componentes (barras) y conexiones (nudos). En Connect-a-tube (Figura 6), la innovación se produce en ambos elementos, mientras los componentes reutilizan objetos cotidianos como los cilindros de silicona, ganando en flexibilidad y transparencia, las conexiones se fabrican con impresora 3d, adaptadas al diámetro de los componentes y posibilitando la unión múltiple en varias direcciones del espacio.

Figura 6. Connect-a-tube



Autores: C. Fidalgo + R. Ortiz. *Foto:* A. González

En la década de los 50, la pareja de arquitectos norteamericana, Ray y Charles Eames, interesados en la industrialización, participaban en la fabricación de todo tipo objetos, dentro o fuera del espacio doméstico, desde el diseño de muebles a la invención de juegos infantiles como House of Cards (California, 1952). Flexi-cards reinterpreta las barajas de los Eames de 54 cartas (8,9x5,72cm) con 6 ranuras que permitían la construcción de estructuras tridimensionales (castillos de cartas), he incorporaban patrones geométrico o imágenes en sus caras. Flexi-Cards (Figura 7) introduce el material plástico, elimina las imágenes, y cambia la geometría, propone 30 cartas flexibles (15x5cm) aumentando el número de ranuras de conexión.

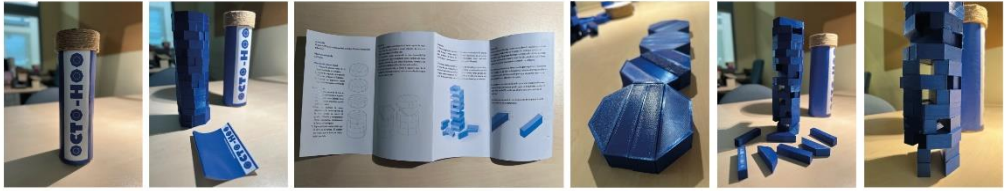
Figura 7. Flexi-Cards



Autores del juego: N. Pérez + P. Calleja. *Foto:* A. González

Las conexiones permiten la unión entre los componentes de los juegos de construcción. El Jenga (Oxford, 1986), ideado por Leslie Scott, es un juego de habilidad y equilibrio, sin conexión más allá de la que se consigue gracias al peso propio y a la gravedad. El juego lo componen 54 bloques de madera (1,5x2,5x7,5) apilados en hileras de 3 piezas y girados 90°. Octo-Hoo (Fig.08) surge como versión alternativa del Jenga, introduce un cambio de material, imprimiendo las piezas con hilo de plástico reciclado, y un cambio de forma, aumentando el número de lados, del cuadrado al octógono, 60 piezas (30 piezas rectangulares interiores y 30 piezas trapezoidales exteriores), apiadas en hileras de 4 piezas que giran 45°. La pieza trapezoidal aumenta la dificultad del juego, que mantiene las reglas respecto al juego original.

Figura 8. Octo-Hoo



Autores del juego: B. Galvez + M. Muñoz + V. Urquido. *Foto:* A. González

Las aportaciones de la Escuela de la Bauhaus en el campo de los juegos de construcción, con ejemplos como la Bauhaus Bauspiel (Weimar, 1924), ideado por Alma Siedhoff-Buscher, fueron un referente en el mundo de la arquitectura y del diseño. A raíz de ellas, han ido apareciendo derivaciones como Das Basic Spiel (Dessau, 2011), fruto de la colaboración entre los archivos de la Bauhaus y el fabricante SINA, es un juego de construcción formado por 3 formas básicas elementales (círculo, triángulo y cuadrado) y 3 colores primarios (amarillo, rojo, azul). Formeller Tanz (Fig.09) evoluciona el juego al introducir 3 formas geométricas primarias más (elipse, hexágono y rombo) y 3 colores secundarios (morado, verde y naranja), manteniendo el lenguaje representativo original (De stijl) y la libertad creativa en ausencia de reglas.

Figura 9. Formeller Tanz



Autores del juego: J. González + O. Garro. *Foto:* A. González

Uno de los principios estructurales que se estudiaron durante el curso fue la tensegridad, una combinación entre tensión e integridad, caracterizada por una estructura estable y autoportante, en equilibrio, formada por elementos a compresión (barras) y elementos a tracción (cables). El concepto de Tensegrity fue usado y concebido por Buckminster Fuller. Uno de los juegos que ponía en práctica el diseño avanzado de los principios estructurales fue el puzzle de construcción de cúpulas geodésicas Tensegritoy (1987). Tensegritón (Fig.10) propone construir estructuras complejas mediante la unión de unidades elementales más sencillas, incorporando un elemento de conexión.

Figura 10. Tensegritón



Autores del juego: A. Estrena + R. Oriol. Foto: A. González

Finalmente, Meccano (Liverpool, 1900), ideado por Frank Horney, es un juego de construcción con piezas de diversos tamaños, forma y color, construidas en metal, con agujeros para sujetarlas entre sí por medio de tornillos y tuercas. En los modelos más avanzados podía incluir motores eléctricos, ruedas, poleas. El Meccano desarrollado en clase incorporaba la fabricación por corte laser, aprovechando las herramientas de la Escuela, y simplifica los tipos de componentes y formas, manteniendo su sistema de conexión. Otros juegos como Metatrigón o Block-xit, exploraban con las mismas conexiones, pero con componentes distintos, triángulos de policarbonato o círculos de madera, correspondientemente.

De los 45 estudiantes de grado, autores de los 20 juegos de construcción, que desarrollaron el curso con gran interés aplicando una metodología de aprendizaje basada en el juego, el 97% aprobaron. El ejercicio supuso un descubrimiento de nuevas herramientas y procesos de fabricación, y el contacto por primera vez con nuevos materiales. La buena o mala ejecución de las componentes y conexiones determinaba la implicación de los participantes en el desarrollo del juego, así como su disfrute, influyendo en su valoración.

Los juegos de construcción fueron testados inicialmente por sus autores, y por sus compañeros de clase, obteniendo el feedback necesario para su adaptación y ajuste.

El desarrollo posterior del taller de 4º de la ESO, con 40 estudiantes de secundaria, divididos en grupos de 20, participando en 2 sesiones durante la jornada del 21 de marzo de 2024, fue todo un éxito, recibiendo el agradecimiento de las instituciones colaboradoras. Tras finalizar el taller, se realizó una encuesta a los estudiantes. La encuesta incluía preguntas como: ¿qué juegos te han gustado más? ¿qué has aprendido de ellos? ¿cómo crees que influyen los juegos en tu creatividad y en el aprendizaje de la arquitectura?

Algunos estudiantes detectaban similitudes entre los juegos de construcción del taller y los juegos con los que habían jugado en la infancia. Percibían que era posible mejorar o transformar un juego preexistente, al introducir una variación (innovación) en los componentes o conexiones. El juego favorecía el desarrollo de su capacidad creativa e imaginación, expandiendo sus límites preconcebidos. La creatividad

aumentaba a medida que aumentaban los grados de libertad del juego. Entendían que a partir de pocas piezas pequeñas y sencillas era posible construir infinitas estructuras grandes y complejas.

Otros ponían en valor la oportunidad que ofrecían los juegos de construcción de participar en equipo, colaborativamente. Aproximándose a la arquitectura a través del espacio y la escala humana, y a través de conceptos como equilibrio, estabilidad, tensegridad. Con el juego, aprendían la importancia del tiempo, el ser pacientes y el destinar a cada proceso el tiempo necesario para su comprensión. La práctica, basada en un ejercicio de prueba y error, adquirida con el tiempo, mejoraba su capacidad de construir (De Abajo, 2021). Los estudiantes entendían las dinámicas operativas de los juegos, que comenzaban cada nueva partida desde cero, construyendo estructuras aparentemente injustificadas, para poderlas observar, analizar y, finalmente, aprender de ellas, darles un sentido. Encontraban beneficioso los juegos, como herramienta de aprendizaje, divertida, con la que materializar las ideas e interactuar con ellas.

CONCLUSIONES

Jugar proyectando y Proyectar jugando

Los juegos de construcción han demostrado ser una herramienta útil para el aprendizaje de la arquitectura y, al mismo tiempo, una herramienta capaz de ser productiva en todo proceso de diseño (González, 2021). Esta iniciativa presenta dos acercamientos distintos a los juegos de construcción, relacionando la acción de jugar, construir y proyectar: la de los estudiantes de grado, autores de los juegos, quienes proyectan jugando, y la de los estudiantes de secundaria que juegan proyectando. Mientras los primeros debían diseñar un juego con el que poder jugar, participando en la aplicación de sus reglas, desde su concepción a su testeo, los segundos, aun contando con un manual de instrucciones, testaban los juegos liberados de cualquier restricción previa, introduciendo nuevas reglas y convirtiendo cada creación en una nueva tentativa de proyecto.

Los manuales de instrucciones incluían una descripción de los componentes y conexiones, junto a las reglas de juego, el número de jugadores y la edad mínima posible. Además, aportaban un registro del proceso de fabricación y su presupuesto, la mejora respecto a los juegos de referencia, y combinaciones posibles entre sus componentes. Los costes de fabricación de los juegos de construcción, que oscilaron entre 10€ y 40€, fueron uno de los aspectos más determinantes, simplificando los procesos, componentes y conexiones. El ejercicio consistía en hacer el esfuerzo de obtener un producto de calidad, bien ejecutado, que funcionara, divertido, didáctico y de bajo coste. Y se completaba con la valoración por parte de los compañeros de grado y los participantes de secundaria, como representación de consumidores del juego

dentro. Desde la propia asignatura, el sistema de calificación valoraba, especialmente, la capacidad de mejora o innovación que se había producido respecto al juego de partida.

La flexibilidad, intercambiabilidad y reversibilidad, presentes en los juegos de construcción, permiten la formalización de múltiples opciones posibles a partir de un mismo número de elementos (González, 2024). Las semejanzas o similitudes entre los juegos de construcción y la construcción industrializada se manifestaban a través del uso de los componentes y las conexiones. Ambos son sistemas reversibles compuestos por elementos prefabricados que facilitan el montaje y desmontaje de sus piezas, en una construcción rápida, económica y eficaz. La transformación, variación y crecimiento de estos sistemas los hacen adaptables a los cambios de necesidad que puedan producirse en el tiempo. Esta relación intuitiva entre el ejercicio de los juegos de construcción y el proyecto de construcción de las casas industrializada permitió dar unidad al contenido práctico de la asignatura, enriqueciendo el conocimiento teórico que se iba aprendiendo en paralelo.

Figura 11. Taller Juegos de Construcción (“4ºESO+empresas”)



Foto: Alejandro González (PDI)

REFERENCIAS

Bordes, J. (2007). *La infancia de las Vanguardias. Sus profesores desde Rousseau a la Bauhaus*. Madrid: Cátedra.

Bordes, J. (2012). *Historia de los juguetes de construcción: Escuela de la arquitectura moderna*. Madrid: Cátedra.

De Abajo, B. (2021). *Separar, relacionar, configurar: Tres estrategias extraídas de los juguetes de construcción para el aprendizaje del proyecto arquitectónico* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. doi: 10.20868/UPM.thesis.67919

González, A. J. (2021). *Reglas de juego y grados de libertad: una aproximación al origen de la forma en los proyectos de arquitectura de Mansilla + Tuñón [1992-2012]* [Tesis de

doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. doi: 10.20868/UPM.thesis.69177

González, A. J., y Del Blanco, F. (2024). On the boundaries of discipline: The role of gaming systems in contemporary architecture project. *Graphic Horizons*, 1, 355-362. Switzerland: Springer.

Meijs, M., y Knaack, U. (2009). *Principles of construction: Components and connections*. Berlín: Birkhäuser.

Moholy-Nagy, L. (2021). *From material to architecture*. Bauhausbücher 14. (K. Schamun y J. DeStone, Trad.). Zurich: Lars Müller. (Obra original publicada en 1929).

CAPÍTULO 6

MÁS ALLÁ DE LAS AULAS: ESPACIO FÍSICO E INNOVACIÓN DOCENTE EN EL SIGLO XXI

CORO VILALLONGA LÓPEZ-IZQUIERDO Y PABLO CAMPOS CALVO-SOTELO
Universidad CEU San Pablo

INTRODUCCIÓN

La investigación como nutriente de la innovación docente

La presente propuesta de actividad pedagógica surge de la dinámica investigadora centrada en el análisis arquitectónico y fenomenológico de los espacios educativos, teniendo como horizonte su potencial de influencia en la innovación en procesos de enseñanza/aprendizaje.

La referida dinámica investigadora comienza destacando la importancia de diseñar entornos que se ajusten a las necesidades físicas y psicológicas de los estudiantes. En la actualidad, se plantea una brecha entre la concepción tradicional de las escuelas como lugares de enseñanza y la necesidad de crear espacios que promuevan una experiencia educativa más enriquecedora.

Múltiples expertos interdisciplinarios en torno al mundo docente ya se han manifestado. Existen estudios interdisciplinarios (Campos, Luceño, y Aguirre, 2021; Rodríguez, 1996), así como otros centrados en la dimensión psicológica generada por los espacios físicos en centros educativos (Romañá, 2004). Muchos arquitectos han hecho publicaciones sobre transformaciones de centros educativos, como “The language of school design” (Nair, Fielding, y Lackney, 2009) o “Diseño de espacios educativos” (Nair, 2016), libros en los que se sugiere una nueva forma de trabajar en las escuelas. Siro López, artista y formador, escribió “Esencia” (López, 2018), demostrando que las necesidades e inquietudes de los estudiantes que no se han tenido en cuenta hasta hace muy poco.

En suma, podría afirmarse que, a pesar de todos los modelos surgidos a lo largo de la Historia y los avances en la materia, la mayoría de las escuelas actuales mantienen todavía un patrón tradicional de ejes compositivos lineales con aulas rectangulares conectadas, lo que sugiere una desconexión entre la teoría pedagógica innovadora y la realidad arquitectónica de estos espacios. Es tiempo pues para plantear que la Arquitectura innovadora acompañe a una pedagogía análogamente innovadora. Y realizar experiencias de carácter docente que formen paulatinamente a los futuros arquitectos en este trascendental aspecto.

Planteamiento de sinergias: de la investigación hacia la innovación docente

Esta investigación, estudia las necesidades de las distintas disciplinas que rodean el mundo académico, analiza, y crea unos patrones de diseño arquitectónico que puedan servir como base para futuros estudios. Para desarrollar los patrones de diseño de los espacios, se parte inicialmente de los elementos que definen la eficacia educativa según Nair (2016), arquitecto especializado en espacios de formación innovadores. Esto incluye los siguientes 5 temas:

Organización espacial

Se analizan aspectos como la cantidad de metros cuadrados por estudiante, el tamaño de los patios, pasillos y cuartos de baño, así como la accesibilidad y la facilidad para mover el mobiliario. Esto permite el análisis de la variedad y la flexibilidad de lugares adaptados al marco de aprendizaje de los alumnos. No sólo se tienen en cuenta los espacios como algo físico y funcional, sino que también se explora la importancia del concepto de “lugar” como una ubicación específica con connotaciones emocionales, sociales y culturales, siendo especialmente relevantes en el contexto educativo y en la experiencia de los usuarios.

Ambiente lectivo

Se considera la temperatura, la iluminación, la acústica, el arte y la naturaleza. Se prioriza la iluminación natural por su impacto positivo en el aprendizaje, y se presta especial atención a la acústica en función del número de alumnos en cada espacio.

Personalización del entorno

Se evalúa la privacidad y disponibilidad de espacios propios para los alumnos, así como la inclusión de elementos que facilitan el estudio, la relajación y la desconexión mental, siguiendo recomendaciones de expertos como Rachel y Stephen Kaplan.

Tecnología en las aulas

Se evalúa su impacto, así como la importancia de educar a los niños en su uso adecuado, considerando sus beneficios y sus posibles contraindicaciones.

Elementos interiores

En lo que atañe a la composición de ámbitos internos, se incluye el mobiliario, los colores, los materiales y las texturas, con el objetivo de crear un entorno que favorezca el confort de los alumnos y potencie la concentración y la orientación en el proceso de aprendizaje.

Todos estos aspectos servirán como ingredientes a la hora de diseñar la actividad de innovación docente que se propone en el este trabajo. Dicha actividad se describe en el epígrafe final del presente texto.

Descripción general de la investigación en curso

Hipótesis de la investigación teórica

La premisa más destacada que ha servido de cimiento al proceso investigador y -por ende- al planteamiento de la actividad de innovación docente es que la Arquitectura educativa en general, y la escolar en particular, puede enriquecer significativamente la experiencia vital y académica de los niños. Dado que pasan mucho tiempo en las aulas, es esencial considerar sus necesidades en el diseño de estos espacios.

Son tantas las horas que pasan en la escuela que puede plantearse como hipótesis lo siguiente: si en ella se integrasen lugares que sólo existen en los hogares, como por ejemplo espacios privados, confortables o personalizables, ello podría contribuir a combatir trastornos, miedos, ansiedad e hiperactividad, además de fomentar el bienestar, la motivación, el desarrollo personal y la cohesión social.

Otra variante de hipótesis plantearía que cuando hay una alianza entre la arquitectura y otras disciplinas para crear una escuela, se consiguen una serie de “lugares” que favorecerán tanto física como emocionalmente al educando, sin tener que perder la funcionalidad propia de un proyecto arquitectónico.

Objetivos de la investigación

Objetivos principales:

Analizar el impacto emocional de los espacios físicos en los estudiantes: Este objetivo se centra en investigar cómo diferentes tipologías de ámbitos construidos afectan en la salud mental de los jóvenes y cómo esto se refleja en su desarrollo general. Se tienen en cuenta los parámetros científicos empleados en estudios anteriores que hayan medido y valorado con rigor el impacto emocional.

Objetivos secundarios:

Promover la colaboración entre arquitectos, educadores, profesionales de la salud mental y familias: Este objetivo busca fomentar la colaboración interdisciplinaria para desarrollar estrategias de diseño más efectivas que aborden las necesidades emocionales y cognitivas de los niños en los entornos educativos.

Desarrollar patrones de diseño más innovadores y sensibles hacia la dimensión humana en espacios educativos: Se desarrollan patrones de diseño que parten de la organización espacial, el ambiente educativo, la personalización, la tecnología y el diseño de interiores.

Aportar una metodología para valorar la calidad de los espacios escolares. Valorar criterios de diseño a través de un análisis de los distintos espacios educativos y patrones que puedan funcionar tanto en edificios de nueva planta como en edificios ya construidos que necesiten una transformación.

METODOLOGÍA

Bases de datos

Se ha realizado un análisis de las investigaciones llevadas a cabo por científicos de diversas disciplinas. Algunos autores que se han analizado son Acaso, 2012; Acaso y Megías, 2017; Alexander, Ishikawa, y Silverstein, 1980; Aljabreen, 2020; Alter, 2013; Araya, 2015; Asociación española de pediatría, 2021; Bachelard, 1957; Bannister, 2018; Baratto, 2023; Bêka y Lemoine, 2023; Blakeslee y Blakeslee, 2009; Bondioli, 2011; De Botton, 2016; Broto, 2016; Campos y Luceño, 2018; Carter, Sebach, y White, 2016; Cuvelier, 2012; De Paiva, 2018; DeSalle, 2018; Eberhard, 2008, 2009; Ekman, 2003; Elizondo, 2022; Escolano, 2013; Eslava, 2015; García, 2017; Goleman, 1996; González, 2016; Heller, 2017; Hernando, 2016; Hoyuelos, 2013; Huxley, 2019; L'Ecuyer, 2013; Lippman, 2012; López, 2018; Mallgrave, 2009; Marina y López, 2006; Munari, s.f.; Nair, 2016; Nair, Fielding, y Lackney, 2009; Pallasmaa, 2022; Piaget y Fernández, 1983; Robinson y Pallasmaa, 2017; Ruiz, 2006; Ara, 2017; Sutil y Perán, 2012.

La arquitectura se ha identificado como el núcleo central de este estudio, ya que sirve como el marco dentro del cual se interrelacionan las demás disciplinas, que incluyen la pediatría, la psicología, la pedagogía, la sociología, la neurociencia, la sostenibilidad y el medio ambiente.

Criterios

Como se ha comentado anteriormente, se ha partido inicialmente de los elementos que definen la eficacia educativa según Prakash Nair (2016). Se han tenido en cuenta:

Composición formal

-El tamaño: De acuerdo con la Unidad de Investigación de Pilkington se recomienda que los grupos de trabajo estén compuestos idealmente de dos a ocho personas. Adicionalmente, Bernard Bass ha establecido una relación entre el tamaño del grupo y el grado de participación, la cual disminuye proporcionalmente con el aumento en el número de miembros del grupo (Alexander, Ishikawa, y Silverstein, 1980).

-El acceso: Es esencial que los alumnos se sientan acogidos en los accesos a las instalaciones educativas. La experiencia debe ser diseñada de tal manera que resulte atractiva no solo para los alumnos, sino también para el personal y los visitantes (Nair, 2016).

-La facilidad de movimiento que incluye la flexibilidad y la adaptabilidad: La Universidad de Wollongong realizó un estudio comparativo y observó que los estudiantes en espacios de aprendizaje flexibles dedicaron mayor tiempo a interactuar con sus compañeros en comparación con aquellos en aulas tradicionales.

Ambiente educativo

-La temperatura: Investigaciones de la Universidad de Harvard (Goodman, Hurwitz, Park, y Smith, 2018), han demostrado que temperaturas elevadas pueden disminuir la concentración y aumentar la fatiga de los estudiantes, provocando una caída del rendimiento.

-La iluminación: El oftalmólogo español, José Luis Munoa Roiz, ha demostrado que la luz eléctrica es una fuente de estrés visual y destaca la importancia del empleo de luz natural frente a la artificial. Los juegos de luces y sombras aportan una calidad espacial que no se consigue con la luz artificial (Munoa, 1998).

-La acústica: Un estudio de Heriot-Watt University en Edimburgo, ha comprobado que la mala acústica puede dificultar el aprendizaje de los alumnos (Mackenzie y Airey, 1999).

La personalización de los espacios

-Privacidad y espacios propios: Un espacio de trabajo personalizado puede aumentar la comodidad y el bienestar de los estudiantes, lo que puede reflejarse en sus resultados académicos.

Diseño de interiores

-Mobiliario: El Dr. Dieter Breithecker se centra en la investigación y promoción de la postura dinámica y el movimiento regular en entornos educativos. Destaca la división del día escolar en un 50% de tiempo sentado, un 30% de tiempo de pie y un 20% de tiempo en movimiento (Breithecker, 2005).

-Color: El uso del color puede mejorar la percepción artística, fomentar la creatividad, influir en el estado de ánimo de los estudiantes y hacer el aprendizaje más atractivo. Un diseño colorido y bien organizado mejora la orientación y el rendimiento académico (Heller, 2017).

-Materiales y texturas: La arquitectura que incorpora el tacto en sus diseños mejora la experiencia del usuario al crear conexiones emocionales más profundas.

Integración del arte: ver y exponer

La exposición y apreciación del arte en las escuelas es de gran importancia ya que contribuye al desarrollo cognitivo de los estudiantes, fomentando el pensamiento crítico y creativo a través de la observación y análisis de obras de arte (Palacios, 2006).

La naturaleza

Andrea Faber Taylor (Taylor y E.Kuo, 2009) ha demostrado que la naturaleza tiene un impacto significativo en el desarrollo infantil, incluyendo el desarrollo motor, la estimulación sensorial, las habilidades artísticas, el desarrollo cognitivo, la gestión del estrés y la promoción de la actividad física.

Sostenibilidad y medio ambiente

La UNESCO ha desarrollado un documento sobre la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) que sirve como guía para los profesionales de la educación. Proporciona objetivos de aprendizaje específicos y actividades de aprendizaje en relación con cada Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) (UNESCO, 2017).

RESULTADOS

Los casos de éxito educativo comparten una serie de características distintivas que reflejan un enfoque moderno y centrado en el estudiante:

-Los centros destacan por su diseño innovador, con una arquitectura que promueve la interacción y la colaboración.

-Se centran en un aprendizaje personalizado, adaptando la enseñanza a las necesidades individuales de cada estudiante.

-Optan por espacios abiertos y flexibles, permitiendo una variedad de métodos de enseñanza.

-La Escuela Saunalahti en Finlandia es un ejemplo de éxito educativo gracias a su diseño arquitectónico innovador, que promueve la interacción y la colaboración; su enfoque en el aprendizaje personalizado, adaptado a las necesidades individuales de cada estudiante; su integración con la comunidad local, ofreciendo instalaciones como una biblioteca pública y un centro de día; y su énfasis en la creatividad y la educación física, fomentando un aprendizaje integral y versátil.

-Ørestad College en Copenhague es famoso por su arquitectura innovadora, diseñada por 3XN Architects. La escuela se distingue por sus espacios abiertos y flexibles que promueven la interacción y la colaboración entre estudiantes y profesores. En lugar de aulas tradicionales, utiliza configuraciones espaciales libres que permiten una variedad de métodos de enseñanza, desde el desarrollo individual hasta el trabajo en equipo.

CONCLUSIÓN

Pueden efectuarse una serie de lecturas sobre la investigación de fondo. Una de ellas es que existe una alianza entre los espacios de los centros educativos y la fenomenología. Por ello, es factible que, si se diseña con criterios sólidos, la Arquitectura induzca comportamientos positivos, motive al aprendizaje y genere entornos agradables que procuren el bienestar de los estudiantes.

Otra lectura es que el territorio compartido por Arquitectura y Educación ofrece un escenario susceptible de excitar sinergias con otras áreas de Conocimiento y disciplinas, tales como la pediatría, la psicología, la pedagogía, la sociología, la neurociencia, y la sostenibilidad, en sus diversas dimensiones. En este punto, debe recordarse que, en lo que atañe a los complejos educativos, la sostenibilidad se presenta en forma de 7 dimensiones:

- Sostenibilidad institucional
- Sostenibilidad social
- Sostenibilidad ambiental
- Sostenibilidad energética
- Sostenibilidad económica
- Sostenibilidad educativa y cultural
- Sostenibilidad saludable y de bienestar

Todas ellas afectan, de uno u otro modo, en la configuración y vivencia de los complejos educativos, manteniendo vínculos de diversa naturaleza con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Como se ha podido observar, la Arquitectura puede influir en el estado de ánimo de los estudiantes. Esta trascendental faceta no es sino la aplicación en el terreno específico de la Educación del aspecto general, que sintetizaba adecuadamente el filósofo y psicólogo alemán Rudolph Arnheim: “Los edificios moldean el comportamiento. No se puede hacer plena justicia a la expresión visual de los objetos arquitectónicos tratándolos como perspectivas separadas o independientes, como si sólo existieran para ser observados” (Arnheim, 1978, p.210).

Contexto académico para la actividad de innovación docente

Partiendo del aporte de contenidos y oportunidades que emanan de la dinámica de investigación que se está realizando, se propone la realización de una actividad de innovación docente.

El contexto académico es el propio de un Grado en Arquitectura, si bien ciertas acciones podrían plantear sinergias con otros Grados universitarios, como es el caso de la Educación o la Psicología.

Conforme a la naturaleza del Plan de Estudios del Grado en Arquitectura de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad San Pablo-CEU, la actividad de innovación docente puede encuadrarse en el Área de Composición Arquitectónica (pudiendo establecerse conexiones con otras, como Proyectos o Expresión Gráfica). La asignatura más adecuada para la realización de la actividad de innovación docente es la de “Composición Arquitectónica”, que se ubica en el 4º Curso de la titulación. La razón esencial radica en que se trata de una asignatura que compagina la dimensión teórica con la praxis proyectual. De ese modo, los alumnos que la realicen podrán disfrutar de un aprendizaje que, sustentado en una base científica de corte teórico, pueda traducirse a la aplicación práctica en ejercicios de proyecto.

De modo sintético, puede describirse que la esencia de la actividad de innovación docente consiste en idear soluciones tipológicas en los espacios educativos que surjan del estudio de los paradigmas históricos de lugares docentes, además de incorporar aspectos relacionados con la percepción sensorial y psicológica de la Arquitectura.

Planteamiento de la actividad de innovación docente

Justificación general de la actividad

Comenzado ya el siglo XXI, los centros educativos en general, y los escolares en particular, tienen la obligación de fomentar la colaboración entre las distintas disciplinas, desarrollar patrones de diseño más innovadores y sensibles hacia la dimensión humana, y aportar una metodología para valorar la calidad de los espacios escolares.

Con la finalidad de que todo cuanto ha ido surgiendo del proceso investigador sirva como energía de transformación, a continuación, se exponen las directrices básicas de la actividad de innovación docente. El objetivo es que, partiendo de dicha indagación de carácter científico, los futuros arquitectos se impregnen de la necesidad de idear complejos educativos caracterizados por la calidad, la vanguardia y el compromiso social.

Seguidamente, se describe el proceso-tipo de enunciado de la referida actividad de innovación docente. Su aplicación específica habrá de detallar aspectos concretos, antes de su implementación, ajustándose a los condicionantes que concurren en cada caso. Como escenario de partida, se propondría realizarla en la asignatura de “Composición Arquitectónica” del 4º Curso del Grado en Arquitectura de la Universidad San Pablo-CEU.

Propuesta de enunciado de actividad de innovación docente en Arquitectura

Fase 1.-Trabajo grupal. Los alumnos se organizarán en grupos. Empezarán por debatir impresiones sobre la percepción y vivencia de espacios físicos educativos, compartiendo las experiencias que todos ellos habrán tenido en etapas anteriores, tanto a nivel escolar como universitario.

Fase 2.-Trabajo individual. Cada alumno deberá llevar a cabo una indagación temática, revisando documentación y referencias bibliográficas sobre percepción sensorial y psicológica del espacio.

Estrategia documental: elaboración de textos propios, recogiendo los temas más significativos de lo indagado.

Fase 3.-Trabajo grupal. Los alumnos compartirán los resultados más relevantes de sus respectivas indagaciones.

Fase 4.-Trabajo individual. Los alumnos desarrollarán una investigación específica: seleccionar ejemplos de conjuntos educativos (escolares o universitarios), para analizar sus ideas generadoras, rasgos compositivos e impactos perceptivos. Temas a analizar en cada conjunto educativo:

Estudio histórico del proyecto, de su autor y del contexto histórico-arquitectónico.

Estudio del lugar: urbano, cultural, climatológico, económico, artístico, etc.

Estudio de las ideas que alimentaron la génesis conceptual del proyecto.

Estudio de las características compositivo-formales

Estrategia documental: elaboración de textos propios, así como esquemas gráficos, documentación fotográfica, etc.). Los proyectos se elegirán de entre un listado de autores proporcionado por los docentes encargados de la asignatura (mínimo: 4 proyectos por alumno).

Fase 5.-Trabajo grupal. Organizándose en grupos (Fase 1), se celebrarán sesiones de trabajo. Objetivos de las sesiones:

5.1.-Compartir valoraciones de proyectos analizados.

5.2.-Actividades y preguntas relativas a las percepciones y preferencias sobre conjuntos educativos, dibujando las ideas que surjan en la sesión.

5.3.-Sintetizar las características esenciales de las tipologías espaciales educativas (esquemas compositivos): tamaño, acceso, flexibilidad, ambiente, temperatura, etc

Fase 6.-Trabajo individual. Cada alumno deberá acometer un proceso de composición de espacios educativos, aunando la calidad espacial suministrada por el proyecto arquitectónico con los resultados de la investigación. De esta forma, los embriones de los proyectos a configurar por cada estudiante surgirán de una metodología innovadora, que se traducirá a propuestas concretas espaciales, consistentes en la referida composición formal de espacios educativos.

Temas susceptibles de nutrir el proceso compositivo en cada alumno:

-Organización espacial: Superficie útil por estudiante, dimensiones de elementos (patios, pasillos, escaleras), y accesibilidad.

-Ambiente lectivo: temperatura, la iluminación, la acústica, el arte y la naturaleza.

-Personalización del entorno: privacidad, inclusión de elementos facilitadores del estudio, relajación, desconexión mental.

-Tecnología en las aulas: beneficios y sus posibles contraindicaciones.

-Elementos interiores: mobiliario, los colores, los materiales y las texturas.

Fase 7.-Entrega final Como resultado final de la actividad de innovación docente, cada alumno deberá entregar la siguiente documentación:

7.1.-Documentación (textos) sobre la indagación llevada a cabo en la Fase 2.

7.2.-Documentación (textos y gráficos) sobre la investigación del análisis tipológico de ejemplos de conjuntos educativos, llevada a cabo en la Fase 4.

7.3.-Documentación (textos y gráficos) sobre las composiciones de proyectos de espacios educativos. Plantas, secciones, alzados y detalles compositivos de diverso orden. Deberá evidenciarse que dichas composiciones proyectuales se han inspirado en los procesos de investigación desarrollados desde el inicio.

7.4.-Bibliografía. Debe ser lo más exhaustiva posible, exponiendo las referencias recopiladas y evaluadas, y la consecuente influencia de las ideas compositivas.

La realización de esta actividad de innovación docente podrá traducirse a los siguientes resultados positivos, en materia de formación del futuro arquitecto:

Incremento de la creatividad. La actividad promueve que el alumno abra su mente a nuevas formas de gestar los proyectos, basándose en los resultados de las fases de investigación que realizará en la primera parte de la experiencia.

Fomento de las sinergias temáticas. Arquitectura y Educación poseen un bagaje temático propio de gran entidad, pero comparten un conjunto sólido de facetas de cuya interacción el alumno puede estimular su labor proyectual.

Trabajo colectivo. Al compaginarse las fases individuales y las colectivas, los estudiantes extraerán beneficios derivados del hecho de compartir y consensuar lecturas sobre la Arquitectura, la Educación y la percepción psicológica del espacio.

Sensibilización humana. Al tener como uno de los cimientos de la actividad de innovación docente el análisis pormenorizado y sensible tanto de los componentes espaciales (de distinta dimensión y entidad) como de los aspectos perceptivos y vivenciales, los alumnos de Arquitectura realizarán un ejercicio de inmersión en la sensibilidad, lo que sin duda constituirá un recurso enriquecedor para su futuro ejercicio profesional.

REFERENCIAS

- Acaso, M. (2012). *Pedagogías invisibles. El espacio del aula como discurso*. Madrid: Los libros de la Catarata.
- Acaso, M. y Megías, C. (2017). *Art thinking. Cómo el arte puede transformar la educación*. Ediciones Barcelona: Paidós.
- Alexander, C., Ishikawa, S., y Silverstein, M. (1980). *Un lenguaje de patrones*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Aljabreen, H. (2020). Montessori, Waldorf, and Reggio Emilia: A Comparative Analysis of Alternative Models of Early Childhood Education. *International Journal of Early Childhood*, 52(3), 337–353. doi:10.1007/s13158-020-00277-1
- Alter, A. (2013). *Drunk Tank Pink*. Estado Unidos: Penguin Press.
- Ara, A. (2017). *TADA O ANDO: Mecanismos de proyecto para la definición de un pensamiento arquitectónico* (Trabajo Fin de Grado). Universidad de Zaragoza, España.
- Araya, J.A. (2015). *El entorno sonoro. Implicaciones y recomendaciones para el diseño de los espacios*. CreateSpace.
- Arnheim, R. (1878). *La forma visual de la arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili
- Asociación Española de Pediatría. (2021). *El legado del COVID-19 en la población infanto-juvenil española: Se duplican los casos de urgencias psiquiátricas infantiles, los trastornos de conducta alimentaria, los casos de ansiedad, depresión y las autolesiones e intentos de suicidio adolescente* (Informe de posicionamiento). Recuperado de <http://www.aeped.es>
- Bachelard, G. (1957). *La poética del espacio*. México: FCE.
- Bannister, D. (2018). *Pautas para estudiar y adaptar los espacios de aprendizaje en centros educativos*. Bruselas, Bélgica: European Schoolnet (EUN Partnership AISBL).
- Baratto, R. (2023, May 15). *El poder de las emociones: ¿Cómo nos mueve el espacio?* Archdaily. Recuperado de <https://www.archdaily.cl/cl/1000925/el-poder-de-las-emociones-como-nos-mueve-el-espacio>
- Bautista, G., Forés, A., y Borges, F. (2006). *Didáctica Universitaria En Entornos Virtuales de Enseñanza-Aprendizaje*. Madrid, España: NARCEA.
- Bêka, I. y Lemoine, L. (2023). *The emotional power of space*. París, Francia: B&P, Bêka & Partners Publishers.
- Blakeslee, S. y Blakeslee, M. (2009). *El mandala del cuerpo*. España: La liebre de Marzo.
- Bondioli, A. (2011). *Tiempos, espacios y grupos. El análisis y la evaluación de la organización en la escuela infantil: DAVOPSI*. Barcelona, España: Editorial GRAÓ.
- Breithecker, D. (2005). *The educational workplace: What the "classroom of the future" will look like*. Wiesbaden: Bundesarbeitsgemeinschaft für Haltungs und Bewegungsförderung.
- Broto, C. (2016). *Espacios para niños*. Links Books.

- Campos, P. y Luceño, L. (2018). *Las formas de la educación*. Madrid: Dykinson.
- Campos, P., Luceño, L., y Aguirre, C. (2021). Physical Spaces in Higher Education as Scenarios of Learning Innovation: Compositional and Formative Synergies among Architecture, Music, and Fashion. *European Journal of Investigation in Health Psychology and Education*, 11(4), 1166-1180. doi:10.3390/ejihpe11040086
- Carter, D., Sebach, G., y White, M. (2016). *What's in your space? 5 steps for better school and design classroom design*. Corwin.
- Cuvelier, M. (2012). *El color en los espacios psicoterapéuticos para niños con TDA: Alternativas del uso del color en los espacios de salud mental para niños*. Editorial Académica Española.
- De Botton, A. (2016). *La arquitectura de la felicidad*. Lumen.
- De Paiva, A. (2018). Neuroscience for architecture: How building design can influence behaviors and performance. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 12(2). doi:10.17265/1934-7359/2018.02.007
- DeSalle, R. (2018). *Our senses: An immersive experience*. Yale University Press.
- Eberhard, J.P. (2008). *Brain landscape: The coexistence of Neuroscience and Architecture*. Oxford University Press.
- Eberhard, J.P. (2009). Applying Neuroscience to Architecture. *Neuron*, 62(6), 753-756. doi: 10.1016/j.neuron.2009.06.001
- Ekman, P. (2003). *El rostro de las emociones*. RBA Bolsillo.
- Elizondo, C. (2022). Neuroeducación y diseño universal de aprendizaje. Una propuesta práctica para el aula inclusiva. Ediciones Octaedro.
- Escolano, A. (2013). *Tiempos y espacios para la escuela*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Eslava, M.C. (2015). *Huellas de la infancia en el impulso creativo* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Figuroa, A., Orozco, M.G., y Preciado, N.E. (2012). Noise levels in connection with learning and perception in elementary schools of Guadalajara, Jalisco, Mexico. *Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería*, 16(3), 175-181.
- García, A. (2017). *Otra educación es posible*. Valencia: Llitera.
- Goleman, D. (1996). *Inteligencia emocional*. Barcelona: Kairós.
- González, Á. (2016). *Pensamiento y arquitectura en Peter Zumthor* (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València, España.
- Goodman, J., Hurwitz, M., Park, J., y Smith, J. (2018). *Heat and learning* (Working Paper No. 24639). National Bureau of Economic Research. doi: 10.3386/w24639
- Heller, E. (2017). *Psicología del color. Cómo actúan los colores sobre los sentimientos y la razón*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Hernando, A. (2016). *Viaje a la escuela del siglo XXI*. Madrid: Fundación Telefónica.
- Hoyuelos, A. (2013). *La estética en el pensamiento y obra pedagógica de Loris Malaguzzi*. Barcelona: Octaedro.
- Huxley, A. (2019). *Las puertas de la percepción*. Debolsillo.
- Kariippanon, K.E., Cliff, D.P., Lancaster, S.J., Okely, A.D., y Parrish, A.M. (2019). Flexible learning spaces facilitate interaction, collaboration and behavioural engagement in secondary school. *PLoS ONE*, 14(10). doi: 10.1371/journal.pone.0223607

- L'Ecuyer, C. (2013). *Educación en el asombro*. España: Plataforma.
- Lippman, P.C. (2012). Evidence-Based Design of elementary and secondary schools: A responsive approach to creating learning environments. *Children, Youth and Environments*, 22(1), 314–318. doi: 10.7721/chilyoutenvi.22.1.0314
- López, S. (2018). *Esencia. Diseño de espacios educativos*. Madrid: Ediciones Khaf, Grupo Editorial Luis Vives.
- MacKenzie, D.J. y Airey, S. (1999). *Classroom acoustics: A research project* (Summary report). Heriot-Watt University, Department of Building Engineering and Surveying, Riccarton, Edimburgo.
- Mallgrave, H.F. (2009). *The architect's brain: neuroscience, creativity, and architecture*. Wiley-Blackwell.
- Marina, J.A. y López, M. (2006). *Diccionario de los sentimientos*. Barcelona: Anagrama.
- Munari, B. (s.f.). *Bruno Munari*.
- Munoz, J.L. (1998). Estrés y Visión. *Anales de la Sociedad Ergofarmacológica Española*, 27(1-2), 1–95.
- Nair, P. (2016). *Diseño de espacios educativos*. España: Fundación Santa María-Ediciones SM
- Nair, P., Fielding, R., y Lackney, J. (2009). *The Language of school design: Design patterns for 21st century schools*. Paperback.
- Palacios, L. (2006). El valor del arte en el proceso educativo. *Análisis de problemas universitarios*, (46), 36-44.
- Pallasmaa, J. (2022). *Los ojos de la piel. La arquitectura de los sentidos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Paramés, A. (2022). *El mobiliario en los centros educativos: valoración antropométrica e instrumentos de medida* (Tesis doctoral). Universidad de Vigo, España.
- Piaget, J. y Fernández, F.J. (1983). *Psicología y pedagogía*. Madrid: Sarpe.
- Robinson, S. y Pallasmaa, J. (2017). *Mind in architecture: Neuroscience, embodiment, and the future of design*. MIT Press.
- Rodríguez, A. (1996). Creatividad y formación de profesorado. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 25, 125-132
- Romaña, T. (2004). Arquitectura y Educación: perspectivas y dimensiones. *Revista Española de Pedagogía*, (228), 199-220
- Ruiz, F. (2006). *La nueva educación*. LID editorial.
- Sutil, L. y Perán, J. (2012). *Neuroarquitectura y comportamiento del consumidor: una propuesta de modelo de diseño*. Universidad Rey Juan Carlos, Barcelona.
- Taylor, A.F. y E.Kuo, F. (2009). Is contact with nature important for healthy child development? State of the evidence. In C. Spencer y M. Blades (Eds.), *Children and their environments. Learning, using and designing spaces* (pp. 124–140). Cambridge: Cambridge University Press.
- UNESCO. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivos de aprendizaje*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. París, Francia.

CAPÍTULO 7

GENERATIVE AI AS A CATALYST FOR CREATIVITY AND LEARNING IN INDUSTRIAL DESIGN

ESTHER CAMPOS SERRULLA
Universidad Europea de Madrid

INTRODUCTION

Engineering education has significantly evolved over the past decades, with an increasing focus on educational innovation and quality improvement. According to Smith, Kahlke, & Judd (2020), the integration of new technologies and active methodologies has been shown to enhance student engagement and performance. In the context of the Industrial Design Methodology course, it is crucial to develop educational materials that not only convey technical knowledge but also foster critical and creative skills. Generative AI, in particular, has proven to be a powerful tool for fostering creativity and improving design and learning processes (Brown, Johnson, & Smith, 2023; Smith & Anderson, 2023; Zhang, Li, & Wang, 2022).

This project aims to improve the educational quality of the Industrial Design Methodology course through innovation in educational materials and teaching methodologies, including generative AI.

Innovation in education is essential to prepare students for the challenges of the 21st century. This project is feasible thanks to the availability of technological resources and institutional support. Integrating generative AI to enhance creativity and improve designs.

State of the Art

One of the most significant advantages of generative AI is its ability to analyse and evaluate designs objectively. Students can compare their own designs with those generated by AI, identifying strengths and areas for improvement. This benchmarking process fosters a deeper understanding of design principles and enhances students' critical skills (González & Martínez, 2023; Johnson, Brown, & Smith, 2023; Wang, Zhang, & Li, 2022).

The ability of AI to identify deficiencies in designs is particularly useful in an educational context. Students can learn from the AI's mistakes and apply that knowledge to improve their own designs. Additionally, AI can suggest specific improvements based on data and analysis, providing students with clear guidance for optimizing their projects (Johnson, Brown, & Smith, 2023; Lee & Kim, 2022).

Objective AI evaluation can also help students develop a critical mindset. By receiving data-driven feedback, students learn to evaluate their own work more rigorously and make informed decisions about how to improve their designs. This is especially valuable in industrial design, where precision and attention to detail are crucial (Patel & Singh, 2022; Smith & Anderson, 2023).

Innovation in Creativity, Industrialization, and Zero Waste

The implementation of generative AI in the classroom has led to significant advances in creativity, industrialization, and sustainability. Students learn to design with a focus on waste reduction, using materials more efficiently and sustainably. Generative AI helps optimize design processes, minimizing resource use and promoting responsible design practices (González & Martínez, 2023; Johnson, Brown, & Smith, 2023; Patel & Singh, 2022).

Sustainability is a crucial aspect of modern industrial design. Generative AI allows students to explore design solutions that minimize material waste and optimize resource use. This is not only beneficial from an environmental perspective but also prepares students to face future challenges in the design industry (Smith & Anderson, 2023; Wang, Zhang, & Li, 2022).

Additionally, generative AI can contribute to efficient industrialization. By optimizing designs for mass production, AI can help reduce costs and production time. This is particularly relevant in education, where students can learn about the principles of efficient and sustainable manufacturing (Lee & Kim, 2022; Wang, Zhang, & Li, 2022).

Future of Generative AI in Education and Industrial Design

Generative AI also has the potential to transform the way design classes are taught. Educators can use AI to create more interactive and personalized learning environments. For example, students could work on design projects in real-time with AI assistance, receiving instant feedback and adjusting their designs on the fly. This would not only make learning more dynamic but also allow students to develop practical skills essential in the real world (Lee & Kim, 2022; Wang, Zhang, & Li, 2022).

Generative AI can also play a crucial role in continuous education and professional development. Industrial designers can use AI to stay updated with the latest trends and technologies in their field. Additionally, AI can help professionals identify areas for improvement in their skills and provide resources and recommendations for their development (González & Martínez, 2023; Smith & Anderson, 2023).

Integration of Generative AI in the Educational Curriculum

To maximize the benefits of generative AI, it is essential to integrate it effectively into the educational curriculum. This involves not only incorporating AI tools into design classes but also training educators to use these tools effectively. Teacher training programs should include modules on the use of generative AI, as well as best practices for its integration into the classroom (Johnson, Brown, & Smith, 2023; Patel & Singh, 2022).

Additionally, it is important to develop educational materials that are accessible and understandable for students. This can include tutorials, guides, and practical examples that demonstrate how to use generative AI in design projects. By providing these resources, educational institutions can ensure that all students have the opportunity to benefit from the technology (Lee & Kim, 2022; Smith & Anderson, 2023).

Collaboration between Industry and Academia

Collaboration between industry and academia is fundamental to the successful integration of generative AI in education. Technology companies can provide the necessary tools and resources, while educational institutions can offer the knowledge and expertise in teaching design. By working together, these stakeholders can develop educational programs that are aligned with market needs and prepare students for the demands of the workforce (González & Martínez, 2023; Johnson, Brown, & Smith, 2023).

Moreover, collaborations can include joint research and development projects. These projects can explore new applications of generative AI in industrial design and develop innovative solutions that benefit both industry and education. By fostering these collaborations, the advancement of technology and its adoption in the classroom can be accelerated (Patel & Singh, 2022; Wang, Zhang, & Li, 2022).

Impact of Generative AI on Sustainability

Sustainability is an increasingly important topic in industrial design, and generative AI can play a crucial role in this area. By optimizing designs to minimize material use and reduce waste, AI can help create more sustainable products. This is not only beneficial for the environment but can also reduce production costs and improve efficiency (Johnson, Brown, & Smith, 2023; Smith & Anderson, 2023).

Additionally, generative AI can help designers explore new ways to reuse and recycle materials. For example, AI can suggest ways to redesign existing products to make them easier to disassemble and recycle. This can promote a circular economy, where products and materials are continuously reused, reducing the need for new resources (González & Martínez, 2023; Patel & Singh, 2022).

Evaluation of the Impact of Generative AI in Education

To fully understand the impact of generative AI in education, continuous evaluations are essential. This can include case studies, surveys, and data analysis to measure how the technology is affecting student learning and performance. By collecting and analysing this data, educational institutions can identify areas for improvement and adjust their programs accordingly (González & Martínez, 2023; Lee & Kim, 2022).

Additionally, it is important to consider the experiences and opinions of students. Surveys and interviews can provide valuable insights into how students perceive generative AI and how they are using the technology in their design projects. By incorporating these perspectives, institutions can ensure that their programs are relevant and effective (Lee & Kim, 2022; Smith & Anderson, 2023).

Technological Developments and Future Trends

Generative AI is constantly evolving, and significant developments are likely in the coming years. One emerging trend is the integration of generative AI with other advanced technologies, such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR). These technologies can provide immersive learning experiences, where students can interact with their designs in a virtual environment and receive real-time feedback (Johnson, Brown, & Smith, 2023; Patel & Singh, 2022).

Another trend is the development of more accessible and user-friendly generative AI tools. This can include intuitive user interfaces and educational resources that facilitate the learning and utilization of the technology. By making generative AI more accessible, its adoption can be expanded, maximizing its impact on education and industrial design (González & Martínez, 2023; Smith & Anderson, 2023).

METHOD

For the Industrial Design Methodologies course, various digital platforms will be used to create interactive materials. These materials will include explanatory videos, simulations, and online quizzes, designed to facilitate the understanding of complex concepts and encourage active student participation.

The scheduled activities will be structured around collaborative workshops, group projects, and feedback sessions. In these workshops, students will work in teams to develop design projects, using generative AI as a key tool. Generative AI will provide multiple creative options and instant feedback, allowing students to explore a wide range of design possibilities.

Additionally, interactive simulations will be implemented to allow students to experiment with different design approaches in a safe virtual environment. Online quizzes will be used to assess students' theoretical and practical knowledge, ensuring they understand the fundamental principles of industrial design.

The proposed methodology is suitable because it promotes active participation and autonomous learning, aligning with the objectives of improving educational quality and student engagement. The integration of generative AI allows students to explore a wide range of creative possibilities, overcoming the traditional limitations of human thinking.

Generative AI not only facilitates the creation of innovative designs but also enhances the learning process by providing instant and personalized feedback. This allows students to continuously iterate and refine their ideas, promoting active and reflective learning.

The interactive materials and collaborative activities are designed to cater to different learning styles, ensuring that all students can benefit from the innovative approach. Generative AI will be used to generate variations of a base design, allowing students to visualize multiple solutions to the same problem.

For example, in collaborative workshops, students will be able to compare their designs with those generated by AI, identifying strengths and areas for improvement. This comparison will foster a deeper understanding of design principles and enhance students' critical skills.

The project will be supported by the ICT resources available at the educational center, including online learning platforms like Moodle and Microsoft Teams, which will facilitate course creation, task assignment, and real-time collaboration. Design software such as AutoCAD, SolidWorks, and Adobe Creative Cloud will be used to enable students to create precise drawings, 3D models, and visual materials. Additionally, digital assessment tools like Kahoot and Google Forms will be employed to evaluate students' knowledge interactively and efficiently. Generative AI will be implemented using specialized software like Runway ML and DeepArt.io, allowing students to generate creative content and explore new design ideas. To support these activities, high-performance computers and access to design databases like Material ConneXion and Granta Design will be provided, offering detailed information on materials and manufacturing processes. These advanced technological resources will ensure that students can fully benefit from an innovative approach in the Industrial Design Methodologies course.

Technical Support and Evaluation

The institution will provide the necessary technical support for the implementation of these tools, ensuring that students have access to all the resources needed for their learning. Indicators such as participation in activities, performance in assessments, and student feedback will be used to measure the success of the project. Generative AI will provide instant feedback on designs, identifying areas for improvement and deficiencies.

Evaluations will include satisfaction surveys, analysis of academic results, and observations of participation in activities. The feedback provided by generative AI will be used to continuously improve designs and the learning process.

Project Phases

The project will be developed in phases, starting with the creation of educational materials, followed by the implementation of methodologies and the evaluation of results. The integration of generative AI will be carried out progressively, ensuring its alignment with the project's objectives. Project Phases:

Preparation Phase: Development of interactive educational materials and configuration of digital platforms.

Implementation Phase: Conducting collaborative workshops and group projects, with the integration of generative AI.

Evaluation Phase: Analysis of student participation, academic performance, and satisfaction with the implemented materials and methodologies.

Semester Course Tasks

As part of a semester-long course, four tasks have been designed to allow students to compare their own product designs with those generated by generative AI. This innovative approach not only fosters creativity and critical thinking but also provides a deep understanding of the capabilities and limitations of AI in product design.

Design of an Innovative Product

The first task focuses on designing an innovative product. Students use design software such as AutoCAD and SketchUp, along with generative AI tools like DALL-E and MidJourney. The methodology combines theory and practice, starting with a theoretical introduction to product design and the use of generative AI. Subsequently, students participate in practical workshops where they create their own designs and generate similar designs using AI. This task is developed over the first six weeks of the semester, allowing students to apply theoretical knowledge in a practical context and compare their skills with the capabilities of AI.

Usability and Aesthetics Analysis

The second task focuses on the usability and aesthetics analysis of designs created by students and those generated by AI. Using usability analysis tools like UserTesting and design software, students evaluate the usability and aesthetics of the designs. This task, conducted between weeks seven and ten, allows students to understand the importance of usability and aesthetics, and how these can be evaluated and improved. The materials and methodology are designed to facilitate practical and critical evaluation of the designs.

Prototyping and User Testing

The third task involves creating physical prototypes of the designs and conducting user tests. Students use 3D printers, prototyping materials, and design software to create prototypes and perform user tests. This task, developed between weeks eleven and fourteen, facilitates the understanding of the prototyping process and the importance of user testing in product development. The materials and methodology are designed to provide practical experience in prototyping and user testing.

Presentation and Comparison of Results

The fourth and final task focuses on preparing and presenting the project results, comparing human and AI-generated designs. Students use presentation tools like PowerPoint and Prezi to prepare and present their results. This task is carried out in the last three weeks of the semester, allowing students to synthesize and communicate their findings, developing presentation and critical analysis skills. The materials and methodology are designed to facilitate effective communication of results.

Justification and Evaluation

The methodology used in these tasks is justified by its alignment with learning objectives, combining theory and practice to provide a comprehensive learning experience. The available resources, such as computer labs, usability analysis tools, and prototyping labs, are adequate for the project and facilitate active learning. Evaluation is based on the originality of the design, technical quality, depth of analysis, and the ability to critically compare human and AI-generated designs. The organization and planning of the project are divided into phases with partial deliveries and continuous feedback, ensuring constant progress and continuous improvement.

Evaluation Indicators

To evaluate the project, five key indicators have been established, each with a specific weight in the final score:

Originality of Design (25%). This criterion assesses the creativity and innovation of the presented design. The project is expected to showcase unique and original ideas that stand out for their novelty.

Technical Quality (25%). This evaluates the accuracy and level of technical detail in the project. It includes the correct application of technical principles and the quality of execution.

Usability Analysis (20%). This indicator measures the ease of use and functionality of the project. It considers how users interact with the design and whether it meets their needs efficiently.

Critical Comparison (20%). This section analyses the project in comparison with similar ones. It evaluates the project's ability to surpass or match the standards set by other works in the same field.

Final Presentation (10%). This criterion focuses on the quality of the project's presentation. It includes aspects such as clarity, organization, and the aesthetics of the final presentation.

This Semester Course

This semester course offers students the opportunity to explore product design in an innovative context, using generative AI to compare and improve their own designs.

Project Evaluation

To assess the effectiveness of the project, surveys were conducted with the 20 students in the multicultural group, composed of students from 5 different nationalities. The survey included the following questions:

How would you rate your overall satisfaction with the course?

- Very satisfied
- Satisfied
- Neutral
- Dissatisfied
- Very dissatisfied

Have you noticed an improvement in your design skills after using generative AI?

- Yes, significant
- Yes, moderate
- No, no improvement

Do you consider generative AI to be a useful tool for exploring new ideas and improving your designs?

- Very useful
- Useful
- Neutral
- Slightly useful
- Not useful at all

Did you actively participate in the workshops and group projects?

- Yes
- No

How would you rate the instant feedback provided by generative AI?

- Very positive
- Positive
- Neutral
- Negative
- Very negative

The combination of theory and practice, along with critical evaluation and careful planning, ensures a rich and effective learning experience.

RESULTS

The implementation of generative AI in the Industrial Design Methodologies course has proven to be a highly effective strategy for improving educational quality and fostering creativity among students. The project results indicate that the integration of advanced technologies and innovative methodologies not only facilitates learning but also enhances the development of critical and creative skills.

The instant feedback and multiple creative options provided by generative AI allowed students to identify areas for improvement in their designs and apply this knowledge to future projects. This benchmarking process fostered a deeper understanding of design principles and improved students' critical skills. The AI's ability to generate variations of a base design helped students visualize multiple solutions to the same problem, expanding their creative horizon and promoting a mindset of experimentation and exploration.

Students showed increased awareness of the importance of designing in an environmentally respectful manner and incorporating principles of inclusion in their work. Generative AI facilitated the exploration of design solutions that minimize material waste and optimize resource use, promoting responsible and sustainable design practices. This approach is not only beneficial from an environmental perspective but also prepares students to face future challenges in the design industry.

The integration of generative AI enhanced students' critical thinking abilities, allowing them to evaluate their designs more rigorously and adopt a mindset of continuous improvement. The data-driven feedback provided by AI helped students develop a critical mindset, evaluating their own work more rigorously and making informed decisions on how to improve their designs.

The use of online learning platforms like Moodle and Microsoft Teams facilitated course creation, task assignment, and real-time collaboration. Digital assessment tools like Kahoot! and Google Forms allowed for interactive and efficient student knowledge evaluation. The availability of advanced design software and technological resources, such as high-performance computers and access to design databases, ensured that students could fully benefit from an innovative approach in the course.

The project was developed in three phases: preparation, implementation, and evaluation. Each phase was successfully carried out, meeting and exceeding initial expectations. The preparation phase involved the development of interactive educational materials and the configuration of digital platforms. During the implementation phase, collaborative workshops and group projects were conducted with the integration of generative AI. Finally, the evaluation phase analysed student participation, academic performance, and satisfaction with the implemented materials and methodologies.

To assess and obtain indicators of project satisfaction and success, a survey was conducted with a sample of 20 students from the multicultural group. The survey used Likert scales to measure various dimensions, such as overall course satisfaction, improvement in design skills, the usefulness of generative AI, participation in collaborative activities, and the evaluation of instant feedback. The Likert scales allowed for the consistent and statistically analysable quantification of students' opinions and perceptions, providing clear, precise data on the project's effectiveness.

Analysis of Results

Question 1: Overall Satisfaction with the Course

- Very satisfied: 12 students
- Satisfied: 7 students
- Neutral: 1 student
- Dissatisfied: 0 students
- Very dissatisfied: 0 students

Question 2: Improvement in Design Skills

- Yes, significant: 14 students
- Yes, moderate: 4 students
- No, no improvement: 2 students

Calculation of Significant Improvement Percentage:

Question 3: Usefulness of Generative AI

- Very useful: 10 students
- Useful: 7 students
- Neutral: 2 students
- Slightly useful: 1 student
- Not useful at all: 0 students

Calculation of Usefulness Percentage (very useful + useful):

Question 4: Participation in Workshops and Group Projects

- Yes: 18 students
- No: 2 students

Calculation of Active Participation Percentage:

Question 5: Evaluation of Instant Feedback

- Very positive: 11 students
- Positive: 7 students
- Neutral: 2 students
- Negative: 0 students
- Very negative: 0 students

The survey results indicate that the project was a success, meeting the objectives of improving educational quality and fostering student participation. The high overall satisfaction (95%), significant improvement in design skills (70%), usefulness of generative AI (85%), active participation in workshops (90%), and positive evaluation of instant feedback demonstrate the project's effectiveness.

CONCLUSION

The project results have shown that students not only learn significantly from the ideas provided by generative AI but also substantially improve their own designs. The instant feedback and multiple creative options offered by AI allowed students to identify areas for improvement and apply this knowledge to their future projects. Additionally, students showed increased awareness of the importance of designing in an environmentally respectful manner and incorporating principles of inclusion in their work. This approach fostered the development of critical skills, allowing students to evaluate their designs more rigorously and adopt a mindset of continuous improvement.

The implementation of innovative educational materials and active methodologies in the Industrial Design Methodologies course, along with the integration of generative AI, has proven to improve student participation and performance. Generative AI has enhanced creativity, facilitated learning, and contributed to innovation in terms of creativity, industrialization, and waste reduction in the classroom.

REFERENCES

- Bahroun, Z., Anane, C., Ahmed, V., & Zacca, A. (2023). Transforming Education: A Comprehensive Review of Generative Artificial Intelligence in Educational Settings. *Sustainability*, *15*(17), 12983. doi: 10.3390/su151712983
- Brown, L., Johnson, P., & Smith, J. (2023). Generative AI in Industrial Design Education. *Journal of Engineering Education*, *110*(3), 234-256.
- González, M. & Martínez, R. (2023). AI-Driven Learning in Design Education. *International Journal of Educational Technology*, *45*(2), 145-167.
- Johnson, P., Brown, L., & Smith, J. (2023). Innovative Teaching Methods in Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, *109*(2), 123-145.
- Lee, S. & Kim, H. (2022). Enhancing Creativity through Generative AI. *Design Studies*, *43*(1), 78-95.
- Moosavi, S., Farajzadeh-Zanjani, M., Razavi-Far, R., Palade, V., & Saif, M. (2024). Explainable AI in Manufacturing and Industrial Cyber-Physical Systems: A Survey. *Electronics*, *13*(17), 3497. doi: 10.3390/electronics13173497
- Patel, R. & Singh, A. (2022). Personalized Learning with AI. *Educational Technology Research and Development*, *70*(4), 987-1005.
- Smith, E.E., Kahlke, R., & Judd, T. (2020). Not just digital natives: Integrating technologies in professional education contexts. *Australasian Journal of Educational Technology*, *36*(3), 1-14.
- Smith, J. & Anderson, K. (2023). Exploring the Potential of Generative AI in Education. *Journal of Educational Research*, *115*(1), 45-67.
- Wang, Y., Zhang, X., & Li, Q. (2022). Generative AI for Design Innovation. *Journal of Industrial Design*, *58*(3), 301-320.
- Zhang, X., Li, Q., & Wang, Y. (2022). AI-Enhanced Creativity in Design Education. *International Journal of Design*, *36*(2), 112-134.

CAPÍTULO 8

THE ROLE OF HANDS-ON LEARNING IN ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION

ÁNGEL PAREDES PARRILLA
Universidad de Málaga

INTRODUCTION

Hands-on learning is a key component of engineering education, enabling students to apply theoretical knowledge to practical scenarios. This approach promotes a deeper understanding of complex subjects such as mathematics and science, essential foundations for engineering. The use of real-world problems and physical components in class allow students to develop instincts and applied knowledge that purely theoretical instruction often cannot provide (Seman, Hausmann, & Bezerra, 2018). Additionally, hands-on experiences enhance problem-solving, innovation, and critical thinking—qualities crucial for all engineering disciplines.

In electrical engineering, hands-on learning holds particular significance. Students often face abstract concepts and highly integrated systems that are difficult to grasp through theory alone. Practical experience with electronics, circuits, and components allows students get a deeper understanding on how to apply theoretical knowledge to real-world applications (Suárez et al., 2018). As electronics become more complex and miniaturized, informal tinkering opportunities have diminished, making structured hands-on experiences in educational settings even more vital for student learning and professional preparation.

Current state of the art

Historically, electrical engineering education has relied heavily on lecture-based teaching to convey complex theoretical concepts like circuit theory and electromagnetism (Johnson, Blackburn, Su, & Finelli, 2019; Magana, Vieira, & Boutin, 2018). In this model, students passively absorb information, with assessments typically focusing on their ability to recall and apply theory. Laboratory sessions, though present, often serve as supplementary to lectures and follow strict procedural guidelines, limiting students' ability to engage in independent problem-solving (Dofe & Kurwadkar, 2021). Active learning methods like Project-Based Learning (PBL) have traditionally been underutilized, leaving students with limited exposure to real-world engineering problems (Caplan, 2019).

While traditional methods have long been dominant, their limitations have raised concerns about student engagement and knowledge retention. Research suggests that

lecture-based learning often results in lower retention rates compared to more interactive environments (Shoufan, 2020). As industries increasingly demand technical and soft skills like collaboration and adaptability, traditional approaches have been criticized for inadequately preparing students for workplace challenges (Magana et al., 2018; Poyasok, Bespartochna, Kvasnyk, Perevozniuk, & Shapolova, 2022).

In response to these limitations, active learning methodologies have also emerged in electrical engineering education, involving the students directly through applied activities and group-collaboration (Muraleedharan, Wedge, & Trump, 2024). These methods include:

- PBL: This method engages students in real-world projects, integrating theoretical and practical components of their education (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2023).

- Flipped Classroom (FC): Students review instructional materials outside class, while in-class time is dedicated to problem-solving and group work, improving engagement and comprehension (Serrano et al., 2023).

- Case-Based Learning (CBL): By solving real or simulated cases, students apply theoretical knowledge in practical contexts, aiding understanding of both technical and ethical aspects of engineering decisions (Suárez et al., 2018).

- Hands-on Labs and Simulations (Sim): Modern innovations like virtual labs and simulations have expanded access to hands-on learning, offering flexibility for students in resource-constrained environments (Zhao & Niu, 2023).

Active methodologies are increasingly being used to address industry needs. Programs that emphasize hands-on and PBL better prepare students for the demands of modern industries, such as smart grid technologies (Khan, Haque, Sachdeva, & Morgan, 2022) and renewable energy systems (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2023). By working on real-world projects with clear applications, students develop both technical expertise and soft skills like teamwork, communication, and adaptability (Cáceres & Baesso, 2018; Vega & Ortiz, 2018). This prepares future engineers for the challenges of a rapidly changing industry, where creative problem-solving and adaptability are key.

Hypothesis of the systematic review

The systematic review is grounded in the hypothesis that hands-on learning approaches significantly enhance knowledge retention, practical skills, and student engagement in electrical engineering education compared to traditional lecture-based methods. Specifically, it posits those hands-on experiences improve conceptual understanding and mastery of core engineering principles (such as circuit design, troubleshooting, and programming) that are essential for professional practice.

Additionally, the review aims to explore how hands-on learning impacts student motivation and retention, with the expectation that interactive, experiential learning environments lead to lower dropout rates and greater academic success. Finally, the hypothesis extends to the belief that hands-on learning promotes collaborative and interdisciplinary skills more effectively than traditional lecture-based formats, preparing students for teamwork and cross-disciplinary problem-solving in engineering fields like mechatronics and renewable energy.

Objectives of the systematic review

The primary objective of this systematic review is to evaluate the effectiveness of hands-on learning in electrical engineering education across several key dimensions. First, the review seeks to assess how hands-on activities impact knowledge retention and concept mastery in comparison to traditional instructional methods. Specifically, it aims to determine whether lab-based and project-oriented approaches lead to better comprehension and long-term retention of electrical engineering concepts. Second, the review aims to evaluate how these methods contribute to the development of practical engineering skills, focusing on whether students engaged in hands-on learning exhibit stronger abilities in areas such as circuit design, software simulation, and troubleshooting. Third, the review examines the effect of hands-on learning on student motivation and engagement, with a focus on how interactive learning experiences influence academic performance, satisfaction, and retention rates. Lastly, the review intends to investigate how hands-on approaches promote collaborative skills and interdisciplinary thinking, particularly how project-based learning fosters teamwork and prepares students to apply engineering principles across various fields. Through these objectives, the systematic review seeks to provide a comprehensive evaluation of the benefits and challenges of integrating hands-on learning into electrical engineering curricula.

METHOD

In this study PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) method was used to conduct the review of the state of the art (Page et al., 2021). This methodology provides a standardized framework for reporting the methods and results of other studies. It involves identify, select, and extract data based on a rigorous and systematic process with three phases: identification, screening, and inclusion of selected works.

Databases

The databases used for this systematic review were Web of Science and Scopus, both chosen due to their extensive coverage of peer-reviewed journals and conference

papers across a wide range of disciplines, including engineering and education. The search query introduced was: "Electric*" AND "Engine*" AND (("Active" OR "Hand*") NEAR/4 "method*") AND "Learn*". This query was designed to capture relevant studies by combining key terms related to electrical engineering and active learning methodologies. The proximity operator (NEAR/4) ensured that the terms "Active" or "Hands-on" appeared with four words of "Method*".

Inclusion and exclusion criteria

Table 1 presents the inclusion and exclusion criteria for the systematic review to ensure the relevance and quality of the selected studies. Articles published between 2018 and 2024 were included, while any older publications were excluded to maintain the review's focus on recent research. Only articles and conference papers were considered, with reviews and other document types excluded. Additionally, the search was limited to studies published in English, excluding papers in other languages. Regarding methodology, the review focused specifically on studies related to higher education teaching methodologies, excluding those with purely technical or unrelated ones.

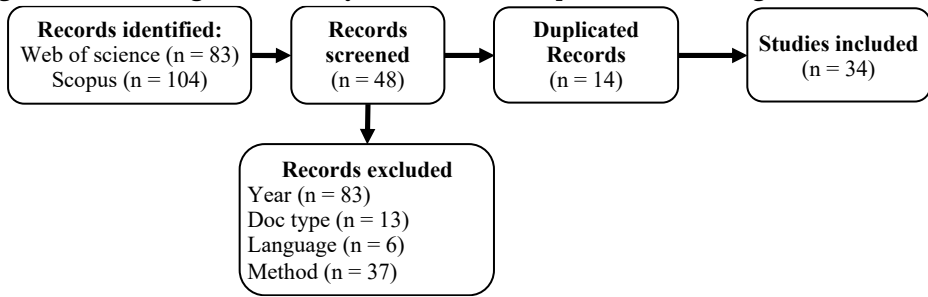
Table 1. Inclusion and Exclusion Criteria for the systematic review of the state of the art

ID	Criteria	Inclusion	Exclusion
1	Publication year	2018-2024	Older
2	Type of document	Article, Conference	Review, others
3	Language	English	Others
4	Type of methodology	Higher Education	Technical, others

Flow diagram

The flow diagram illustrating the screening process for included studies is presented in Figure 1, which outlines the various stages of the review. A total of 83 records were identified in Web of Science and 104 in Scopus. After applying the inclusion and exclusion criteria detailed in Table 1, 48 records remained. The primary filter was the publication year, excluding 83 studies. Additionally, 6 records were excluded due to language, and 13 due to the type of article selected. Finally, 37 instances were excluded as they primarily contained technical material without a focus on teaching. 14 records were duplicated, which left with a total of 34 studies to be included in the systematic review.

Figure 1. Flow diagram of the systematic review process following PRISMA method



Included Samples Summary

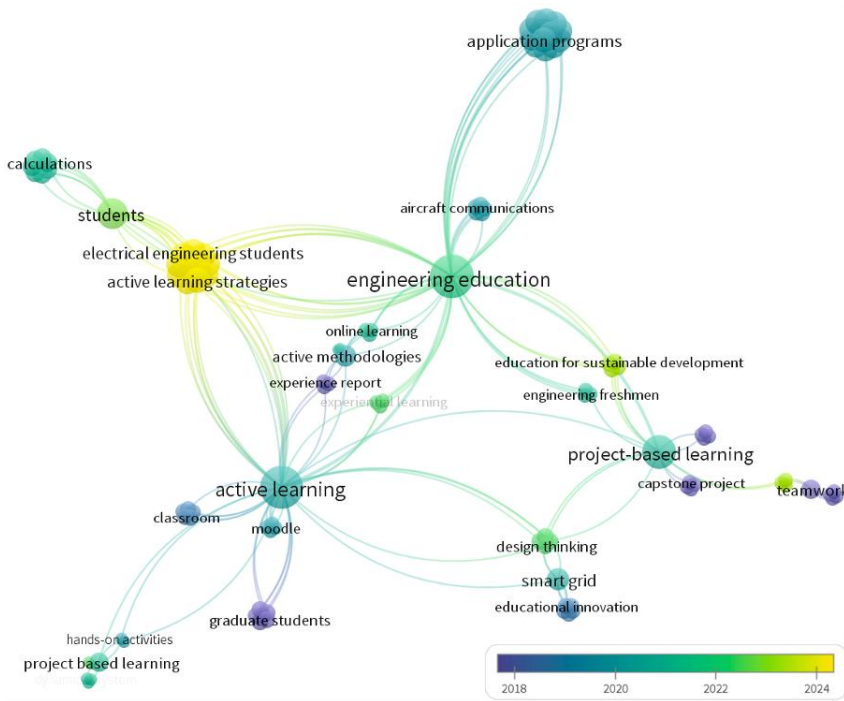
The references included in the systematic review of the state of the art are displayed in Table 2.

Table 2. Records included in the systematic review of the state of the art

N	Citation	N	Citation
1	(Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2023)	18	(Serrano et al., 2023)
2	(Azurza, Zubia, & Arruti, 2023)	19	(Sulistyo & Junaedi, 2021)
3	(Belcredi, Randall, Rattaro, & Belzarena, 2020)	20	(Suarez Rodriguez et al., 2018)
4	(Boluda-Ruiz, Salcedo-Serrano, Castillo-Vázquez, & García-Zambrana, 2024)	21	(Vega & Ortiz, 2018)
5	(Caplan, 2019)	22	(Caceres Azambuja & Baesso Grimoni, 2018)
6	(Dofe & Kurwadkar, 2021)	23	(Molina, Ponce, Baltazar Reyes, & Soriano, 2019)
7	(Doiron et al., 2020)	24	(Pinto, Nicola, Mendonca, & Pixel, 2019)
8	(Forndran & Zacharias, 2019)	25	(De Araújo, Da Costa, Joseph, & Sánchez, 2020)
9	(López Gutiérrez, Ponce, & Molina, 2021)	26	(Quandt, Mendes, & Przysiada, 2019)
10	(Johnson et al., 2019)	27	(Jimenez-Redal, Landeta, & Uriarte, 2020)
11	(Khan et al., 2022)	28	(Shoufan, 2020)
12	(Magana et al., 2018)	29	(Walentyński, Słota, & Szczygieł, 2021)
13	(Muraleedharan et al., 2024)	30	(Da Silva Garcia, Da Costa Carvalho, & Bezerra Oliveira, 2021)
14	(Poyasok et al., 2022)	31	(Perez Puyana, Felix, Jiménez Rosado, & Romero, 2021)
15	(Rajesh, Sivapragasam, & Dargar, 2024)	32	(Zannin, Lima, & Pinto, 2021)
16	(Sapena-Bano, Burriel-Valencia, Riera-Guasp, Terron-Santiago, & Martinez-Roman, 2022)	33	(Zhao & Niu, 2023)
17	(Semán et al., 2018)	34	(Zverkov, Lukyanova, Putilova, & Ivanova, 2020)

A clustering analysis of the keywords from the included samples reveals key trends in the research on engineering education. As shown in Figure 2 the central theme is engineering education, which is closely connected to two major pedagogical approaches: active learning and project-based learning. The active learning cluster includes keywords such as hands-on activities, classroom engagement, and graduate students, indicating the focus on interactive and practical learning methods within the engineering field. Another prominent cluster, project-based learning, highlights terms like capstone project, teamwork, and design thinking. Additionally, the smart grid and educational innovation clusters suggest a focus on emerging technologies and innovative teaching methods. The timeline reflected in the colour gradient shows increasing interest in education for sustainable development and teamwork in capstone projects.

Figure 2. Keywords clustering analysis on the records included in the systematic review of the state of the art



RESULTS

To effectively structure the results of the systematic review, this section firstly analyses the prevalence of the different methodologies in the conducted review, to later analyse the impact of hands-on learning on knowledge retention, development of practical skills and student's motivation.

The analysis performed to the methodologies used in the reviewed studies is showed in Table 3. PBL was the most applied approach, representing 44.12% of the studies. Both CBL and FC was used in 17.65% of the cases, while Hands-on simulation practices each accounted for 14.71%. A smaller portion of studies, 5.88%, employed other techniques not specified as part of the core methodologies, such as role play (Muraleedharan et al., 2024), or lecture-free classrooms (Shoufan, 2020). Moreover, 11.76% of the studies did not apply any specific methodology, focusing on other topics related to education (e.g. phycology, role of internet, students' preferences). This analysis suggests a significant preference for hands-on, real-world project engagement (as with PBL), while other active learning strategies, such as Sim, were also used but less frequently.

Table 3. Counting of Hands-on Methodologies employed in the reviewed records

Methodology	IDs	Count	%
PBL	1, 2, 6, 7, 8, 11, 16, 17, 21, 22, 25, 27, 29, 31, 34	15	44.12
FC	4, 5, 8, 16, 18, 22	6	17.65
CBL	3, 20, 23, 24, 29, 31	6	17.65
Sim	9, 15, 26, 31, 33	5	14.71
Other	10, 13	2	5.88
N/A	12, 14, 19, 30	4	11.76

Impact of Hands-on Learning on Knowledge Retention and Concept Mastery

Numerous studies demonstrate the quantitative benefits of hands-on learning for knowledge retention and concept mastery in electrical engineering. (Azurza et al., 2023) observed improvements in exam performance through the implementation of PBL, with the majority of students achieving grades in the "Excellent (9-10)" and "Very Good (7-9)" ranges. Similarly, (Khan et al., 2022) recorded a 10% improvement in test scores when students engaged with a microgrid system for smart grid education. (Shoufan, 2020) reported a 13.7% improvement in final exam performance after using Moodle to design a fully active learning environment, even though the final exam being 34.5% harder than previous iterations. (Rajesh et al., 2024) found that students using AI-enhanced personalized learning methods showed a measurable increase in scores, demonstrating the effectiveness of simulation-based pedagogy. Conversely, (Dofe & Kurwadkar, 2021) found a slight decrease in concept mastery when students used virtual PBL compared to traditional face-to-face PBL, indicating that hands-on, physical engagement is more conducive to retention.

Qualitative findings also support the positive impact of hands-on learning on concept mastery. (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2023) noted that PBL facilitated a deeper understanding of complex renewable energy concepts. (Belcredi et al., 2020) reported that while students in an radio-based course showed motivation and mastery of certain telecommunications concepts, they struggled to grasp all elements

due to the complexity of team-based tasks. (Boluda-Ruiz et al., 2024) demonstrated that students creating educational videos gained deeper conceptual understanding by explaining complex engineering topics in their own words. This active engagement not only reinforced concept mastery but also enhanced students' communication skills.

Development of Practical Engineering Skills Through Hands-on Learning

Hands-on learning consistently enhances the acquisition of practical engineering skills across a range of disciplines. (Khan et al., 2022) demonstrated that using a microgrid in a smart grid curriculum resulted in a marked improvement in students' technical abilities in areas like grid automation and troubleshooting with industry professionals supervising confirming the high value of these skills for the workplace. Similarly, (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2023) found that students working on an electric vehicle project developed strong practical skills in renewable energy and electric vehicle design, although communication within teams needed improvement. (Quandt et al., 2019) found that using Augmented Reality to teach electrical circuits improved students' visualization and understanding of circuit components, resulting in better skill acquisition than traditional lecture-based methods. However, (López Gutiérrez et al., 2021) noted that while real-time simulations helped students understand complex power electronics concepts, they were less effective than hands-on labs in building tangible engineering skills.

Vega & Ortiz (2018) demonstrated that interdisciplinary PBL allowed students to publish papers and develop startups, showcasing the real-world applicability of skills gained through hands-on learning. (Molina et al., 2019) reported similar findings, where students' practical lab experience in smart grid technologies improved their ability to address industry-specific challenges, further verified through fuzzy logic assessments."

While hands-on methods generally outperform theory-based approaches, (Dofe & Kurwadkar, 2021) found that virtual PBL was less effective in skill acquisition due to the lack of direct engagement with tools and materials. (Zhao & Niu, 2023), however, demonstrated that simulation-based teaching still fostered problem-solving skills, particularly when physical resources were limited. On the other hand, (Shoufan, 2020) found that a fully active learning approach using Moodle improved not just knowledge retention but also practical skills in digital logic design, with students appreciating the interactive and engaging nature of the activities

Collaboration and teamwork are central to hands-on learning methods. (Doiron et al., 2020) noted that a vertically integrated PBL curriculum encouraged interdisciplinary thinking, helping students develop collaboration skills while solving complex biomedical engineering challenges. Similarly, (Walentyński et al., 2021)

found that students gained both hard and soft skills, including teamwork, through interdisciplinary projects involving vibration control. (Muraleedharan et al., 2024) emphasized that role-playing in engineering ethics improved students' collaboration and communication skills, as well as their ethical decision-making abilities.

Impact of Hands-on Learning on Student Motivation and Engagement

Studies consistently show that hands-on learning enhances student engagement. (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2023; Azurza et al., 2023) both found increased student activity and participation in PBL-based courses, reporting a reduction in dropout rates from 45% to 5%. (Shoufan, 2020) noted high levels of engagement in a fully active learning environment. Similarly, (Zannin et al., 2021) observed a positive correlation between lab activities and final grades in a remote statistics course, indicating that hands-on methods maintained engagement even in a virtual setting. (Walentyński et al., 2021) reported that students in an interdisciplinary PBL project were highly engaged due to the hands-on nature of the project.

Qualitative feedback supports the notion that hands-on learning boosts motivation. (Caplan, 2019) found that 70% of students expressed a desire to engage in future activities after participating in a student-led conference. (Forndran & Zacharias, 2019) demonstrated that gamified experimental physics classes significantly improved student engagement. Conversely, (Dofe & Kurwadkar, 2021) noted that students in virtual PBL courses were less motivated due to the lack of physical interaction and hands-on tasks. However, (Boluda-Ruiz et al., 2024) showed that active learning methods like video creation not only enhanced concept mastery but also motivated students to take ownership of their learning process.

There is a clear correlation between hands-on learning and improved academic performance. (Serrano et al., 2023) found that active learning methods significantly improved retention of electromagnetism concepts. Similarly, (Rajesh et al., 2024) demonstrated that AI-enhanced learning improved student performance in electrical engineering, with marked increases in test scores. (López Gutiérrez et al., 2021) reported that real-time simulations kept students engaged during remote learning, though traditional labs were deemed more effective in enhancing performance. (Zhao & Niu, 2023) and (Quandt et al., 2019) showed that simulation-based teaching was highly effective in improving students' understanding of engineering concepts, which in turn led to better academic results.

DISCUSSION/CONCLUSIONS

The shift from traditional lectures to hands-on learning in electrical engineering has greatly improved knowledge retention, practical skills, and student motivation in electrical engineering courses. Methods like PBL and simulations have consistently

shown better exam scores and concept mastery, with studies reporting improvements of up to 10% in test performance. While virtual simulations offer flexibility, physical labs and PBL provide more effective, long-term retention and practical skill development. Collaborative projects, such as those in renewable energy and smart grid education, foster teamwork and communication, essential for real-world applications. However, hands-on learning faces limitations. Virtual tools, though useful, often fall short in replicating the tangible experiences of physical labs, leading to lower skill acquisition. Resource constraints, such as limited access to advanced equipment, also challenge the scalability of these methods.

Future research will focus on hybrid models that combine physical and virtual learning for optimal results, exploring affordable solutions for resource-limited environments. Emerging technologies like augmented reality and AI also hold promise for advancing hands-on education, blending virtual and physical experiences to boost engagement and skills.

REFERENCES

- Ariza, J. Á., & Olatunde-Aiyedun, T. G. (2023). Bringing project-based learning into renewable and sustainable energy education: A case study on the development of the electric vehicle EOLO. *Sustainability*, *15*(13), 10275. doi: 10.3390/su151310275
- Azurza, O., Zubia, I., & Arruti, P. (2023). Applying project-based learning in electrical engineering: A 6 year-long experience. En van der Aa, N., & De Rondom, E. (Eds.), *2023 32nd Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE)* (pp. 1–6). IEEE. doi: 10.23919/EAEEIE55804.2023.10181911
- Belcredi, G., Randall, M., Rattaro, C., & Belzarena, P. (2020). Satellite and aircraft communications through SDR as an introduction to telecommunications and electrical engineering. En A. G. R., F. A. V., F. M. C., & C. R. J. (Eds.), *2020 XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE)* (pp. 1–7). IEEE. doi: 10.1109/TAE46915.2020.9163724
- Boluda-Ruiz, R., Salcedo-Serrano, P., Castillo-Vázquez, B., & García-Zambrana, A. (2024). Revolutionizing electrical engineering education: A new active learning method based on student-generated multimedia content. *IEEE Access*, *12*, 92931–92944. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3423334
- Caceres, M. J., & Baesso, J. A. (2018). Active methodologies in the discipline electrical installations I of electrical engineering: An experience report. *2018 World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council, WEEF-GEDC 2018*. doi: 10.1109/WEEF-GEDC.2018.8629711
- Caplan, M. (2019). The STEAM conference: An event to promote youth to explore steam-related fields and potential careers. En *2019 ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings* (pp. 2609–2618). doi: 10.21125/edulearn.2019.0714
- Da Silva Garcia, F. W., Da Costa Carvalho, E., & Bezerra Oliveira, S. R. (2021). Use of active methodologies for the development of a teaching plan for the algorithms subject. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE, 2021-Octob*. doi: 10.1109/FIE49875.2021.9637482

De Araújo, R. G. B., Da Costa, M. V. A., Joseph, B., & Sánchez, J. G. (2020). Developing professional and entrepreneurship skills of engineering students through problem-based learning: A case study in Brazil. *International Journal of Engineering Education*, 36(1 A), 155–169

Dofe, J., & Kurwadkar, S. T. (2021). Project-based learning: Contrasting experience between traditional face-to-face instruction and virtual instruction. En *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. doi: 10.18260/1-2--37616

Doiron, A. L., Bates, J. H. T., McGinnis, R. S., Uriarte, J. J., Fiorentino, N. M., Frolik, J., & Oldinski, R. A. (2020). Work in progress: A vertically-integrated, project-focused approach to undergraduate bio-medical engineering education. En *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 2020-June*

Forndran, F., & Zacharias, C. R. (2019). Gamified experimental physics classes: A promising active learning methodology for higher education. *European Journal of Physics*, 40(4), 045702. doi: 10.1088/1361-6404/ab215e

Jimenez-Redal, R., Landeta, B., & Uriarte, N. (2020). Influence of team grouping in a problem-based-learning experience in engineering. *INTED2020 Proceedings*, 1, 8188–8193. doi: 10.21125/inted.2020.2237

Johnson, A. W., Blackburn, M. W., Su, M. P., & Finelli, C. J. (2019). How a flexible classroom affords active learning in electrical engineering. *IEEE Transactions on Education*, 62(2), 91–98. doi: 10.1109/TE.2018.2867447

Khan, K. R., Haque, M. M., Sachdeva, D., & Morgan, M. B. K. (2022). A campus microgrid used as an active learning tool for new generation of electrical power engineers. *International Journal of Electrical Engineering and Education*, 59(4), 307–328. doi: 10.1177/0020720919837865

López Gutiérrez, J. R., Ponce, P., & Molina, A. (2021). Real-time power electronics laboratory to strengthen distance learning engineering education on smart grids and microgrids. *Future Internet*, 13(9), 237. doi: 10.3390/fi13090237

Magana, A. J., Vieira, C., & Boutin, M. (2018). Characterizing engineering learners' preferences for active and passive learning methods. *IEEE Transactions on Education*, 61(1), 46–54. doi: 10.1109/TE.2017.2740203

Molina, A., Ponce, P., Baltazar, G. E., & Soriano, L. A. (2019). Learning perceptions of smart grid class with laboratory for undergraduate students. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13(4), 1423–1439. doi: 10.1007/s12008-019-00603-5

Muraleedharan, R., Wedge, T., & Trump, E. (2024). Advancing engineering ethics education using active learning. En *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. American Society for Engineering Education

Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Mckenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372. doi: 10.1136/bmj.n160

Perez Puyana, V. M., Felix, M., Jiménez Rosado, M., & Romero, A. (2021). The use of a problem-solving methodology to promote student participation in engineering BsCs. *Journal of Materials Education*

Pinto, C., Nicola, S., Mendonca, J., & Pixel. (2019). How to measure students' individual performance in active-learning environments: A case-study. En *9Th International Conference the Future of Education* (pp. 372-377 WE-Conference Proceedings Citation Inde). INFOROMATICA SRL

Poyasok, T., Bespartochna, O., Kvasnyk, O., Perevozniuk, V., & Shapolova, V. (2022). Culture of internet communication in professional training of future specialists in electrical engineering. En *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)* (pp. 1–5). IEEE. doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005757

Quandt, V. I., Mendes, C. M., & Przysiada, F. A. (2019). The development and use of an augmented reality application to interactively teach electrical circuits. *INTED2019 Proceedings, 1*, 4579–4584. doi: 10.21125/inted.2019.1134

Rajesh, K., Sivapragasam, C., & Dargar, S. K. (2024). AI-enhanced personalized learning practices in higher engineering institutes. *Journal of Engineering Education Transformations, 37*(IS2), 887–892. doi: 10.16920/jeet/2024/v37is2/24136

Sapena-Bano, A., Burriel-Valencia, J., Riera-Guasp, M., Terron-Santiago, C., & Martinez-Roman, J. (2022). Improving student outcomes attainment by project-based learning in electrical machines. En T. Klinger, C. Kollmitzer, & A. Pester (Eds.), *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (Vol. 2022-March, pp. 299–306). IEEE Computer Society. doi: EDUCON52537.2022.9766545

Seman, L. O., Hausmann, R., & Bezerra, E. A. (2018). On the students' perceptions of the knowledge formation when submitted to a project-based learning environment using web applications. *Computers and Education, 117*, 16–30. doi: 10.1016/j.compedu.2017.10.001

Serrano, M. A., Vidaurre, A., Meseguer-Dueñas, J. M., Tort-Ausina, I., Quiles, S., Sabater i Serra, R., & Riera, J. (2023). Active methods in electricity and magnetism courses: Influence of degree, academic level and gender on student performance. *Heliyon, 9*(10). doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20490

Shoufan, A. (2020). Lecture-free classroom: Fully active learning on Moodle. *IEEE Transactions on Education, 63*(4), 314–321. doi: 10.1109/TE.2020.2989921

Suárez, C. de P., Vidales, S., Arribas, E., Escobar, I., Gonzalez-Rubio, J., Belendez, A., & Ramirez-Vazquez, R. (2018). Case-based learning in materials engineering: The ouija board of the devil. *INTED2018 Proceedings, 1*, 7302–7307. doi: 10.21125/inted.2018.1716

Sulistyo, L., & Junaedi, I. (2021). The effect of mathematical matriculation as the basis for calculus lectures: A case study of electrical engineering, UNISNU Jepara - Indonesia. En *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1918). IOP Publishing Ltd. doi: 10.1088/1742-6596/1918/4/042070

Vega, C. F., & Ortiz, E. V. (2018). Interdisciplinary projects as active learning method for strengthening of technical and soft skills of UTEC students. En C. M.M. & da Rocha Brito C. (Eds.), *EDUNINE 2018 - 2nd IEEE World Engineering Education Conference: The Role of Professional Associations in Contemporaneous Engineer Careers, Proceedings*. IEEE Inc. doi: 10.1109/EDUNINE.2018.8450994

Walentyński, R., Słota, D., & Szczygieł, M. (2021). Vibration busters: An interdisciplinary approach to learning of dynamical systems. *ZAMM - Journal of Applied Mathematics and*

Mechanics / Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Mechanik, 101(1). doi: 10.1002/zamm.202000110

Zannin, M., Lima, N., & Pinto, C. (2021). Use of hands-on and remote lab with an inquiry-based approach to learn statistics in engineering. *ACM International Conference Proceeding Series, (October 2021)*, 565–569. doi: 10.1145/3486011.3486513

Zhao, H., & Niu, S. (2023). Renewable energy experiment and teaching innovation: Experimental teaching mode of solar cell manufacturing process based on PV factory. En *2023 4th International Conference on Clean and Green Energy Engineering (CGEE)* (pp. 101–105). IEEE. doi: 10.1109/CGEE59468.2023.10351884

Zverkov, V. P., Lukyanova, T. V., Putilova, I. V., & Ivanova, N. S. (2020). Experience of mastering information technologies by qualified users. En *2020 V International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)* (pp. 1–4). IEEE. doi: 10.1109/Inforino48376.2020.9111764

CAPÍTULO 9
**ELECTROHACK: FOSTERING ELECTRICAL ENGINEERING SKILLS
THROUGH HANDS-ON CHALLENGES**

ÁNGEL PAREDES PARRILLA
Universidad de Málaga

INTRODUCTION

The growing emphasis on active learning in electrical engineering education reflects a shift from traditional lecture-based instruction toward more interactive, student-centred methodologies. Hands-on projects, particularly in the form of Project-Based Learning (PBL), case-based learning (CBL), and simulation-based exercises, are at the forefront of this evolution. These approaches not only enhance technical proficiency but also foster critical thinking, collaboration, and problem-solving skills. In this chapter, a hands-on project is presented in the form of a hackathon for undergraduate students enrolled in Analysis of Electric Networks courses within the School of Industrial Engineering at University of Málaga, Spain.

Current state of the art for the subject or course for which the project is proposed

Hands-on projects provide a crucial link between theory and practice in electrical engineering. Unlike traditional lectures, which can struggle to engage students deeply, hands-on learning actively involves students in the educational process, ensuring that they apply concepts in real-world contexts. Projects like Khan, Haque, Sachdeva, & Morgan (2022), which use a microgrid to teach Smart Grid technologies, demonstrate how PBL enhances both knowledge retention and practical skills. Similarly, the project on electric vehicle development by Ariza & Olatunde-Aiyedun (2023) highlights the impact of interdisciplinary, hands-on approaches. Students working on complex, real-world problems, such as renewable energy integration into electric vehicles, develop both technical and soft skills. These projects maintain the focus on core engineering concepts while immersing students in practical applications, helping bridge the gap between classroom learning and industry expectations.

One of the most significant advantages of hands-on learning projects is their ability to simulate real-world engineering environments using augmented reality or hardware in the loop approaches. Molina, Ponce, Baltazar Reyes, & Soriano (2019) showed that smart grid laboratories, supported by fuzzy logic and real-time simulations, not only increased student understanding of grid technologies but also reinforced industry-relevant competencies. Similarly, Flores & Villicaña (2018)

integrated external collaboration by encouraging students to present their project results at international conferences, fostering a professional mindset while sharpening both technical and communication skills. These projects connect academic work directly to the professional world, ensuring students gain skills that are not only theoretical but applicable in modern engineering practice.

Incorporating external agents into hands-on projects—whether through industry collaboration, expert evaluators, or real-world problem contexts—significantly enriches the learning experience. These external influences help students contextualize their theoretical knowledge and better understand the professional and practical implications of their work. For instance, Quandt, Mendes, & Przysiada (2019) used augmented reality to teach electrical circuits, involving external technology experts to provide students with state-of-the-art learning tools. This project model ensured that students engaged deeply with the material, while simultaneously being exposed to the latest industry trends and technologies.

The implementation of hands-on projects consistently demonstrates improvements in students' motivation, engagement, and academic performance. Projects that integrate real-world challenges and external agents, such as the electric vehicle project by Ariza & Olatunde-Aiyedun (2023) and the microgrid-based learning of Khan, Haque, Sachdeva, & Morgan (2022), create a dynamic learning environment where students are more invested in their work. As noted by Belcredi, Randall, Rattaro, & Belzarena (2020) in their SDR project, hands-on learning helps students identify their areas of strength within teamwork settings, which not only boosts confidence but enhances learning outcomes. In these environments, students report higher satisfaction and lower dropout rates, as noted in Azurza, Zubia, & Arruti (2023), where active learning reduced dropout rates from 45% to 5%.

Moreover, hands-on projects do more than improve technical skills; they foster essential soft skills, such as collaboration, communication, and leadership. Walentyński, Słota, & Szczygieł (2021) highlighted how interdisciplinary teams working on vibration control projects gained both technical knowledge and the ability to work effectively across disciplines. The focus on teamwork and communication is further emphasized in projects like Pinto, Nicola, & Mendonca (2019), where peer evaluation played a central role in the learning process, allowing students to refine their interpersonal and presentation skills—key components of professional success.

Despite the evident benefits, hands-on learning projects face certain challenges, particularly in terms of scalability and resource availability. Dofe & Kurwadkar (2021) point out that virtual PBL, while flexible, often lacks the tactile, immersive experiences that physical labs provide. This can dilute the learning process and limit the acquisition of practical skills. Similarly, Zhao & Niu (2023) note that while simulation-

based projects can effectively substitute for resource-intensive labs, they still fall short of offering the depth of learning that physical, hands-on projects provide.

More evidence is needed regarding the effectiveness of hybrid models that combine physical and virtual learning environments to maximize the benefits of both. Additionally, exploring more cost-effective ways to implement hands-on learning in resource-constrained environments is critical. Projects that leverage augmented reality, AI-based tools, or remote labs could offer solutions to these limitations, as seen in Quandt, Mendes, & Przysiada (2019) and Rajesh, Sivapragasam, & Dargar (2024), where simulation-based learning showed promise in enhancing student engagement and understanding.

Description of the project and main objectives to be achieved

The project is done in the course “Analysis of Electric Networks”, this course is taught in the fourth course of BSc. Industrial Technologies Engineering. It is an elective course within the Analysis of Electric Networks subject area and is offered in the Electricity Competency Module (MIELE) during the first semester of the 4th year. The course carries 6 ECTS credits, with 150 hours of student dedication, and consists of 69% theoretical content and 31% practical work. The course is taught in Spanish and is structured into large groups of up to 72 students for lectures, and smaller groups of 30 students for practical sessions. The same course is taught in BSc. Electrical Engineering, and BSc. Industrial Electronics Engineering. The subject focuses on the study of resonant circuits, two-port networks, asymmetrical tri-phase systems, and transients. The scope of this project is within the first two topics, as the author is involved only in teaching these parts.

In this course, a PBL activity is designed to actively engage students in the learning process through a hackathon format. The hereby proposed project aims to address the limitations found in literature by proposing a hybrid model that combines PBL with computer simulations. The core objective is to challenge students to develop a novel project related to a topic previously covered in class. This hands-on approach will allow students to not only reinforce their understanding of the material but also apply theoretical concepts to solve real-world engineering problems.

The hackathon will begin with guided tutoring sessions in class, where students will have the opportunity to receive mentorship and refine their project ideas. Afterward, students will work independently at home to complete their projects, applying both the knowledge gained in class and their own creativity. Finally, each group will present their completed project to the class, showcasing their results and demonstrating their problem-solving process.

Project objectives: General objectives. Justification of the interest and feasibility of the project

The primary objective of this project is to enhance active learning through the integration of a PBL hackathon into the course curriculum. This approach is designed to support traditional face-to-face teaching by engaging students in the hands-on application of theoretical concepts without compromising the central goals of the learning process, which will still be covered by traditional lessons. By encouraging students to develop novel projects, this initiative applies learning-to-learn principle, critical thinking, and real-world problem-solving skills, which are crucial in electrical engineering education.

The hackathon format specifically aligns with the general competencies outlined in the course syllabus, without jeopardizing the achievement of these learning objectives. The project directly supports basic engineering skills, as students will be tasked with designing, developing, and improving systems and processes through practical, hands-on activities. Besides, the applied nature of the hackathon promotes the integration of knowledge from various fields not only those already taught in the course. The final presentation of the project offers students the opportunity to practice their communication skills articulating their knowledge and conclusions in a clearly and effectively way, so they can bring to class new technologies and tools present in industrial engineering. The hackathon also cultivates creativity by pushing students to generate new ideas and think outside the box when developing solutions to the project challenges.

On a more technical level, the project is well-aligned with the specific competencies outlined in the syllabus, particularly in the context of the analysis and synthesis of electrical circuits and networks. The PBL activity requires students to apply these core concepts directly to the development of functioning models, reinforcing both their theoretical understanding and practical application skills.

Thus, the hackathon is designed to be fully compatible with the available resources, including lab facilities, simulation tools, and scheduled course time, as further presented in Section 2. In-class guided tutoring ensures that students have the necessary support throughout the process, and independent work outside of class allows them to further develop their projects. This structure ensures that students remain engaged without compromising the core learning objectives of the course.

METHOD

Description of the materials and methodology that will guide the learning process. Planned activities

The learning process for this course will be structured around a blend of traditional lectures, hands-on lab sessions, and a hackathon-style project. The traditional lectures will be delivered using PowerPoint presentations to convey theoretical concepts, while proofs and derivations will be demonstrated on the blackboard. In-class problem-solving exercises will support students in applying theoretical knowledge to practical examples.

The sections where the project is developed are organised as follows. The first section on resonance begins with Unit 1: Resonance in Series Circuits, covering the quality factor of real inductors and capacitors, properties at resonance frequency, variable frequency resonance, and bandwidth analysis. Unit 2: Resonance in Parallel Circuits explores real-world equivalent circuits of inductors and capacitors, the analysis of ideal parallel resonant circuits, and two-branch parallel resonance, also highlighting resonance frequency properties and bandwidth.

The second section delves into two-port networks, beginning with Unit 3: Matrix Representation of Two-Port Networks, where both passive and active networks are introduced. The topic covers open-circuit impedances, impedance and admittance matrices, transmission parameters, and hybrid “h” and “g” matrices. Unit 4: Two-Port Network Association discusses series, parallel, and cascade associations, focusing on their equivalent networks. Unit 5: Elementary Two-Port Networks explores symmetrical, reciprocal networks and various configurations such as L, inverted L, Π , T, and bridged X networks, along with Bartlett’s theorem and practical applications. Lastly, Unit 6: Image Parameters of Two-Port Networks covers image impedance, propagation constants, and their relationship to transmission and impedance parameters. It also addresses attenuation, phase constants, and transmission/insertion losses in symmetrical networks.

The capstone element of the course is a student-led hackathon. In this activity, students -individually or in small groups, depending on the number of enrolled students- will develop a novel project that demonstrates mastery of course concepts. Students will receive initial guidance during two sessions of 1.5 hours where project objectives and scope will be defined. Projects may involve simulation, lab demonstrations, or a combination of both, and students are encouraged to incorporate external resources, such as Arduino or similar tools, if they want to. The course will conclude with a presentation session, where students will showcase their projects and answer questions of the entire class.

Justification of the methodology from the perspective of its suitability for achieving the objectives

This methodology has been chosen for its balance between theoretical instruction, practical application, and creative exploration. Traditional lectures are essential for ensuring foundational knowledge, particularly in a course that involves complex theoretical subjects such as resonance and two-port networks. By complementing these lectures with laboratory sessions and the hackathon project, students are given the opportunity to directly apply their knowledge in a controlled environment, which is one of the major difficulties encountered in the past in the context of Engineering Degrees. In addition, students will be requested to hand-in 7 different exercises covering the materials of each unit, promoting continuous learning.

The inclusion of the hackathon element is critical for encouraging engagement with the subject. Research has shown that active learning methods, particularly those that involve student-generated projects, improve not only knowledge retention but also motivation and problem-solving skills (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2023; Khan, Haque, Sachdeva, & Morgan, 2022). The guided tutoring and peer presentations will foster a collaborative environment, promoting soft skills like communication and teamwork that are essential in engineering education (Serrano et al., 2023).

Appropriateness of the materials and methodology for each type of activity

The traditional lecture format is suitable for delivering core theoretical content that students need to understand the underlying principles of resonance and two-port networks. The use of PowerPoint presentations and blackboard demonstrations allows for clear, structured instruction that is digestible in the classroom context. Students need these sessions to fully comprehend the materials and apply them in the given homework.

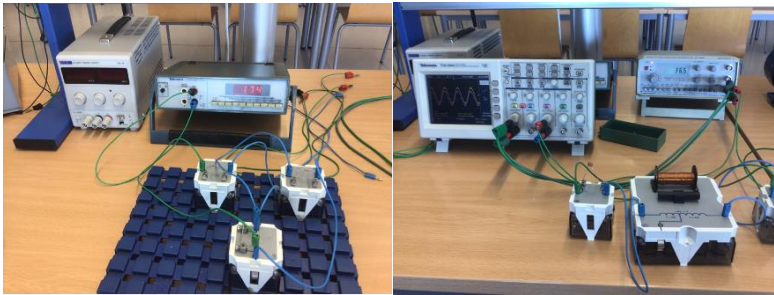
The laboratory sessions are tailored for practical, hands-on application of the theory. Providing students with tasks in advance encourages self-directed learning and ensures they arrive prepared to maximize their lab time. The hands-on nature of these sessions is crucial for developing the technical skills required in electrical engineering, such as circuit assembly, measurement, and troubleshooting.

The hackathon format is an innovative approach to encourage students to integrate what they have learned into a creative, student-driven project. This activity promotes independent thinking and active problem-solving, both of which are key to mastering complex engineering concepts (Flores & Villicaña, 2018). It also provides an opportunity for students to explore areas of personal interest, enhancing engagement.

Available resources (ICT, Centre, Department, others...) and their suitability for the project

The Department of Electrical Engineering at the University of Málaga provides access to fully equipped laboratories for the practical components of the course. These labs contain necessary hardware, including oscilloscopes, signal generators, and circuit assembly materials as depicted in Figure 1. Additionally, students will have access to simulation software (e.g., MATLAB Simulink, PSpice) in the computer rooms enabled by the School of Industrial Engineering, which can be utilized during the hackathon for project development, or they could use any other open software that they could find on the internet.

Figure 1. Material necessary for completing the laboratory sessions



The university's Virtual Campus platform will be employed for the distribution of assignments and resources, as well as for the submission of exercises, ensuring direct communication and assessment management. The availability of these technological tools aligns with the course objectives, enabling students to transition seamlessly between theoretical learning and practical application.

Indicators and marking system

The course grading will be structured as follows:

Assignments on Virtual Campus (10%). Students will be evaluated on their ability to complete theoretical and practical exercises throughout the course. The total grade in this section will be obtained as the arithmetic mean of the 7 different scheduled homework tasks.

Lab Performance (20%). During lab sessions, students will be assessed based on their proficiency in assembling circuits, conducting experiments, and accurately reporting their findings on the same sessions. Students will be given with a dossier with the required activities to be performed during the two lab sessions, they work them at home and then, report to the professor the different experiment results during the time available in laboratory directly, answering any question that the

teacher could question during the process. In this way, students are trained in competences such as communicate technical conclusion in a clear and concise way in front of other technical peers.

Hackathon Project (15%). Students will be graded on the originality, technical execution, and clarity of their project presentations. Both the implementation of the project and its presentation will be considered.

Final Exam (55%). An exam will cover all theoretical and practical aspects of the course, ensuring that students can demonstrate their understanding of both the lecture content and lab experiences. The exam will have two parts, covering both blocks.

Scheduling of the project

The course is organized over seven weeks, i.e. half of the semester available, with a mix of traditional lectures, lab sessions, and the final hackathon (ElectroHack) project. Below is the detailed course schedule, including session contents, homework assignments, and deadlines:

Table 1. Course schedule with session contents

Week	Session	Duration	Session Contents	Homework	Due Date	Room
1	1	1.5 h	U1 - Resonance in Series Circuits			Classroom
1	2	1.5 h	U1 - Resonance in Series Circuits			Classroom
1	3	1.5 h	U1 - Resonance in Series Circuits	RES-I	S6	Classroom
2	4	1.5 h	U2 - Resonance in Parallel Circuits			Classroom
2	5	1.5 h	U2 - Resonance in Parallel Circuits			Classroom
2	6	1.5 h	U2 - Resonance in Parallel Circuits	RES-II	S9	Classroom
3	7	1.5 h	U3 - Matrix Representation of Two-Port Networks			Classroom
3	8	1.5 h	U3 - Matrix Representation of Two-Port Networks			Classroom
3	9	1.5 h	U3 - Matrix Representation of Two-Port Networks	TPN-I	S12	Classroom
4	10	1.5 h	U4 - Two-Port Networks Association			Classroom
4	11	1.5 h	U4 - Two-Port Networks Association	TPN-II	S14	Classroom
4	12	1.5 h	U5 -Elementary Two-Port Networks			Classroom
5	13	1.5 h	U5 -Elementary Two-Port Networks			Classroom
5	14	1.5 h	U5 -Elementary Two-Port Networks	TPN-III	S17	Classroom
5	15	1.5 h	U6 - Image Parameters of Two-Port Networks	TPN-IV	S18	Classroom
6	16	1.5 h	Lab 1: Resonance			Lab
6	17	1.5 h	Lab 2: Two-Port Networks			Lab
6	18	1.5 h	ElectroHack - Guided class			Lab
7	19	1.5 h	ElectroHack - Guided class			Lab
7	20	1.5 h	ElectroHack - Presentations			Lab

Weeks 1-5. Theoretical instruction covering resonance and two-port networks. Homework assignments (RES-I, RES-II, TPN-I, TPN-II, TPN-III, and TPN-IV) are designed to reinforce understanding and are due after finishing each unit. Students are given 1 week to complete them, thus being completed before ElectroHack starts.

Week 6. Lab sessions for practical application of concepts. During these sessions, students go over a set of predetermined practical circuits given in a dossier a week in advance. They are encouraged to work on these dossiers at home before the laboratory sessions begin. In this week students receive the first guided class regarding the ElectroHack.

Week 7. ElectroHack continues with the second guided class, culminating in final presentations where students demonstrate their projects.

This schedule ensures a structured balance between theory, practice, and creative project development, meeting the 30 h of teaching required by the syllabus. This timeline provides enough time to cover both hand-in exercises and laboratory activities, promoting students to follow the course as it being taught. All class durations are 1.5 h.

EXPECTED RESULTS

Aspects to be evaluated once the project is completed

The impact that the project has on students will be evaluated considering the following facets:

Knowledge Retention and Concept Mastery. Through continuous assessments, lab exercises, and final exams, students' understanding of core concepts like resonance in circuits and two-port networks will be evaluated. The focus will be on long-term retention and the depth of conceptual mastery, comparing homework, lab performance, and exam results compared to previous years where the project has not been done.

Practical Application of Engineering Skills. The hackathon and lab sessions will evaluate the practical application of theoretical concepts. Students' abilities in building, troubleshooting, and explaining circuit designs will be assessed, with special attention to how well they can translate theory into practice. In addition, the students will be required to conduct a self-assessment of acquired skills to understand their view on this.

Engagement, and Motivation. The hackathon format and lab-based activities will be evaluated based on student engagement, with surveys and attendance records serving as indicators.

Description of the evaluations

To evaluate the impact of the project on student learning and engagement, a combination of qualitative and quantitative assessment methods will be employed:

Hackathon Project Evaluation

The hackathon project will be assessed based on i) technical accuracy, ii) innovation, iii) application of theoretical knowledge, and iv) clarity of the presentation. A rubric system will be used to score these dimensions.

Student Feedback and Engagement

Surveys and Feedback Forms. Students will be asked to complete pre- and post-project surveys to capture their perception of the hackathon experience, their engagement levels, and whether the project improved their understanding of key concepts. Qualitative feedback will provide insights into the overall impact of the project on their learning experience.

Attendance and Participation Metrics. Attendance and active participation during classroom, laboratory and project sessions will be recorded as an indicator of engagement. Higher rates of participation compared to previous, more traditional activities will suggest a positive shift in student involvement.

Knowledge and Skill Acquisition

Lab Session Outcomes. Lab performance will be evaluated during the practical sessions, where students will be required to demonstrate their ability to assemble circuits, conduct measurements, and report findings. These outcomes will help assess the effectiveness of lab activities in reinforcing theoretical knowledge.

Final Exam and Homework Results. The final exam and the homework assignments will be used to evaluate how well students have retained core concepts and applied them effectively. Comparisons between exam performance before and after the hackathon will provide insights into the impact of the hands-on learning experience on long-term knowledge retention.

CONCLUSION

The implementation of the ElectroHack project in the “Analysis of Electrical Networks” course is expected to significantly enhance student engagement and learning outcomes by integrating hands-on learning through a hackathon format. This approach will directly involve up to 72 undergraduate students in Engineering at the University of Málaga, focusing on two key areas: resonance circuits and two-port networks. By challenging students to apply theoretical concepts in a practical and innovative manner, the project aims to bridge the gap between theoretical knowledge and real-world engineering applications.

The project’s impact is expected to extend beyond the immediate scope of this course, since Hackathon frameworks are easily transferable among courses within Engineering degrees curriculum, such as power electronics or control systems, where

active, hands-on learning could enhance concept mastery. Additionally, the ElectroHack project offers potential for broader adoption across different departments, since this format can be exported in inter-departmental subjects where two or more department shares sessions over a course.

Moreover, the ElectroHack model, with its emphasis on innovation and external resources like simulations and hardware, offers a scalable approach that could engage more students and faculty across disciplines. As the project demonstrates successful outcomes in terms of motivation, knowledge retention, and practical skills development, it could serve as a framework for enhancing teaching practices across other engineering qualifications at the University of Málaga and beyond.

REFERENCES

- Ariza, J.Á. & Olatunde-Aiyedun, T.G. (2023). Bringing project-based learning into renewable and sustainable energy education: A case study on the development of the electric vehicle EOLO. *Sustainability*, 15(13), 10275. doi: 10.3390/su151310275
- Azurza, O., Zubia, I., & Arruti, P. (2023). Applying project-based learning in electrical engineering: A 6 year-long experience. In N. van der Aa (Eds.), *2023 32nd Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE)* (pp. 1–6). IEEE. doi: 10.23919/EAEEIE55804.2023.10181911
- Belcredi, G., Randall, M., Rattaro, C., & Belzarena, P. (2020). Satellite and aircraft communications through SDR as an introduction to telecommunications and electrical engineering. In J.D. Aguilar, G.R. Alves, A.V. Fidalgo, M.C. Felgueiras y R.J. Costa (Eds.), *2020 XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE)* (pp. 1–7). IEEE. doi: 10.1109/TAEE46915.2020.9163724
- Dofe, J. & Kurwadkar, S.T. (2021). Project-based learning: Contrasting experience between traditional face-to-face instruction and virtual instruction. In *2021 ASEE Annual Conference*. doi: 10.18260/1-2--37616
- Flores, C. & Villicaña, E. (2018). Interdisciplinary projects as active learning method for strengthening of technical and soft skills of UTEC students. In C. da Rocha y M.M. Ciampi (Eds.), *EDUNINE 2018 - 2nd IEEE World Engineering Education Conference: The Role of Professional Associations in Contemporaneous Engineer Careers, Proceedings* (pp. 163–168). IEEE. doi: 10.1109/EDUNINE.2018.8450994
- Khan, K.R., Haque, M.M., Sachdeva, D., & Morgan, M.B. (2022). A campus microgrid used as an active learning tool for new generation of electrical power engineers. *International Journal of Electrical Engineering and Education*, 59(4), 307–328. doi: 10.1177/0020720919837865
- Molina, A., Ponce, P., Baltazar, G.E., & Soriano, L.A. (2019). Learning perceptions of Smart Grid class with laboratory for undergraduate students. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)*, 13(4), 1423–1439. doi: 10.1007/s12008-019-00603-5
- Pinto, C., Nicola, S., & Mendonca, J. (2019). How to measure students' individual performance in active-learning environments: A case-study. In *9Th International Conference the Future of Education* (pp. 372–377). INFOROMATICA SRL.

Quandt, V.I., Mendes, C.M., & Przysiada, F.A. (2019). The development and use of an augmented reality application to interactively teach electrical circuits. In *INTED2019 Proceedings* (pp. 4579–4584). IATED doi: 10.21125/inted.2019.1134

Rajesh, K., Sivapragasam, C., & Dargar, S.K. (2024). AI-enhanced personalized learning practices in higher engineering institutes. *Journal of Engineering Education Transformations*, 37(IS2), 887–892. doi: 10.16920/jeet/2024/v37is2/24136

Serrano, M.A., Vidaurre, A., Meseguer-Dueñas, J.M., Tort-Ausina, I., Quiles, S., Sabater, R., ... Riera, J. (2023). Active methods in electricity and magnetism courses: Influence of degree, academic level and gender on student performance. *Heliyon*, 9(10), e20490. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20490

Walentyński, R., Słota, D., & Szczygieł, M. (2021). Vibration busters: An interdisciplinary approach to learning of dynamical systems. *ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics / Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Mechanik*, 101(1), e202000110. doi: 10.1002/zamm.202000110

Zhao, H. & Niu, S. (2023). Renewable energy experiment and teaching innovation: Experimental teaching mode of solar cell manufacturing process based on PV factory. In *2023 4th International Conference on Clean and Green Energy Engineering (CGEE)* (pp. 101–105). IEEE. doi: 10.1109/CGEE59468.2023.10351884

CAPÍTULO 10

DESARROLLO TEÓRICO DEL TEMA SOBRE SPLINES CÚBICOS DE CLASE 2 CON LA AYUDA DEL MODULO SYMPY DE CÁLCULO SIMBÓLICO DE PYTHON

PEDRO GONZÁLEZ RODELAS Y FRANCISCO MIGUEL GARCÍA OLMEDO
Universidad de Granada

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este trabajo pretendemos mostrar las enormes posibilidades para el desarrollo y manipulación de expresiones matemáticas que posee el módulo por excelencia de cálculo simbólico del ecosistema Python: SymPy.

Para ello hemos elegido un ejemplo suficientemente significativo y complejo, pero bien conocido dentro de los programas habituales de asignaturas de Cálculo Numérico en Matemática Aplicada, como es el desarrollo teórico y cálculo de las expresiones polinómicas que conforman los denominados splines cúbicos de clase 2 (con derivadas continuas hasta segundo orden) y que satisfacen ciertas condiciones de interpolación de tipo Lagrange en los nodos de la partición considerada:

$$y_k \equiv s(x_k) \\ x_k, k = 0, 1, \dots, n$$

Desarrollaremos dos posibles planteamientos:

- Primer planteamiento: a partir de los valores de la derivada primera en cada uno de los nodos de la partición:

$$d_k \equiv s'(x_k)$$

- Segundo planteamiento: a partir de los valores de la derivada segunda en cada uno de los nodos de la partición:

$$M_k \equiv s''(x_k)$$

Consultar por ejemplo algunas de las referencias indicadas al final del documento, principalmente las siguientes (Gasca-Gzlez, 2002; Quesada-Molina, 1996; Ramírez-Glez, Barrera-Rosillo, Pasadas-Fdez., Gzlez.-Rodelas, 2001). Aunque también habría otras posibles opciones, como la construcción de dichos splines a partir de bases de potencias truncadas, B-splines, etc. no consideradas en este documento, pero que se podrían consultar en (Benalcázar-Gómez, 2007; Burden, Douglas-Faires, 2002; Gautschi, 2012; Howard, 2017; Kong, Siaux, Bayen, 2020).

MÉTODOLÓGÍA Y RESULTADOS

La metodología empleada ha sido la de ir definiendo paso a paso, como variables simbólicas de SymPy, todos aquellos parámetros e incógnitas que van a formar parte de las expresiones algebraicas de tipo cúbico que conformarán el spline que queremos construir, en este caso de clase 2 en $[a,b]$, a partir de una partición del intervalo en cuestión.

La idea será pues encontrar en primer lugar una expresión genérica adecuada de estos polinomios de grado 3 que luego nos facilite la obtención del spline final, satisfaciendo tanto las condiciones de regularidad en los nodos interiores (para $k = 1, \dots, n-1$), como las que se impongan en los dos extremos del intervalo, a (para $k=0$) y b (para $k=n$) según el tipo de spline cúbico solicitado: natural, periódico o sujeto, entre otros (ver más abajo o consultar las referencias bibliográficas incluidas al final del documento).

Así pues, iremos construyendo de una manera sistemática y semi-automática (ya que de vez en cuando tendremos que ir realizando alguna que otra simplificación, sustitución, u otra operación de tipo algebraico mediante las órdenes o sentencias de SymPy correspondientes) las expresiones finales que se emplearán para imponer las condiciones requeridas al spline. Cada una de estas condiciones dará lugar a una nueva ecuación, que también iremos resolviendo mediante la orden `solve`, para ir despejando alguna de las incógnitas del problema, o bien las iremos almacenando en una lista de ecuaciones que resolveremos luego como un sistema completo (de tipo lineal y tridiagonal en este caso).

Pasamos a continuación a describir conjuntamente tanto la metodología de obtención de las diferentes ecuaciones que tendremos que construir simbólicamente, y luego resolver también de manera exacta a partir de las variables y coeficientes involucrados, junto con los correspondientes resultados que se van obteniendo, y que mostraremos gracias a la salida en formato LaTeX que proporcionan los Notebooks de Jupyter. Para distinguir entre código de entrada (puramente en lenguaje Python y órdenes proporcionadas por el módulo SymPy) de las salidas obtenidas, mostraremos el código de entrada a continuación:

```

# Siempre tendremos la opción de importar el módulo entero como sigue
from sympy import *

# o bien ir importando solo lo que vayamos necesitando
from sympy import symbols, simplify, expand, factor, collect, diff, solve, solveset, Eq, S

from operator import mul, add

# Aquí vemos cómo generar una lista de símbolos con subíndices
n = 11 # nótese que esta cota superior nunca llega a alcanzarse
xx = symbols('x_:%d' % n) # así podríamos ir modificando el valor del dígito n
# xx = symbols('x_1:%d' % n) # y esta sería la manera de empezar con el valor 1 # el subíndice

xx # compruébese que lo que se ha generado ha sido una tupla
(x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_10)

# podremos ahora extraer cualquiera de los símbolos almacenados en dicha tupla, # como por
ejemplo el elemento de la partición almacenado, # como en cualquier lista o tupla de
Python:

xx[0] # con índice 0, que sería el situado en la primera posición
xx[1] # con índice 1, que sería el situado en la segunda posición

# y así sucesivamente, salvo por ejemplo si usamos índices negativos
xx[-1] # se referiría al situado en la última posición
xx[-2] # se referiría al situado en la penúltima posición

# y así sucesivamente, solo que recorriendo la tupla hacia la izquierda

```

- Primer planteamiento: a partir de los valores de la derivada primera en cada uno de los nodos de la partición:

```

x, x_k, x_kp, x_kpp = symbols('x, x_k, x_k+1, x_k+2') # símbolos de abcisas
# ésta sería una manera de representar a los nodos a la derecha de x_k
x_kpp # comprobemos por ejemplo cuál sería la salida en este caso

```

$$x_{k+2}$$

```

y_k, y_kp, y_kpp = symbols('y_k, y_k+1, y_k+2') # símbolos de ordenadas
# y ahora hacemos lo mismo, pero para los valores simbólicos en las ordenadas
y_kp # comprobemos por ejemplo cuál sería la salida en este caso

```

$$y_{k+1}$$

```
# Con este mismo criterio definiremos el resto de símbolos que usaremos en las # demás
fórmulas necesarias en todo el desarrollo teórico.
```

```
h_k, h_kp = symbols('h_k, h_{k+1}')
```

```
Δ_k, Δ_kp = symbols('Δ_k, Δ_{k+1}')
```

```
d_k, d_kp, d_kpp = symbols('d_k, d_{k+1}, d_{k+2}')
```

```
baseH = (1, x-x_k, (x-x_k)**2, (x-x_k)**2*(x-x_kp)) # Base de Hermite
```

```
baseH[3] # comprobemos por ejemplo cuál sería la salida en este caso
```

$$(x - x_k)^2 (x - x_{k+1})$$

```
cc = symbols('c_:4') # esta será otra tupla de símbolos para los coeficientes
```

```
cc # que actuarán como las incógnitas iniciales
```

```
(c_0, c_1, c_2, c_3) # de la expresión polinómica de cada cúbica del spline
```

```
list(zip(baseH,cc)) # la orden 'zip'
```

```
# une un elemento de cada lista/tupla como si cerrara una cremallera
```

```
[(1, c_0),
 (x - x_k, c_1),
 ((x - x_k)**2, c_2),
 ((x - x_k)**2*(x - x_k+1), c_3)]
```

```
# Veámos ahora cómo obtener la expresión de la cúbica a partir de la base de # Hermite
apropiada obteniendo cada término como producto del coeficiente por el # elemento de la base
correspondiente
```

```
s_k = 0;
```

```
for sumando in [termino[0]*termino[1] for termino in list(zip(baseH,cc))]:
```

```
    s_k = s_k + sumando # realizando la sumatoria de los términos uno a uno
```

```
s_k # veámos la expresión final de la cúbica
```

$$c_0 + c_1(x - x_k) + c_2(x - x_k)^2 + c_3(x - x_k)^2(x - x_{k+1})$$

```
sc_k = s_k.copy()
```

```
# hacemos una copia de esta expresión, por si la necesitáramos más adelante,
# que tendrá exactamente la misma expresión que la anterior
```

```
ec0 = Eq(s_k.subs({x:x_k}),y_k) # y empezamos a construir una a una
```

```
# cada una de las ecuaciones que deberá verificar este trozo de cúbica
ec0
```

$$c_0 = y_k$$

```

c0 = solve(ec0,cc[0])[0]
# y las iremos resolviendo también una a una a través de la orden 'solve'
# una vez obtenida la solución, la vamos incluyendo en un diccionario
sols = {cc[0]: c0}
# que iremos poco a poco ampliando con las soluciones correspondientes
{c_0: y_k}
# vemos ahora cómo realizar la derivada de esta expresión respecto de x
diff(s_k,x) # pero necesitaremos ahora evaluar en los extremos del subintervalo
# para ir obteniendo las diferentes ecuaciones a resolver.
# Esta sería la siguiente ecuación:
ec1 = Eq(diff(s_k,x).simplify().subs({x:x_k}),d_k)
ec1

```

$$c_1 = d_k$$

```

c1 = solve(ec1,cc[1])[0]
# y esta la solución correspondiente
sols[cc[1]] = c1 # que podemos seguir añadiendo al diccionario de soluciones
sols
{c_0: y_k, c_1: d_k}
s_k = s_k.subs(sols)
# Así podríamos empezar ya a ir sustituyendo dichas soluciones en la
# expresión genérica inicial, donde vemos claramente que aún quedaría
# por despejar los otros dos coeficientes de los términos de mayor grado.

```

$$c_2(x - x_k)^2 + c_3(x - x_k)^2(x - x_{k+1}) + d_k(x - x_k) + y_k$$

```

# realizamos a continuación ciertas sustituciones convenientes
s_k.subs({x:x_kp}).subs({x_kp-x_k:h_k}) # como h_k = x_{k+1} - x_k

```

$$c_2h_k^2 + d_kh_k + y_k$$

Ya podemos pues obtener la expresión de la correspondiente ecuación

```
ec2 = Eq(s_k.subs({x:x_kp}).subs({x_kp-x_k:h_k}),y_kp)
```

```
# pero tendremos que seguir imponiendo los otros dos datos que faltan
```

```
ec2
```

$$c_2h_k^2 + d_kh_k + y_k = y_{k+1}$$

e ir resolviendo estas ecuaciones paso a paso,

```
c2 = solve(ec2,cc[2])[0]
```

pero sólo porque el sistema lineal que obtenemos es triangular

```
c2
```

$$\frac{-d_k h_k - y_k + y_{k+1}}{h_k^2}$$

añadimos también esta solución al diccionario con todas las anteriores

```
sols[cc[2]] = c2
```

```
sols
```

```
{c_0: y_k, c_1: d_k, c_2: (-d_k*h_k - y_k + y_{k+1})/h_k**2}
```

```
s_k = s_k.subs(sols)
```

que podemos sustituir de nuevo en la expresión general

s_k # de este trozo de cúbica en el intervalo [x_k, x_{k+1}]

```
ec3 = Eq(diff(s_k,x).simplify().subs({x:x_kp}),d_kp)
```

```
ec3 # y ya sólo nos quedaría la última ecuación a considerar
```

que aún podríamos simplificar algo más mediante las sustituciones adecuadas

```
ec3 = ec3.subs({x_kp-x_k:h_k})
```

```
ec3
```

$$\frac{h_k^2(c_3(-x_k + x_{k+1})^2 + d_k) - 2(-x_k + x_{k+1})(d_k h_k + y_k - y_{k+1})}{h_k^2} = d_{k+1}$$

que volvemos a resolver de nuevo con la orden 'solve' de Sympy

```
c3 = solve(ec3,cc[3])[0]
```

```
c3
```

$$\frac{h_k(d_k + d_{k+1}) + 2y_k - 2y_{k+1}}{h_k^3}$$

```

sols[cc[3]] = c3 # y terminamos de añadirla al correspondiente diccionario
sols

{c_0: y_k,
c_1: d_k,
c_2: (-d_k*h_k - y_k + y_k+1)/h_k**2,
c_3: (h_k*(d_k + d_k+1) + 2*y_k - 2*y_k+1)/h_k**3}

solsbis = sols.copy()

# esto sirve para hacer una copia de estas soluciones en otro diccionario, # distinto del de
partida y poder hacer allí tantas modificaciones como # creamos convenientes.

# A continuación vamos a ir operando poco a poco con cada término ya calculado # que serían las
mismas que haríamos normalmente a mano, y que nos servirá de # ejemplo para otros casos

sols[cc[2]].expand()

collect(_,1/h_k) # en nuevas versiones de Jupyter incluir el número de salida
# después del guión bajo de la expresión que queremos emplear; por ejemplo
# en vez de '_' escribir '_s' donde s en el número de celdilla de salida Out[s]
# Finalizamos ahora añadiendo alguna que otra sustitución conveniente

sols[cc[2]].expand().subs({y_kp/h_k**2-y_k/h_k**2:Δ_k/h_k})

# Pero, si lo que pretendemos es intentar normalizar y automatizar todo esto # lo haríamos todo
de golpe como sigue:

solsbis[cc[2]] = collect(sols[cc[2]],d_k).subs({x_k-x_kp:-h_k}).expand().subs({y_kp/h_k**2-
y_k/h_k**2:Δ_k/h_k})
solsbis[cc[2]] = collect(solsbis[cc[2]],1/h_k)
solsbis[cc[2]]

```

$$\frac{-d_k + \Delta_k}{h_k}$$

```

# este sería otro de los términos con los que seguir trabajando
solsbis[cc[3]]

solsbis[cc[3]].expand() # que ahora también podemos expandir
_.subs({2*y_kp/h_k**3-2*y_k/h_k**3:2*Δ_k/h_k**2})
# y transformar como hicimos antes

# escribiéndolo ahora todo en una misma fracción, por ejemplo
_.together()

```

$$\frac{d_k + d_{k+1} - 2\Delta_k}{h_k^2}$$

```
# Podemos imprimir dicha expresión, para poder pegarlo y usarlo más adelante
print(_)

(d_k + d_{k+1} - 2*\Delta_k)/h_k**2

solsbis[cc[3]] = (d_k + d_{kp} - 2*\Delta_k)/h_k**2
# esta sería la expresión final buscada

# los otros coeficientes no necesitarían tantas modificaciones

solsbis

{c_0: y_k, c_1: d_k, c_2: (-d_k + \Delta_k)/h_k, c_3: (d_k + d_{k+1} - 2*\Delta_k)/h_k**2}

# recordamos por otro lado la expresión original de los mismos
sols

{c_0: y_k,
 c_1: d_k,
 c_2: (-d_k*h_k - y_k + y_{k+1})/h_k**2,
 c_3: (h_k*(d_k + d_{k+1}) + 2*y_k - 2*y_{k+1})/h_k**3}

# para obtener la expresión final de la cúbica que buscábamos
sc_k.subs(solsbis) # simplemente sustituimos estos valores
# en la expresión general de la misma, y comprobamos que ahora dicha expresión # tan sólo
# dependerá de los valores d_k, y_k y h_k, tal y cómo queríamos.
```

$$d_k(x - x_k) + y_k + \frac{(-d_k + \Delta_k)(x - x_k)^2}{h_k} + \frac{(x - x_k)^2(x - x_{k+1})(d_k + d_{k+1} - 2\Delta_k)}{h_k^2}$$

```
s_k = s_k.subs(sols)
# esta sería otra expresión equivalente de la misma cúbica

sc_k = sc_k.subs(solsbis)

# comprobaciones sobre las condiciones de tipo Lagrange
simplify(s_k.subs({x:x_k})), simplify(s_k.subs({x:x_kp}).subs({x_k-x_kp:-h_k}))

(y_k, y_{k+1})

# comprobaciones sobre las condiciones de tipo Hermite
simplify(diff(s_k,x).subs({x:x_k})), simplify(diff(s_k,x).subs({x:x_kp}))

(d_k, d_{k+1})

# Realizamos ahora estas comprobaciones para la otra expresión alternativa
simplify(sc_k.subs({x:x_k})), simplify(diff(sc_k,x).subs({x:x_k}))

(y_k, d_k)

simplify(factor(sc_k.subs({x:x_kp}).subs({x_k-x_kp:-h_k})).subs({\Delta_k:(y_{kp}-y_k)/h_k}))
diff(sc_k,x).subs({x:x_kp}).subs({h_k:x_kp-x_k}).subs({\Delta_k:(y_{kp}-y_k)/(x_kp-x_k)}).factor()

sc_k

# cuya expresión en LaTeX podemos imprimir ahora
print(latex(sc_k)) # y usarla justo a continuación

d_{k} \left(x - x_{k}\right) + y_{k} + \frac{\left(-d_{k} + \Delta_{k}\right) \left(x - x_{k}\right)^2}{h_{k}} + \frac{\left(x - x_{k}\right)^2 \left(x - x_{k+1}\right) \left(d_{k} + d_{k+1} - 2 \Delta_{k}\right)}{h_{k}^2}
```

$$s_k(x) = d_k(x - x_k) + y_k + \frac{(-d_k + \Delta_k)(x - x_k)^2}{h_k} + \frac{(x - x_k)^2(x - x_{k+1})(d_k + d_{k+1} - 2\Delta_k)}{h_k^2}, \quad \forall k = 0, \dots, n - 1$$

```
# A continuación buscamos la expresión correspondiente al
# siguiente trozo de cúbica en el subintervalo [x_k+1, x_k+2]
sc_kp = sc_k.subs({x_kp:x_kpp,d_kp:d_kpp}).subs({d_k:d_kp, y_k:y_kp, h_k:h_kp,
x_k:x_kp,Δ_k:Δ_kp})
sc_kp # y vemos que basta con aumentar una unidad el índice k
```

$$d_{k+1}(x - x_{k+1}) + y_{k+1} + \frac{(-d_{k+1} + \Delta_{k+1})(x - x_{k+1})^2}{h_{k+1}} + \frac{(x - x_{k+1})^2(x - x_{k+2})(d_{k+1} + d_{k+2} - 2\Delta_{k+1})}{h_{k+1}^2}$$

Y a continuación es cuando vamos a imponer la igualdad de las correspondientes derivadas segundas en el nodo común de ambos trozos de cúbica adyacentes; es decir, impondremos la condición:

$$s_k''(x_{k+1}) = s_{k+1}''(x_{k+1}), \quad \forall k = 0, \dots, n - 2$$

```
expr1 = diff(sc_k,x,2).subs({x:x_kp}).subs({x_k-x_kp:-h_k}).simplify()
expr1 # esta sería la expresión parte izquierda de la ecuación anterior

expr2 = diff(sc_kp,x,2).subs({x:x_kp}).subs({x_kp-x_kpp:-h_kp}).simplify()
expr2 # esta sería la expresión parte derecha de la ecuación anterior

# veámos pues qué obtenemos restando ambas expresiones
collect(expand(expr1-expr2),[d_k,d_kp,d_kpp]) / 2 # y expandiendo el resultado # que podemos
perfectamente dividir entre 2, al estar igualado todo a cero

terminos = collect(expand(expr1-expr2)/2,[d_k,d_kp,d_kpp], evaluate=False)
terminos # estos serían, término a término, los factores a tener en cuenta

{d_k: 1/h_k,
d_k+2: 1/h_k+1,
d_k+1: 2/h_k+1 + 2/h_k,
1: -3*Δ_k+1/h_k+1 - 3*Δ_k/h_k}
```

Y de aquí sería ahora de donde podríamos ir sacando los coeficientes que deberán aparecer tanto en la matriz como en el vector de términos independientes del correspondiente sistema lineal que habrá que resolver.

Veamos cómo hacerlo, paso a paso.

```

terminos[d_k] # factor multiplicativo del término d_k
terminos[d_kp] # factor multiplicativo del término d_{k+1}
terminos[d_kpp] # factor multiplicativo del término d_{k+2}
terminos[1] # y estos cambiados de signo serían los valores
# del vector de términos independientes correspondientes a esa ecuación
# Veámos ahora escrita dicha ecuación completa
ecsplinescubicosC2 = Eq(terminos[d_k]*d_k+terminos[d_kp]*d_kp+terminos[d_kpp]*d_kpp,-
terminos[1])
ecsplinescubicosC2

```

$$\frac{d_k}{h_k} + d_{k+1} \cdot \left(\frac{2}{h_{k+1}} + \frac{2}{h_k} \right) + \frac{d_{k+2}}{h_{k+1}} = \frac{3\Delta_{k+1}}{h_{k+1}} + \frac{3\Delta_k}{h_k}$$

que en el caso de particiones uniformes se simplificaría aún más

`h = Symbol('h')`

```
ecsplinescubicosC2.subs({h_k:h, h_kp:h})
```

$$\frac{d_k}{h} + \frac{4d_{k+1}}{h} + \frac{d_{k+2}}{h} = \frac{3\Delta_k}{h} + \frac{3\Delta_{k+1}}{h}$$

Aún nos faltaría por añadir y considerar las correspondientes ecuaciones que involucran las dos condiciones adicionales, según el tipo de spline cúbico que queramos obtener, ya sea:

- cúbico natural
 - cúbico periódico
 - cúbico sujeto
- Caso del spline cúbico natural (con derivadas segundas nulas en los extremos del intervalo [a,b]):

$$s''(x_0) = 0 = s''(x_n)$$

Recuperamos pues la expresión que teníamos calculada poco más arriba de la derivada segunda del spline en el subintervalo k -ésimo $[x_k, x_{k+1}]$ cuando lo evaluábamos en el extremo de la izquierda.

```
expr1 = diff(sc_k,x,2).subs({x:x_k}).subs({x_k-x_kp:-h_k}).simplify()
```

y lo terminamos particularizando para el primer subintervalo $[x_0, x_1]$, al imponer la primera de las condiciones adicionales del spline cúbico natural de clase 2

$$s''(x_0) = 0$$

```

terminos = collect(expand(-expr1/2),[d_k,d_kp], evaluate = False)
{d_k+1: 1/h_k, d_k: 2/h_k, 1: -3*Δ_k/h_k}
# Así podríamos ir obteniendo el coeficiente de cada una de las incógnitas:
d_0, h_0, Δ_0 = symbols('h_0, Δ_0')
terminos[d_k].subs({h_k:h_0})
# Este sería el caso de si empezamos a numerar los nodos con k = 0
d_0, d_1 = symbols('d_0, d_1')
ec0 = Eq(terminos[d_k]*d_0+terminos[d_kp]*d_1,-terminos[1]).subs({h_k:h_0,Δ_k:Δ_0})
ec0

```

$$\frac{2d_0}{h_0} + \frac{d_1}{h_0} = \frac{3\Delta_0}{h_0}$$

```

# que vemos que podemos simplificar,
# sin más que multiplicar ambos miembros por h_0
ec0 = Eq(expand((ec0.lhs)*h_0),(ec0.rhs)*h_0)
ec0

```

$$2d_0 + d_1 = 3\Delta_0$$

```

# y si empezásemos a numerar los nodos con k=1 en vez de k=0
d_1, d_2 = symbols('d_1, d_2')
h_1, Δ_1 = symbols('h_1, Δ_1')
ec1 = Eq(terminos[d_k]*d_1+terminos[d_kp]*d_2,-terminos[1]).subs({h_k:h_1,Δ_k:Δ_1})
# que podemos simplificar, sin más que multiplicar ambos miembros por h_1
ec1 = Eq(expand((ec1.lhs)*h_1),(ec1.rhs)*h_1)

```

Y de manera totalmente análoga, cuando evaluábamos la derivada segunda en el extremo de la derecha

```

expr2 = diff(sc_k,x,2).subs({x:x_kp}).subs({x_k-x_kp:-h_k}).simplify()
expr2

```

que ahora particularizamos para el caso $k = n-1$ antes de igualar a

```

expr2/2*h_k # vamos a simplificarlo antes de igualar a 0
terminos = collect(expr2/2*h_k,[d_k,d_kp], evaluate=False)
terminos
{d_k: 1, d_k+1: 2, 1: -3*Δ_k}
# y éste, para el caso con k = n-1 para la condición en el extremo derecho
d_n, d_nm = symbols('d_n, d_n-1')
h_nm, Δ_nm = symbols('h_n-1, Δ_n-1')
encubiconatural = Eq(terminos[d_k]*d_nm+terminos[d_kp]*d_n,-terminos[1]).subs({Δ_k:Δ_nm})

```

$$2d_n + d_{n-1} = 3\Delta_{n-1}$$

- Caso del spline cúbico periódico: con derivadas primera y segunda coincidentes en ambos extremos del intervalo [a,b]

recuperamos la expresión general de la cúbica
 sc_k # en un subintervalo genérico [x_k, x_{k+1}]

diff(sc_k,x) # esta sería su primera derivada

$$d_k + \frac{(-d_k + \Delta_k)(2x - 2x_k)}{h_k} + \frac{(x - x_k)^2(d_k + d_{k+1} - 2\Delta_k)}{h_k^2} + \frac{(x - x_{k+1})(2x - 2x_k)(d_k + d_{k+1} - 2\Delta_k)}{h_k^2}$$

que ahora vamos a particularizar para el caso k = 0

x_0, x_1 = symbols('x_0, x_1')

diff(sc_k,x).subs({x:x_0,d_k:d_0,\Delta_k:\Delta_0,h_k:h_0,x_k:x_0,x_{kp}:x_1})

y ahora vamos a particularizar para el caso k = n-1, asumiendo que x_n = b

x_nm, x_n = symbols('x_{n-1}, x_n')

diff(sc_k,x).subs({x:x_n,d_k:d_nm,d_{kp}:d_n,\Delta_k:\Delta_nm,h_k:h_nm,x_k:x_nm,x_{kp}:x_n}).subs({h_nm:x_n-x_nm}).simplify()

Vemos pues que la primera condición del spline cúbico de clase 2 periódico se traduciría en la siguiente ecuación a satisfacer:

$$s'(x_0) = s'(x_n)$$

ec1cubicoperiodico = Eq(d_0,d_n)

ec1cubicoperiodico # bastaría cambiar d_0 por d_1 en caso de

que los nodos se empezaran a numerar a partir de 1 y no de 0

En cuanto a la segunda condición

$$s''(x_0) = s''(x_n)$$

procederemos como más arriba, para llegar a:

expr1 = diff(sc_k,x,2).subs({x:x_k}).subs({x_k-x_{kp}:-h_k}).subs({h_k:h_0,d_k:d_0,d_{kp}:d_1,\Delta_k:\Delta_0}).simplify()

expr1

h_n = symbols('h_n')

expr2 = diff(sc_k,x,2).subs({x:x_{kp}}).subs({x_k-x_{kp}:-h_k}).simplify().subs({h_k:h_nm,d_k:d_nm,d_{kp}:d_n,\Delta_k:\Delta_nm})

encubicoperiodico = Eq(expr1/2,expr2/2)

encubicoperiodico

$$\frac{-2d_0 - d_1 + 3\Delta_0}{h_0} = \frac{2d_n + d_{n-1} - 3\Delta_{n-1}}{h_{n-1}}$$

```

ecncubicoperiodico.lhs # podremos extraer la parte izquierda de la ecuación
# e ir extrayendo a partir de ahí los coeficientes que tiene cada término
terminos_lhs = collect(ecncubicoperiodico.lhs.expand(),[d_0,d_1],evaluate=False)

# Estos serían los factores que multiplican a las incógnitas que aparecen terminos_lhs # en la
parte izquierda de la ecuación
{d_1: -1/h_0, d_0: -2/h_0, 1: 3*Δ_0/h_0}
terminos_lhs[d_0],terminos_lhs[d_1],terminos_lhs[1]
(-2/h_0, -1/h_0, 3*Δ_0/h_0)

# Y de manera equivalente podremos hacer con los de la parte derecha
terminos_rhs = collect(ecncubicoperiodico.rhs.expand(),[d_nm,d_n],evaluate=False)
terminos_rhs
{d_n-1: 1/h_n-1, d_n: 2/h_n-1, 1: -3*Δ_n-1/h_n-1}
terminos_rhs[d_nm],terminos_rhs[d_n],terminos_rhs[1]
(1/h_n-1, 2/h_n-1, -3*Δ_n-1/h_n-1)

ecncubicoperiodico = Eq(-terminos_lhs[d_0]*d_0-
terminos_lhs[d_1]*d_1+terminos_rhs[d_nm]*d_nm+terminos_rhs[d_n]*d_n,terminos_lhs[1]-
terminos_rhs[1])

# Ahora uniéndolo todo podremos escribir la ecuación lineal completa, con
ecncubicoperiodico # incógnitas a la izda. y término independiente a la dcha.

```

$$\frac{2d_0}{h_0} + \frac{d_1}{h_0} + \frac{2d_n}{h_{n-1}} + \frac{d_{n-1}}{h_{n-1}} = \frac{3\Delta_{n-1}}{h_{n-1}} + \frac{3\Delta_0}{h_0}$$

- Caso del spline cúbico sujeto: con

$$\mathbf{s}'(\mathbf{x}_0) = \mathbf{d}_0$$

$$\mathbf{s}'(\mathbf{x}_n) = \mathbf{d}_n$$

En este caso particular, simplemente las incógnitas primera y última del sistema dejarían de ser incógnitas para pasar a ser datos conocidos del problema, quedando todavía por resolver las incógnitas restantes:

$$d_1, \dots, d_{n-1}.$$

Segundo planteamiento: tomando como incógnitas los valores de la derivada segunda

$$\mathbf{M}_k \equiv \mathbf{s}''(\mathbf{x}_k)$$

y conociendo los valores de Lagrange en los nodos de la partición del intervalo $[\mathbf{a}, \mathbf{b}]$.

Empezamos definiendo las variables simbólicas que vamos a necesitar para el desarrollo algebraico y obtención de las ecuaciones correspondientes a este nuevo planteamiento.

```
x, x_k, x_kp, x_km = symbols('x, x_k, x_k+1, x_k-1')
y_k, y_kp, y_km = symbols('y_k, y_k+1, y_k-1')
h_k, h_km = symbols('h_k, h_k-1')
Δ_k, Δ_km = symbols('Δ_k, Δ_k-1')
d_k, d_kp, d_km = symbols('d_k, d_k+1, d_k-1')
M_k, M_kp, M_km = symbols('M_k, M_k+1, M_k-1')
```

Por propia construcción, sabemos pues que la derivada segunda de cada trozo de cúbica que conforma el spline en dicho intervalo, deberá ser una recta.

A partir de aquí, lo que tendremos que hacer ahora es integrar dos veces la expresión de dicha recta, para poder obtener la expresión general de la cúbica correspondiente.

```
d2s_k = (M_k*(x_kp-x) + M_kp*(x-x_k))/h_k
d2s_k
```

```
d2s_k.subs({x:x_k}).subs({x_k-x_kp:-h_k}), d2s_k.subs({x:x_kp}).subs({x_k-x_kp:-h_k})
(M_k, M_k+1)
```

```
from sympy import integrate, Symbol
```

```
?integrate
```

```
integrate(integrate(d2s_k,x),x) # pero vemos que así no se incluirían
# las constantes de integración, que nos hará falta tener en cuenta
# para poder imponer las otras condiciones de tipo Lagrange
```

$$\frac{x^3(-M_k + M_{k+1})}{6h_k} + \frac{x^2(M_k x_{k+1} - M_{k+1} x_k)}{2h_k}$$

```
expr1 = (x_kp-x)**3*M_k + (x-x_k)**3*M_kp
```

```
C = Symbol('C')
```

```
solve (Eq(diff(expr1,x,2)*C,d2s_k),C)[0]
```

```
expr1 = expr1*solve (Eq(diff(expr1,x,2)*C,d2s_k),C)[0]
```

```
expr1
```

$$\frac{M_k(-x + x_{k+1})^3 + M_{k+1}(x - x_k)^3}{6h_k}$$

```

expr1.subs({x:x_k}).subs({x_kp-x_k:h_k})
expr1.subs({x:x_kp}).subs({x_kp-x_k:h_k})
expr2 = (x_kp-x)*y_k + (x-x_k)*y_kp
expr2.subs({x:x_k}).subs({x_kp-x_k:h_k})
expr2.subs({x:x_kp}).subs({x_kp-x_k:h_k})
expr2 = expr2/h_k
(expr1 + expr2).subs({x:x_kp}).subs({x_kp-x_k:h_k})
(expr1 + expr2).subs({x:x_k}).subs({x_kp-x_k:h_k})
expr3 = -h_k/6*(M_k*(x_kp-x)+M_kp*(x-x_k))
expr3

```

$$-\frac{h_k(M_k(-x + x_{k+1}) + M_{k+1}(x - x_k))}{6}$$

Estas serían a continuación las posibles comprobaciones que podríamos hacer

```

(expr1+expr2+expr3).subs({x:x_k}).subs({x_kp-x_k:h_k})
(expr1+expr2+expr3).subs({x:x_kp}).subs({x_kp-x_k:h_k})
(diff(expr1+expr2+expr3,x,2)).subs({x:x_k}).subs({x_kp-x_k:h_k})
(diff(expr1+expr2+expr3,x,2)).subs({x:x_kp}).subs({x_kp-x_k:h_k})

```

Finalmente, teniendo en cuenta todo lo desarrollado anteriormente, podremos ya escribir la expresión definitiva de cada trozo de spline cúbico en el subintervalo k -ésimo $[x_k, x_{k+1}]$.

```

s_k = expr1+expr2+expr3
s_k

```

$$-\frac{h_k(M_k(-x + x_{k+1}) + M_{k+1}(x - x_k))}{6} + \frac{M_k(-x + x_{k+1})^3 + M_{k+1}(x - x_k)^3}{6h_k} + \frac{y_k(-x + x_{k+1}) + y_{k+1}(x - x_k)}{h_k}$$

Pero no debemos engañarnos, con esta construcción todavía no nos hemos asegurado de que estos trozos de cúbica resultan ser de clase 2 en todo el intervalo $[a,b]$ ya que de momento tan sólo hemos impuesto el mismo valor de la derivada segunda lateral de las expresiones polinómicas a uno y otro lado de los nodos interiores. Pero para que se tenga clase 2, tendríamos que terminar de imponer también las correspondientes condiciones sobre la derivada primera, tanto a la izquierda como a la derecha de cada uno de los nodos interiores, de manera que se cumpla

$$s'_{k-1}(x_k) = s'_k(x_k), \quad \forall k = 1, \dots, n-1$$

```
s_k # partiremos pues de la expresión genérica de las cúbicas obtenidas
s_km = s_k.subs({x_k:x_km,y_k:y_km,h_k:h_km,M_k:M_km}).subs({x_kp:x_k,y_kp:y_k,M_kp:M_k})
s_km # y esta sería la correspondiente a la izquierda del nodo x_k
```

$$-\frac{h_{k-1}(M_k(x-x_{k-1})+M_{k-1}(-x+x_k))}{6} + \frac{M_k(x-x_{k-1})^3+M_{k-1}(-x+x_k)^3}{6h_{k-1}} + \frac{y_k(x-x_{k-1})+y_{k-1}(-x+x_k)}{h_{k-1}}$$

```
diff(s_km,x).subs({x:x_k}).subs({x_k-x_km:h_km}) # derivamos y sustituimos x_k
```

```
diff(s_k,x).subs({x:x_k}).subs({x_kp-x_k:h_k}) # derivamos y sustituimos x_k
```

```
condderprimera = diff(s_km,x).subs({x:x_k}).subs({x_k-x_km:h_km})-
```

```
diff(s_k,x).subs({x:x_k}).subs({x_kp-x_k:h_k})
```

```
# bastaría con restar ambas expresiones para tener la ecuación correspondiente
```

```
condderprimera # que se supondrá igualada a 0
```

$$\frac{M_k h_k}{2} + \frac{M_k h_{k-1}}{2} + \frac{h_k(-M_k + M_{k+1})}{6} - \frac{h_{k-1}(M_k - M_{k-1})}{6} + \frac{y_k - y_{k-1}}{h_{k-1}} - \frac{-y_k + y_{k+1}}{h_k}$$

```
terminos = collect(condderprimera.expand(), [M_km, M_k, M_kp, 1/h_k, 1/h_km], evaluate=False)
```

```
# Pero podemos proceder a extraer los factores que multiplican a cada término
```

```
terminos[M_km] # como ya también hicimos anteriormente.
```

```
terminos[M_k] # Estos serían los términos que aparecen multiplicando M_k
```

```
terminos[M_kp] # y estos los correspondientes a M_k+1
```

```
terminos[1/h_k]/h_k # así obtendríamos los que multiplican a 1/h_k
```

```
# lo que ocurre es que luego los volvemos a dividir por h_k # para obtener el término completo
```

```
terminos[1/h_km]/h_km # hacemos lo mismo con los que multiplican a 1/h_k-1
```

Obteniéndose así un sistema de $n+1$ ecuaciones lineales que, junto con las dos condiciones adicionales referidas anteriormente, constituirían en principio un sistema de $n+1$ ecuaciones lineales con $n+1$ incógnitas,

$$M_0, \dots, M_n$$

pero aún tendremos que imponer las otras dos condiciones adicionales, según el tipo de spline cúbico natural que queramos obtener.

- Caso del spline cúbico natural, con

$$s''(x_0) = 0 = s''(x_n)$$

Este caso sería el más simple con esta formulación, ya que bastaría con tomar nulos los valores de las incógnitas para los índices $k=0$ y $k=n$ para tener asegurado lo

que queremos. Los demás valores (para $k=1, \dots, n-1$) seguirían siendo incógnitas, que tendremos que resolver a partir de las ecuaciones ya obtenidas previamente.

- Caso del spline cúbico periódico: con

$$s'(x_0) = s'(x_n)$$

$$s''(x_0) = s''(x_n)$$

En este caso empezáramos tomando

$$M_0 = M_n$$

con lo cuál ya una de esas dos incógnitas podríamos eliminarla de las ecuaciones a considerar; pero aún tendríamos que añadir otra ecuación correspondiente a la otra condición

$$s'(x_0) = s'(x_n)$$

que veremos en qué expresión se traduce exactamente.

`s_k` # expresión general del spline en el subintervalo $[x_k, x_{k+1}]$

`diff(s_k,x).subs({x:x_k})` # y esta su derivada primera evaluada en x_k

$$-\frac{M_k(-x_k + x_{k+1})^2}{2h_k} - \frac{h_k(-M_k + M_{k+1})}{6} + \frac{-y_k + y_{k+1}}{h_k}$$

`expr0 = diff(s_k,x).subs({x:x_k}).simplify().subs({x_k-x_kp:-h_k}).expand()`

`expr0` # realizamos las sustituciones convenientes

Y ya tan solo tendríamos que terminar de particularizar para el índice $k=0$ para poder obtener la parte de la ecuación correspondiente al extremo izquierdo del intervalo $[a,b]$

`M_0, M_1 = symbols('M_0,M_1')`

`y_0, y_1 = symbols('y_0,y_1')`

`expr0 = expr0.subs({M_k:M_0, M_kp:M_1, h_k:h_0, y_k:y_0, y_kp:y_1})`

`expr0`

$$-\frac{M_0 h_0}{3} - \frac{M_1 h_0}{6} - \frac{y_0}{h_0} + \frac{y_1}{h_0}$$

Ahora tendríamos que terminar de particularizar para el índice $k=n-1$ para poder obtener la parte de la ecuación correspondiente al extremo derecho del intervalo $[a,b]$

`diff(s_k,x).subs({x:x_kp})`

$$\frac{M_{k+1}(-x_k + x_{k+1})^2}{2h_k} - \frac{h_k(-M_k + M_{k+1})}{6} + \frac{-y_k + y_{k+1}}{h_k}$$

`exprn = diff(s_k,x).subs({x:x_kp}).simplify().subs({x_k-x_kp:-h_k}).expand()`

`exprn`

$$\frac{M_k h_k}{6} + \frac{M_{k+1} h_k}{3} - \frac{y_k}{h_k} + \frac{y_{k+1}}{h_k}$$

```
M_n, M_nm = symbols('M_n,M_n-1')
y_n, y_nm = symbols('y_n,y_n-1')
exprn = exprn.subs({M_k:M_nm, M_kp:M_n, h_k:h_nm, y_k:y_nm, y_kp:y_n})
exprn
```

$$\frac{M_n h_{n-1}}{3} + \frac{M_{n-1} h_{n-1}}{6} + \frac{y_n}{h_{n-1}} - \frac{y_{n-1}}{h_{n-1}}$$

Uniendo todo esto llegaríamos a las siguientes ecuaciones adicionales a tener en cuenta en este caso del spline cúbico periódico:

```
ec1 = Eq(M_0,M_n)
```

```
ec1
```

```
# La ecuación resultante correspondiente a la derivada segunda es trivial
```

$$M_0 = M_n$$

```
ec2 = Eq(expr0, exprn)
```

```
ec2 # y esta sería la última ecuación a considerar para la derivada primera
```

$$-\frac{M_0 h_0}{3} - \frac{M_1 h_0}{6} - \frac{y_0}{h_0} + \frac{y_1}{h_0} = \frac{M_n h_{n-1}}{3} + \frac{M_{n-1} h_{n-1}}{6} + \frac{y_n}{h_{n-1}} - \frac{y_{n-1}}{h_{n-1}}$$

- Caso del spline cúbico sujeto: con

$$s'(x_0) = d_0$$

$$s'(x_n) = d_n$$

```
# A partir de la expresión general del spline en el intervalo [x_k, x_k+1]
```

```
# primero derivamos una vez y luego sustituimos por x_k
```

```
diff(s_k,x).subs({x:x_k})
```

```
# luego realizamos alguna que otra sustitución adicional
```

```
._simplify().subs({x_k-x_kp:-h_k}).expand()
```

```
# y acabamos particularizando para el caso k = 0
```

```
._subs({M_k:M_0, M_kp:M_1, y_k:y_0, y_kp:y_1})
```

$$-\frac{M_0 h_0}{3} - \frac{M_1 h_0}{6} - \frac{y_0}{h_0} + \frac{y_1}{h_0}$$

En cuanto a la derivada en el otro extremo derecho del intervalo:

```
diff(s_k,x).subs({x:x_kp}).subs({x_k-x_kp:-h_k}).expand() # derivamos evaluando
```

```
._subs({M_k:M_nm, M_kp:M_n, y_k:y_nm, y_kp:y_n, h_k:h_nm}) # para k = n
```

```
# Recordad que en las nuevas versiones de Jupyter Notebook, después del # guión-bajo de la expresión que queremos emplear; por ejemplo en vez de '_' # escribir '_s' donde s es el número de celdilla de salida Out[s]
```

$$\frac{M_n h_{n-1}}{3} + \frac{M_{n-1} h_{n-1}}{6} + \frac{y_n}{h_{n-1}} - \frac{y_{n-1}}{h_{n-1}}$$

El sistema que resulta es tridiagonal, diagonalmente dominante y, por tanto, el problema es de nuevo unisolvente. Y para la resolución particular de cada uno de estos planteamientos en un caso concreto (con valores numéricos ya proporcionados) bastaría con aplicar cualquier código u orden directa de resolución efectiva de estos sistemas lineales construidos aquí, para obtener el resultado esperado. Esta última parte sería objeto ya de otra práctica adicional, donde se implementaría todo lo desarrollado aquí teóricamente en los correspondientes códigos de tipo numérico, pero usando otros módulos de Python como NumPy, SciPy, etc.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

Con el desarrollo completo, usando SymPy, de este archiconocido y ubícuo problema de Matemática Aplicada, hemos podido comprobar las grandes posibilidades y potencia de este módulo por excelencia de cálculo simbólico del ecosistema Python.

Se ha podido pues comprobar fehacientemente la potencialidad y flexibilidad de esta versátil herramienta, ya sea para el desarrollo teórico en temas docentes con cierto contenido matemático, o simplemente como una herramienta de apoyo para el planteamiento y resolución de muchas cuestiones matemáticas medianamente complejas, que se harían demasiado tediosas de realizar completamente a mano.

En todo caso, nuestra recomendación seguiría siendo la de intentar ir llevando a la par tanto el desarrollo manual inicial como el de tipo simbólico con software especializado (como SymPy, Mathematica, Maple, etc.) con el objeto de ir guiando y automatizando en la medida de lo posible la mayoría de cálculos, simplificaciones y operaciones concretas a realizar y poder tener más asegurado el éxito final de resolución del problema. De esta manera podríamos aprovecharnos así de una sinergia muy positiva entre ambos procedimientos, ya que muchas veces el cálculo simbólico realizado mediante el ordenador nos resalta ciertos resultados erróneos o fallos que podríamos haber cometido manualmente, pero por otro lado nuestra intuición natural también nos puede marcar el camino ideal a seguir, que luego también podemos intentar reproducir con la ayuda de estas herramientas automáticas.

Otra de las cuestiones importantes a tener en cuenta en este sentido, es que posiblemente nosotros podemos desarrollar y resolver perfectamente a mano alguno de estos problemas para una dimensión o tamaño reducido, pero llegaría a ser casi impensable seguir haciéndolo así para un tamaño o dimensión mayor. En estos casos también estaría completamente justificado el intentar automatizar el proceso, valiéndose de ese desarrollo ya realizado manualmente, pero generalizando uno a uno

los pasos llevados a cabo, con objeto de que esos casos impracticables manualmente puedan seguir resolviéndose sin problema con la ayuda de estas herramientas de tipo simbólico. Consultar entre otros la documentación y manuales de las siguientes webs indicadas en las referencias sobre esta temática (Documentacion sobre Python, MacTutor History of Mathematics, Manual de SymPy, Wolfram MathWorld).

REFERENCIAS

- Benalcázar-Gómez, H. (2007). *Análisis Numérico*. Serie Matemática Universitaria.
- Burden, R.L. y Douglas-Faires, J. (2002). *Análisis Numérico* (7ª Edición). Thompson-Learning. México.
- Documentación sobre Python: <https://www.python.org/doc>
- Gasca-Glez., M. (2002). *Cálculo Numérico I*. Univ. Nac. de Educ. a Distancia. Madrid.
- Gautschi, W. (2012). *Numerical analysis, 2nd. Edition*. Springer Science+Business Media.
- Howard, J. (2017). *Computational Methods for Numerical Analysis with R, CRC Press. Chapman and Hall*. Taylor & Francis Group.
- Kong, Q., Siaux, T., y Bayen, A. (2020). *Python Programming And Numerical Methods: A Guide For Engineers and Scientists*. Berkeley Python Numerical Methods.
- MacTutor History of Mathematics Archive - MacTutor History of Mathematics (st-andrews.ac.uk)
- Manual online de SymPy: <https://sympy.org/>
- Quesada-Molina, J. J. (1996). *Ecuaciones Diferenciales, Análisis Numérico y Métodos Matemáticos*. Edit. Santa Rita, Granada.
- Ramírez-Glez., V., Barrera-Rosillo, D., Pasadas-Fdez., M. Glez. Rodelas, P. (2001). *Cálculo Numérico con Mathematica*. Edit. Ariel, Barcelona.
- Wolfram MathWorld: The Web's Most Extensive Mathematics Resource (<http://mathworld.wolfram.com/>)

CAPÍTULO 11

UN PROYECTO PARA MEJORAR LA VISUALIZACIÓN ESPACIAL A TRAVÉS DE LAS TIC

ÉRIKA DIZ PITA Y GONZALO CASTIÑEIRA VEIGA

Universidad de Santiago de Compostela

INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de las matemáticas, especialmente de la geometría, presenta dificultades para el alumnado, que han sido abordadas en diversos estudios, proporcionando una visión integral de los problemas y sugerencias para mitigarlos (Carrillo, 2009; Vargas y Gamboa, 2013).

Una de las principales dificultades es la abstracción de los conceptos geométricos. Muchos estudiantes tienen problemas para visualizar y comprender las propiedades y relaciones espaciales de las figuras geométricas y las relaciones entre sus elementos (Andrade y Montecino, 2011). Este problema se ve incrementado si no se emplean herramientas manipulativas y tecnológicas que faciliten la visualización y manipulación de figuras tridimensionales. Diversos autores aseguran que no es posible la comprensión sin visualización (Duval, 1999) y avalan los resultados positivos del empleo de las herramientas mencionadas (Carbonneau, Marley, y Selig, 2013; Flores, Vasques, y González, 2021; Moral-Sánchez, Sánchez-Compañía, y Romero, 2023; Peña, 2010; Sowel, 1989).

En el contexto educativo actual, la integración de las TIC es en un pilar fundamental, como refleja el currículo de Matemáticas en educación secundaria, que de forma explícita incluye el empleo de herramientas y recursos informáticos (ver el Decreto 156/2022 de la Consellería de Educación, 2022).

En este capítulo se presenta una propuesta didáctica para enseñar geometría en segundo de ESO, empleando las TIC como elemento esencial, y complementándolas con elementos manipulativos. Esta propuesta busca facilitar la comprensión de conceptos geométricos y trabajar la percepción negativa de los estudiantes hacia las matemáticas. Al proporcionar una experiencia de aprendizaje más interactiva y concreta, se espera aumentar la motivación y el interés del alumnado. Se realizará una evaluación del impacto de la propuesta en la afectividad del alumnado hacia las matemáticas, mediante la realización de cuestionarios. Desde el trabajo inicial de McLeod (1992), cada vez más autores prestan atención a la afectividad, señalando que una actitud positiva hacia las matemáticas puede mejorar significativamente el rendimiento académico. Por lo tanto, medir cómo esta propuesta influye en la afectividad de los estudiantes es fundamental para evaluar su éxito y potencial replicabilidad en otros contextos educativos.

A continuación, se presenta la propuesta, la puesta en práctica en el aula, y se analizan los resultados obtenidos en las encuestas realizadas, incluyendo algunas conclusiones y reflexiones.

MÉTODO

Metodología

En el desarrollo de esta propuesta se pondrán en práctica diversas metodologías:

Uso de recursos TIC: Será el eje vertebral de esta propuesta, empleando el programa de diseño 3D Tinkercad.

Uso de materiales manipulativos: Se emplearán polícubos para la construcción y visualización de figuras tridimensionales.

Exposición oral: Se realizará una pequeña exposición oral de un trabajo realizado por el alumnado de forma individual, tratando de potenciar su capacidad de expresión y comunicación.

Destacamos que las sesiones tendrán un carácter interactivo, aunque se intercalarán explicaciones teóricas cuando sea necesario. Se trabajará tanto de forma individual como en grupo.

Objetivos

Con esta propuesta se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

Calcular razonadamente volúmenes de cuerpos geométricos tridimensionales.

Representar cuerpos geométricos tridimensionales mediante alzado, planta y perfil.

Utilizar programas informáticos para representar y diseñar cuerpos geométricos tridimensionales.

Reconocer figuras geométricas tridimensionales y sus características.

Relacionar la geometría con objetos y estructuras de la vida diaria.

Desarrollar estrategias para resolver problemas complejos, tomando la iniciativa y trabajando en equipo.

Secuencia de actividades

Sesión 1. Cuestionario inicial y repaso de las vistas diédricas

Para iniciar esta sesión el alumnado realizará un cuestionario para evaluar los efectos de la propuesta sobre su afectividad hacia las matemáticas. El cuestionario consta de 40 preguntas divididas en tres bloques, y se prevé un tiempo de realización de 15 minutos. Se realiza un seguimiento longitudinal de los cuestionarios, manteniendo el anonimato.

El resto de la sesión se dedicará a reforzar un conocimiento previo, la representación mediante vistas diédricas, que habrán trabajado en la materia Tecnología y Digitalización. Muchos estudios, desde el modelo de aprendizaje de Van Hiele (Van Hiele, 1955; 1986), destacan la importancia de trabajar la visualización como primer paso para entender la geometría.

Se irán presentando objetos sencillos y de forma conjunta entre la profesora y el alumnado se irán representando sus vistas en la pizarra, pidiendo la colaboración del alumnado.

Sesión 2. Construyendo con polícubos

Dividiremos al alumnado en 6 grupos elaborados por el docente de acuerdo con los criterios más favorables para un correcto desarrollo de la clase, prestando especial atención al alumnado con NEAE. La actividad constará de tres fases, donde cada grupo deberá:

Construir una figura con polícubos, que debe caber dentro de un cubo de dimensiones 3x3x3. Se dará un tiempo máximo de 10 minutos.

Recibir una de las figuras creada por otro grupo y dibujar sus vistas diédricas (planta, alzado y perfil) mediante un esbozo. La docente comprobará que las vistas son correctas, y en caso de haber errores, se lo indicará para que puedan corregirlos. Se dedicará a esta fase un máximo de 25 minutos.

Recibir las vistas dibujadas por otro, y tratar de recomponer la figura que representan. Se dedicará a esta fase un tiempo máximo de 15 minutos.

Finalmente comprobaremos si han conseguido reconstruir la figura inicial. Analizaremos las dificultades que nos hemos encontrado.

Sesión 3. Conociendo Tinkercad

En los primeros 15-20 minutos, el alumnado aprenderá a acceder a Tinkercad y a realizar las acciones básicas: conocer el entorno, crear figuras básicas, cambiar las dimensiones, el color, la posición (altura, rotación, simetrías y alineación), y recortar partes de una figura. Esta herramienta permite un adecuado trabajo de la geometría espacial (Carbonell y Rotger, 2023) y facilita la consecución de un aprendizaje significativo (Chiluisa-Chiluisa, Lucio, y Velásquez, 2022).

En la segunda parte fomentaremos el trabajo autónomo y trataremos de potenciar la creatividad. Les plantearemos un reto: construir una casa en Tinkercad utilizando las opciones aprendidas previamente. Les daremos algunas indicaciones, por ejemplo: crear la estructura de una casa, con al menos 2 espacios distintos; crear puertas y ventanas; mantener proporciones razonables y similares a una construcción real; añadir un tejado y crear un entorno real (jardín, calle...).

Sesiones 4, 5 y 6. Modelado 3D

Dividiremos al alumnado en 6 grupos y procederemos del siguiente modo:

A cada uno de los grupos le será asignada una ficha que contiene las vistas diédricas de tres piezas.

Deben reconstruir las piezas a partir de sus vistas. Una información importante para ayudar a determinar cómo es la pieza, es que, si juntamos las tres de un mismo grupo, deben encajar perfectamente formando un cubo. Esto favorecerá la cooperación entre los distintos miembros y hará que tengan que emplear el lenguaje para comunicarse y llegar a conclusiones, lo que será beneficioso dado el papel esencial que se ha atribuido al lenguaje (Blanco, Díaz, y Cajaraville, 2012).

Una vez que tengan claro cómo es la pieza, deben construir su modelo 3D en Tinkercad.

Si aparecen dificultades, iremos dándoles pistas, o sugiriéndoles distintos modos de proceder, por ejemplo, construir el volumen total e ir restando las partes que sobren.

En las sesiones 5 y 6 se continuará la tarea, incidiendo inicialmente en los errores que hayamos detectado en la sesión anterior.

Se utilizarán los diseños 3D para imprimir las piezas resultantes. Esto nos permitirá darle una utilidad práctica a la actividad, relacionándola con procesos que se llevan a cabo en la vida real para crear objetos que utilizamos en nuestra vida diaria.

Sesión 7. Cálculo de volúmenes

Plantaremos al alumnado el siguiente problema: vamos a imprimir las piezas en distintos colores o materiales y necesitamos saber qué cantidad de cada material necesitamos.

Deben calcular el volumen de cada una de las piezas diseñadas, descomponiéndolo en figuras cuyo volumen conocemos. Inicialmente trabajarán con referentes, empleando como unidad de medida los pequeños cubos que forman la pieza. A continuación, fijando una medida del lado de esos cubos, se trabajará en el sistema internacional, siguiendo así las fases del aprendizaje de la medida establecidas en la literatura (Del Olmo, Gil, y Moreno, 1989).

Deben comprobar que el resultado es correcto teniendo en cuenta que, juntando las tres piezas de cada figura, el resultado debe corresponderse con el volumen del cubo.

Sesión 8. La geometría a nuestro alrededor

Se plantea esta última actividad para relacionar con el mundo real distintos conceptos geométricos. La literatura señala que las metodologías tradicionales presentaban la geometría como algo alejado de la realidad (Gamboa y Ballester, 2010), por lo que es importante introducir actividades que faciliten esta conexión de los contenidos geométricos con el entorno del alumnado.

Las instrucciones para realizar esta actividad habrán sido dadas previamente al alumnado.

Se les pedirá que realicen fotografías de objetos, estructuras, o cualquier cosa de su alrededor, en las que observen figuras geométricas de las que se han trabajado en clase. Se indicarán los siguientes requisitos: realizar un mínimo de 5 fotografías; identificar tanto figuras planas como tridimensionales; buscar, al menos: un polígono regular, un prisma y una figura relacionada con el número pi.

Como resultado de esta actividad, el alumnado debe presentar las fotografías realizadas, en formato digital, a través del campus virtual, e identificando las figuras. Además, realizarán una presentación oral, de aproximadamente dos minutos, en la que deben contar qué figuras geométricas han identificado, y dónde las han encontrado.

Al finalizar esta sesión, se volverá a pasar al alumnado el cuestionario, cuyos resultados nos permitirán valorar la eficacia de la propuesta.

Evaluación

Para la evaluación se emplearán distintos instrumentos y se contará con rúbricas diseñadas específicamente para cada actividad.

Introducción a Tinkercad: 15%

Se valorará la hoja de Tinkercad elaborada individualmente en la sesión 2, atendiendo a la construcción de figuras básicas, de diferentes tamaños y colores, creadas mediante la eliminación de algunas partes, y que se hayan girado y alineado. Se valorará también la actividad de diseño libre, dando valor a la creatividad y coherencia de lo realizado.

Modelado 3D: 35%

Se hará una valoración grupal de la hoja de Tinkercad de cada grupo. Se valorará que hayan sido capaces de comprender las vistas proporcionadas y de construir el volumen en Tinkercad. Se valorará un correcto uso de las proporciones.

Cálculo de volúmenes: 15%

En la sesión 4 entregarán una hoja individual donde se detallarán los procedimientos y cálculos realizados para obtener el volumen de cada pieza, así como la comprobación del resultado empleando los datos obtenidos por los demás. Se valorará el razonamiento, la descomposición en volúmenes, un resultado final correcto, y que se razone la validez del resultado.

La geometría a nuestro alrededor: 35%

Se valorará la exposición realizada en el aula durante la sesión 5. Se prestará atención tanto al contenido (identificación de figuras y formas geométricas), como a la forma de expresarse y explicar oralmente.

RESULTADOS

Puesta en práctica y resultados

Puesta en práctica

En la puesta en práctica se comenzó por la sesión de los policubos. Las carencias del alumnado en cuanto a la comprensión de las vistas diédricas hicieron que se considerase imprescindible incluir una sesión previa de repaso.

En la fase inicial de construcción con policubos no se apreciaron problemas. A medida que iban terminando, pasaban su figura al grupo correspondiente. En la propuesta actual proponemos que las figuras no se intercambien hasta que todos los grupos hayan terminado, pues generaba cierta desorganización.

Una vez recibida la figura, procedieron a dibujar sus vistas diédricas (planta, alzado y perfil). Aquí se observaban claras diferencias entre los grupos, pues algunos avanzaban sin dificultad, mientras que otros no sabían cómo empezar. Con la sesión de repaso incluida en la propuesta, creemos que estas diferencias disminuirán. Algunos grupos que iban terminando pasaban sus bocetos al grupo siguiente. Es importante que esto no ocurra sin la supervisión de la profesora, pues debe revisarse que las vistas son correctas, pues de lo contrario se imposibilitaría la realización de la tercera fase de la actividad, tal y como ocurrió con algunos de los grupos.

Una vez que cada grupo recibió las vistas dibujadas por sus compañeros, trataron de recomponer la figura a partir de ellas. La principal dificultad fue que algunas de las vistas recibidas tenían errores importantes, lo que no permitía reconstruir la figura. Finalmente, uno de los seis grupos logró reconstruir la figura inicial.

Las dificultades principales aparecían en el dibujo de las vistas a partir de la figura. Los grupos que recibían las vistas identificaban que no era posible reconstruir lo que estaba dibujado, y que debía haber errores. Muchos grupos mostraban una tendencia a añadir líneas ocultas que no tenían sentido. Con la revisión previa del

profesorado antes de pasar de la fase 2 a la 3, creemos que el desarrollo de la actividad mejorará notablemente.

En la siguiente sesión, introdujimos al alumnado en el uso de Tinkercad. Inicialmente aprendieron a acceder y a realizar las acciones básicas sin dificultad. En la segunda parte se les propuso que trataran de construir una casa, mostrándoles un ejemplo, pero aclarando que no hay una única forma de hacerlo bien. Se dieron las instrucciones detalladas en la descripción de la propuesta. El resultado de esta parte de la sesión fue peor, pues, aunque algunos alumnos si llegan a cumplir algunos de los requisitos propuestos, la mayoría no. En la Figura 1 pueden verse los resultados, donde se muestra como el alumnado priorizó la parte de construir el exterior de la casa y añadirle un tejado, a hacer el diseño de las estancias. También algunos de los alumnos priorizaban el incluir elementos predefinidos en Tinkercad, como árboles o personas, cuando ese no era el objetivo principal de la tarea.

Figura 1. Resultados de la actividad desarrollada con Tinkercad en la sesión 2

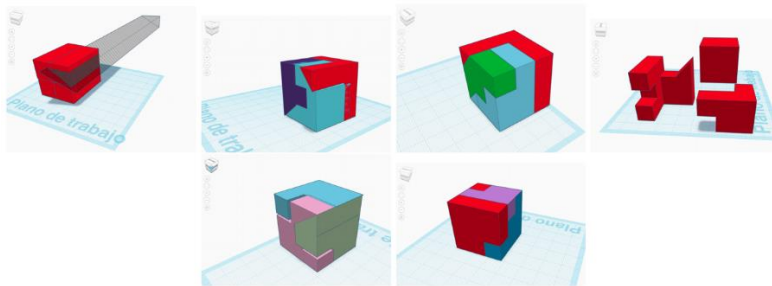


Dispusieron para esta parte de algo más de 20 minutos, y al ver que muchas de las propuestas parecen inacabadas, se ha modificado la planificación temporal. Con este trabajo más independiente, comprobamos que había problemas de comprensión de algunas funciones, como recortar partes de una figura. Se tuvieron en cuenta los aspectos que parecen mostrar más dificultades, para repasarlos en el inicio de la sesión siguiente.

En la tercera sesión iniciamos la actividad de diseño 3D. Dividimos al alumnado en 6 grupos, observando que trabajan a ritmos muy diferentes. Al terminar la sesión

los trabajos estaban en un estado muy poco avanzado, por lo que creímos necesario dedicar una sesión más a este proyecto, la cual iniciamos incidiendo en los errores más comunes, como alineaciones incorrectas de distintas piezas al unirlos, o errores en las proporciones de las distintas partes de la figura. Se detecta que el alumnado tiene dificultades, pero está interesado en el proyecto y tienen interés en llevarlo a cabo, realizan constantemente preguntas y piden ayuda. Esto concuerda con las conclusiones más frecuentes en la literatura que aseguran que el empleo de herramientas TIC favorecen la motivación del alumnado (Peña, 2010), y la combinación con actividades colaborativas produce una mayor interacción y participación en los trabajos (Cabero, 1999; García y Romero, 2009; Kennedy, Odell, y Klett, 2001). Se incluyen los resultados obtenidos por cada grupo en la Figura 2.

Figura 2. Resultado final de la actividad de diseño 3D en Tinkercad



La sesión de cálculo de volúmenes no fue puesta en práctica dada la limitación de tiempo. En la última sesión se llevó a cabo la actividad sobre geometría a nuestro alrededor. De los 21 alumnos y alumnas, 10 tenían las fotos entregadas en el día de realización de la actividad. Todos ellos fueron explicando las figuras presentadas, y se observaron algunos errores comunes, como la dificultad para distinguir entre figuras planas y tridimensionales (confusión de prisma rectangular y rectángulo, por ejemplo) o la no distinción entre rombo y cuadrado, haciendo referencia simplemente a la posición, y no a sus propiedades, lo cual es un error muy común entre el alumnado (Gutiérrez, 2006).

RESULTADOS

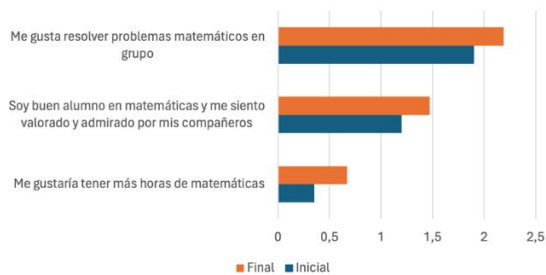
En el diseño de las encuestas se han empleado preguntas extraídas del cuestionario validado desarrollado por Alemany y Lara (2010). Se han seleccionado preguntas de los tres bloques: afectivo, cognitivo y conductual.

El cuestionario final fue cubierto por 20 alumnos y alumnas. Cada una de las preguntas debía ser respondida con una puntuación entre 0 y 3, empleando una escala Likert.

El bloque en el que se ha conseguido una mayor variación en positivo es el afectivo. Los ítems con mayor incremento de las puntuaciones son los que se recogen en la Figura 3. El trabajo en grupo puede haber sido importante, al hacer las sesiones menos desagradables y aburridas, y mejorar la relación con los compañeros. Además, el hecho de dedicar las sesiones a actividades interactivas y manipulativas puede haber sido clave para aumentar el interés del alumnado en tener más horas de esta materia.

Figura 3. Preguntas del bloque afectivo con un mayor incremento en las puntuaciones

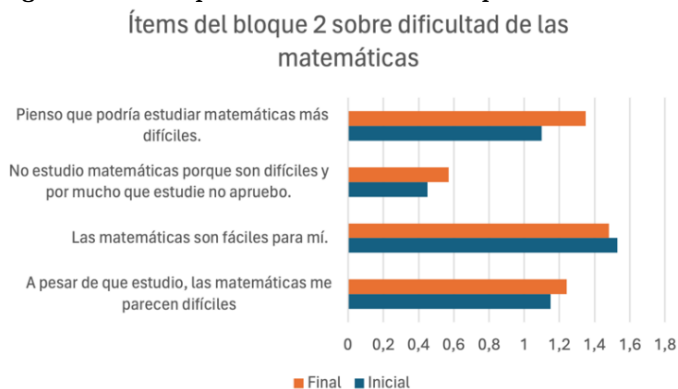
Items con mayor variación positiva en el bloque 1



En el bloque 2, aunque no se aprecian tantos cambios, nos gustaría destacar los siguientes: en la afirmación Las matemáticas sirven para aprender a pensar, la puntuación media pasa de un 2.25 a un 2.52, siendo el ítem que más variación sufre del bloque, a pesar de partir de una puntuación muy alta. Este cambio apoya la hipótesis de que el tipo de actividades propuestas, especialmente el uso de las TIC aumenta la capacidad de pensar y el sentido crítico del alumnado.

Destacamos también la tendencia general a considerar las matemáticas como algo difícil. En la Figura 4 pueden verse las puntuaciones relativas a distintos ítems relacionados con esta idea. Ante esta tendencia a considerar las matemáticas como algo difícil, no parece haber una actitud o respuesta única, mostrando que tal vez la dificultad apreciada desmotive a una parte del alumnado, mientras que otros, pese a considerar las matemáticas como algo difícil, se ven capacitados y motivados para comprenderlas.

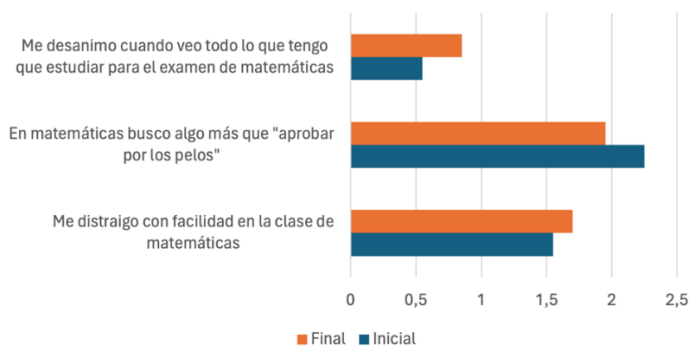
Figura 4. Preguntas del bloque 2 sobre la dificultad percibida de las matemáticas



En el bloque conductual la puntuación media empeora muy ligeramente, al mejorar unos ítems y empeorar otros. Entre estos últimos destacamos los recogidos en la Figura 5. Uno de los ítems muestra que el alumnado manifiesta distraerse con más facilidad en las clases de matemáticas. Sin embargo, esto contrasta con el resultado asociado al ítem Me preocupó mucho por seguir las indicaciones del profesor, en el que la puntuación media pasa de 2.05 a 2.25, y con el ítem Durante las explicaciones de clase mantengo la atención sin que me distraigan otros asuntos, en el que la puntuación se mantiene sin cambios en 1.65. Analizado en conjunto, parece indicar que el alumnado muestra interés en atender a las tareas y explicaciones, pero tal vez por la falta de adaptación al tipo de actividades, les cueste más mantener la atención en las partes en las que, tras las explicaciones, deben trabajar de forma autónoma.

Figura 5. Preguntas del bloque conductual en las que empeoran los resultados

Algunos ítems que empeoran en el bloque 3

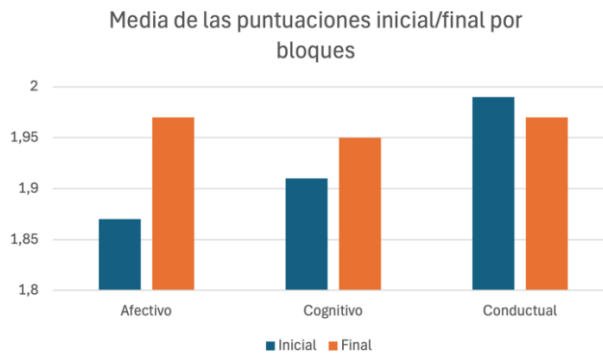


Entre las preguntas que más empeoran, dos hacen referencia explícita a la evaluación. Consideramos que los resultados en estos ítems no son significativos, ya que en la puesta en práctica no se pudo llevar a cabo la evaluación.

Si analizamos los datos por bloques, en el cuestionario inicial, las preguntas del bloque afectivo tuvieron una puntuación media de 1.87, las del bloque cognitivo de 1.91 y las del bloque conductual de 1.99. En el cuestionario final estas puntuaciones medias subieron en el primer bloque, alcanzando un 1.97, subieron muy ligeramente en el segundo bloque, obteniéndose un 1.95 y bajaron de forma todavía menos significativa en el tercer bloque, con un 1.97 de media.

En la Figura 6 podemos observar la media global de los bloques. Se ha conseguido una pequeña mejoría tanto en el afectivo como en el cognitivo, pero no en el conductual. En este, hemos valorado recalcular las medias de puntuación eliminando dos preguntas que hacen referencia explícita al examen, por ser, como se ha comentado, las que más empeoran y menos se relacionan con la puesta en práctica. Se obtiene en este caso que la puntuación media inicial del bloque conductual es de 1.93 y la puntuación media final es de 1.94, manteniéndose en este caso la tendencia de ligera mejora de los otros bloques.

Figura 6. Media de las puntuaciones por bloques en las encuestas inicial y final



El bloque relacionado con la afectividad sufre una leve mejoría, es decir, el alumnado tiene una mejor percepción de las matemáticas después de la propuesta y se siente más validado tanto por sus compañeros como por su profesora. En el bloque cognitivo también se observa este pequeño cambio, lo que puede significar que el alumnado, a pesar de encontrar obstáculos y dificultades en el trabajo con las matemáticas, las valora y muestra su interés por nuevos retos y problemas.

Creemos que en global podemos observar una leve mejoría en el dominio afectivo del alumnado hacia las matemáticas, que puede indicar que la propuesta está bien encaminada, aunque su brevedad y las limitaciones de tiempo no hayan permitido observar cambios más significativos.

CONCLUSIÓN

En este capítulo se ha presentado una propuesta didáctica para el aprendizaje de geometría en segundo de la ESO, utilizando recursos TIC y manipulativos.

Se ha constatado que el alumnado presenta dificultades importantes en la visualización de figuras tridimensionales y en su representación mediante vistas diédricas. Este obstáculo común puede afectar negativamente a su comprensión y rendimiento en geometría, destacando la necesidad de implementar estrategias educativas que aborden estos problemas (Duval, 1999).

Se ha observado que el alumnado muestra un alto nivel de motivación y participación cuando se les presentan actividades que incorporan el uso de TIC o recursos manipulativos. Este incremento en la motivación sugiere que los estudiantes encuentran estas herramientas más atractivas y accesibles, lo que facilita su implicación activa en el proceso de aprendizaje (Peña, 2010). Además, el trabajo en grupo parece jugar un papel importante en captar su interés y fomentar una actitud positiva y colaborativa hacia el aprendizaje.

Además, la propuesta ha demostrado que la implementación de actividades diseñadas para facilitar la visualización y promover el aprendizaje significativo tiene un impacto positivo en la afectividad del alumnado hacia las matemáticas. Al ofrecer experiencias de aprendizaje más comprensibles y conectadas con la realidad, los estudiantes desarrollan una percepción más favorable y una mayor confianza en sus habilidades matemáticas, lo que repercute positivamente en su disposición a enfrentarse a nuevos retos matemáticos, pese a que siguen manifestando que los problemas a los que se enfrentan les resultan difíciles.

En resumen, la integración de recursos TIC y manipulativos ayuda a superar las dificultades relacionadas con la visualización y representación de figuras tridimensionales, y también mejora la motivación y afectividad del alumnado hacia las matemáticas. Por tanto, aunque la propuesta ha supuesto una intervención muy breve, podemos decir que ha logrado los objetivos propuestos, al haber trabajado la percepción negativa que muchos estudiantes tienen hacia las matemáticas, al mismo tiempo que pusimos el foco en mejorar la visualización como elemento clave para la comprensión de los conceptos geométricos. Además, hemos proporcionado al alumnado una experiencia de aprendizaje más interactiva, que ha conseguido un ligero aumento en su motivación e interés.

Estas consideraciones nos hacen insistir en la importancia de adoptar metodologías innovadoras y centradas en el estudiante, para enriquecer el proceso educativo y promover un aprendizaje más profundo y significativo.

De cara al futuro, podría realizarse esta propuesta con una muestra más grande para comprobar el efecto en la afectividad del alumnado. Además, esta propuesta

puede fácilmente adaptarse a la realización de proyectos interdisciplinares o STEAM, que pueden resultar muy enriquecedores para el alumnado.

REFERENCIAS

Aleman, I. y Lara, A.I. (2010). Las actitudes hacia las matemáticas en el alumnado de ESO: Un instrumento para su medición. *Publicaciones*, 40, 49–71.

Andrade, M. y Montecino, A. (2011). La problemática de la tridimensionalidad y su representación en el plano. En *XIII Conferencia Interamericana de Educación Matemática*.

Blanco, T.F., Díaz, J., y Cajaraville, J.A. (2012). Razonamiento geométrico y visualización espacial desde el punto de vista ontosemiótico. *Bolema*, 26(42A).

Cabero, J. (1999). Definición y clasificación de los medios y materiales de enseñanza. En 35–51.

Carbonell, C. y Rotger, L. (2023). Tinkercad como herramienta tecnológica para la enseñanza-aprendizaje de la geometría espacial. En A. Díez (Ed.), *Propuestas de innovación para el desarrollo en contextos educativos* (pp. 45–58).

Carbonneau, K., Marley, S., y Selig, J. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 380–400. doi: 10.1037/a0031084

Carrillo, B. (2009). Dificultades en el aprendizaje matemático. *Innovación y experiencias educativas*, 16.

Chiluisa-Chiluisa, M.A., Lucio, Y.J., y Velásquez, F.R. (2022). Tinkercad como herramienta estratégica en el proceso de aprendizaje significativo. *Horizontes, Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 6(25), 1759–1767.

Decreto 156/2022, de 15 de septiembre, por el que se establecen la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad Autónoma de Galicia.

Del Olmo, M.A., Gil, F., y Moreno, M.F. (1989). *Superficie y volumen*. Síntesis.

Duval, R. (1999). Representation, vision and visualization: Cognitive functions in mathematical thinking. En F. Hitt y M. Santos (Eds.), *Proceedings of the 21st Annual Meeting North American Chapter of the International Group of PME* (pp. 3–26).

Flores, F., Vasques, C.R., y González, F.A. (2021). El uso de las TIC en la enseñanza de conceptos geométricos en la educación básica. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23).

Gamboa, R. y Ballester, E. (2010). La enseñanza y aprendizaje de la geometría en secundaria: La perspectiva de los estudiantes. *Revista Electrónica Educare*, 14(2), 125–142.

García, M.M. y Romero, I.M. (2009). Influencia de las nuevas tecnologías en la evolución del aprendizaje y las actitudes matemáticas de estudiantes de secundaria. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 7(1), 369–396.

Gutiérrez, A. (2006). La investigación sobre enseñanza y aprendizaje de la geometría. En P. Flores, F. Ruiz, y M.D. La Fuente (Eds.), *Geometría para el siglo XXI* (pp. 13–58). Badajoz, España: Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas y Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales.

Kennedy, T.J., Odell, M.R.L., y Klett, M.D. (2001). Internet en las escuelas de Estados Unidos: Una perspectiva desde el programa Globe. En *I Congreso Nacional de Educared* (pp. 18-20). Madrid.

McLeod, D.B. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualization. En D. A. Grows (Ed.), *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning* (pp. 575–596). Macmillan Publishing Company.

Moral-Sánchez, S.N., Sánchez-Compañía, M.T., y Romero, I. (2023). Uso de realidad virtual en geometría para el desarrollo de habilidades espaciales. *Enseñanza de las ciencias*, 41(1), 125–147.

Peña, A. (2010). *Enseñanza de la geometría con TIC en la Educación Secundaria Obligatoria* (Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED). Recuperado de <https://e-spacio.uned.es/entities/publication/2fdc802b-55dd-4e94-a6e3-142e0af89304>

Sowel, E. (1989). Effects of manipulative materials in mathematics instruction. *Journal for Research in Mathematics Education*, 20(5), 498–505.

Van-Hiele, P. (1955). De niveau's in het denken, welke van belang zijn bij het onderwijs in de meetkunde in de eerste klasse van het. *Paedagogische Stüdien*, 32, 289–297.

Van-Hiele, P. (1986). *Structure and insight: A theory of mathematics education*. Academic Press.

Vargas, G. y Gamboa, R. (2013). El modelo de Van Hiele y la enseñanza de la geometría. *Uniciencia*, 27(1), 74–94.

CAPÍTULO 12

ESTRATEGIAS GRÁFICAS DE APROXIMACIÓN AL DIBUJO DE LA CIUDAD A TRAVÉS DE ESTUDIOS DE SOLEAMIENTO

JUAN UTIEL GONZÁLEZ y ROCÍO CARVAJAL ALCAIDE
Universidad CEU San Pablo

INTRODUCCIÓN

Este proyecto de innovación docente se ha llevado a cabo con la participación de alumnos y profesores de primer curso del Grado en Arquitectura de la Universidad San Pablo CEU de Madrid, involucrando diferentes asignaturas gráficas en la búsqueda, a través de la transversalidad, de la motivación y el compromiso de un alumnado que se inicia en la disciplina del dibujo. Se ha considerado que un acercamiento multidisciplinar, desde lo artístico-perceptivo a lo técnico, y centrado en modelos reales y fácilmente reconocibles puede mejorar la predisposición del alumno a la hora de enfrentarse a materias cuyos resultados y métodos de aprendizaje son novedosos para la mayoría de ellos.

Esta iniciativa responde al “Modelo educativo CEU” de innovación docente y pretende compartir un mismo modelo de estudio las asignaturas de Análisis de Formas II y Geometría Descriptiva II que recoja y complemente los objetivos de aprendizaje de ambas.

MÉTODO

La característica más significativa de la metodología propuesta es su enfoque poliédrico y multidisciplinar. Se trata de combinar miradas, percepciones y técnicas de representación de una misma realidad fácilmente reconocible por el alumno. El entorno de aprendizaje va variando, pasando del aula teórica al aula de dibujo y de allí a un espacio urbano significativo, para luego volver a las aulas. Se comienza por el trabajo en el aula manejando modelos sencillos, autoconstruidos por profesores y alumnos, para luego trabajar en la ciudad, un entorno conocido y de interés, en lo que supone la iniciación del alumno en el dibujo urbano del natural. La fase conclusiva del trabajo vuelve a llevarse a cabo en las aulas.

El vehículo para realizar este viaje será el dibujo de la luz y la sombra, desde diferentes enfoques, utilizando distintas herramientas y combinando dinámicas individuales y de trabajo en grupo. Se trata, en el fondo, de una reivindicación de la importancia del dibujo, tanto a mano como utilizando tecnologías diversas, en la enseñanza de la arquitectura. En esta misma línea podemos encontrar, entre otras, las

aportaciones realizadas por los profesores Álvaro-Tordesillas y Montes en la Universidad de Valladolid (Álvaro-Tordesillas y Montes, 2013).

Para una mejor comprensión de la experiencia la hemos estructurado en diferentes etapas, que serían las siguientes:

ETAPA 0: Marco teórico: el dibujo, la luz y la sombra.

La que se ha denominado etapa 0 está constituida por las explicaciones llevadas a cabo en las aulas en el marco de las asignaturas de Análisis de Formas y Geometría Descriptiva con objeto de proporcionar a los alumnos los fundamentos teóricos en ambas materias, centrandó el interés en el manejo de los distintos sistemas de representación (axonometría, lineal y diédrico), el dibujo a mano y ordenador y el manejo de diferentes técnicas gráficas en la búsqueda de la valoración de la luz y de la sombra (carboncillo, pastel, gouache, etc) que serán fundamentales para el estudio de las sombras y el soleamiento en los modelos objeto de estudio.

ETAPA 1: Construcción de un modelo real en el aula y primeros acercamientos gráficos.

Los profesores de ambas asignaturas, ayudados por alumnos, configuraron un modelo tridimensional en el aula de dibujo utilizando andamiajes metálicos y tableros de madera y prestando especial interés en la riqueza volumétrica y en el juego de luces y sombras generados por los diferentes elementos. Así mismo, combinando los focos existentes se decidió la iluminación artificial más interesante para el estudio de las sombras con el modelo generado y su adecuación a una representación direccional de la luz.

Posteriormente, y en el marco de la asignatura de Análisis de Formas II, los alumnos hicieron una toma de datos a mano alzada en sistema diédrico, con plantas y alzados coordinados, y realizaron bocetos expresivos desde distintos puntos de vista, así como y perspectivas cónicas con valoración tonal.

ETAPA 2: Escaneado 3D / Generación de nube de puntos y enunciado.

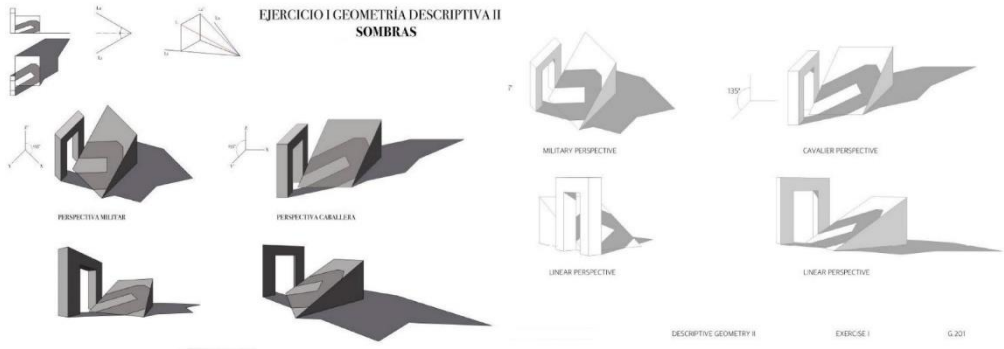
Posteriormente, y ya en ámbito de la asignatura Geometría Descriptiva II, se modelizó la clase de dibujo con un scanner 3D para generar el enunciado. El enunciado deja de ser un planteamiento teórico para pasar a ser un documento generado a partir de la experimentación de los propios alumnos y profesores en el aula de Análisis.

El enunciado se genera a partir del modelado con el programa Rhinoceros 3D del modelo configurado en el aula a partir de la toma de datos realizada. Con el fin de comprobar la documentación que se iba a facilitar a los alumnos para el desarrollo del trabajo, se compararon las medidas del modelo generado con la nube de puntos extraída a partir de 3 estacionamientos con el escáner Leica BLK 360. El programa utilizado para el procesado de datos, gestión y análisis de la nube fue Cyclone 3DR, también de Leica, que permite la clasificación y la selección de la parte del modelo necesario para el estudio. La visualización de la imagen esférica se obtiene gracias al

programa Recap de Autodesk, que ofrece distintos tipos de visualización de la misma nube de puntos.

El resultado es un sencillo enunciado en sistema diédrico con una dirección de luz concreta para el estudio teórico de las sombras en el modelo.

Figura 1. Imágenes del modelo construido en el aula, del escaneado 3D y del modelado en Rhinoceros 3D



ETAPA 3: Elaboración de una documentación gráfica precisa 2D y 3D / Incorporación del dibujo asistido por ordenador.

Si bien los alumnos comenzaron la toma de contacto con el ejercicio en Geometría Descriptiva II realizando a mano dibujos de carácter técnico en sistema diédrico y axonométrico, rápidamente, pasaron a trabajar en ordenador diferentes vistas obtenidas a partir del modelado 3D en el programa Rhinoceros 3D, reforzando la idea de que la combinación de los diferentes sistemas de representación y las distintas herramientas de dibujo a su alcance era la mejor estrategia para generar una documentación gráfica solvente y rigurosa que resolviera los requerimientos planteados.

El objetivo de esta etapa era conseguir una respuesta gráfica completa e intencionada que, combinara dibujos de distinta naturaleza, pero complementarios entre sí: dibujos de percepción, de definición y de conocimiento que, de manera clara e intencionada, reflejaran el juego de luces y sombras bajo la dirección de luz planteada en el modelo objeto de estudio.

Figura 2. Ejercicios de sombras realizados por los alumnos utilizando el programa Rhinoceros 3D con el modelo construido en el aula



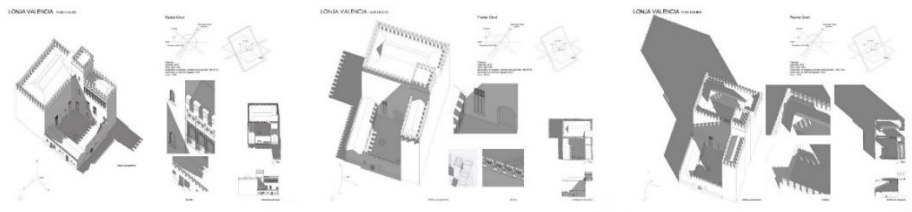
ETAPA 4: La ciudad: un nuevo entorno de aprendizaje.

Posteriormente se abandonó la “protección” que proporciona el aula y se planteó el estudio y representación de las sombras sobre un escenario urbano real, aprovechando las estrategias y conocimientos adquiridos en las primeras etapas. Con este motivo se organizó un viaje de estudios a la ciudad de Valencia, que sirvió de marco para la experiencia.

Un viaje de estudios de este tipo, con cerca del centenar de alumnos de primer curso, ofrece, más allá de los inevitables problemas logísticos que conlleva, una oportunidad de primer nivel para extender el aprendizaje más allá de las aulas y fomentar sinergias de trabajo, además de, por supuesto, fortalecer los vínculos de relación entre los participantes mejorando la implicación y el compromiso de los participantes en la experiencia.

Sin renunciar a la inmersión en temas tan interesantes para los alumnos como el origen y desarrollo de la ciudad de Valencia, de la mano de “guías” de primer nivel como Arturo Zaragoza, Académico de la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos, o Rafael Marín Profesor titular de Historia de la Construcción en la Universidad Politécnica de Valencia con los que realizamos unos interesantísimos recorridos urbanos, centramos nuestro interés en la plaza desde la que se accede al edificio de la Lonja de la Seda. La impresionante construcción gótica del siglo XV fue el marco de un intenso trabajo de campo realizado por los alumnos que desarrollaron en varias sesiones, de forma que pudieran plasmar a lo largo del día las variaciones que la luz solar producía en las sombras de sus fachadas. Los primeros acercamientos gráficos para apropiarse del modelo fueron apuntes expresivos para, posteriormente, dar el salto a tomas de datos parciales en sistema diédrico donde representaron aquellos detalles que posteriormente necesitarían modelar. Esta primera fase del trabajo es individual y cada uno de los alumnos genera un cuaderno de campo con su toma de datos.

Figura 3. Diversas imágenes de los alumnos realizando el trabajo de campo en la Lonja de Valencia



ETAPA 5: Trabajo conclusivo por grupos.

De vuelta a las aulas se completa la formación teórica del alumnado con las explicaciones del tema de soleamiento. Al igual que en el caso de los modelos, donde se pasaba de una maqueta a un entorno urbano real, pasamos de una luz teórica, con la que los alumnos trabajaron inicialmente, a una luz real, en un lugar concreto como es el edificio de la Lonja en Valencia y en una fecha exacta del año. El estudio del soleamiento permitió poner en valor la importancia de la elección de la orientación del edificio y la correcta adecuación del proyecto arquitectónico a su localización geográfica.

Para esta fase del trabajo se organizó a los alumnos por grupos, tratando de conformar equipos diversos, compensados y enriquecedores para todos. Cada grupo debía estudiar las sombras producidas en el edificio en una fecha diferente y en tres momentos del día.

En este punto, a partir de la información facilitada por los profesores, de la documentación gráfica recogida in situ en Valencia por los alumnos individualmente y la información adicional que hubieran podido recabar por sus propios medios, los alumnos tuvieron que realizar un estudio de soleamiento en el edificio. El trabajo se desarrolló de forma tanto de forma autónoma por parte de los alumnos como en forma de trabajo de taller en el aula.

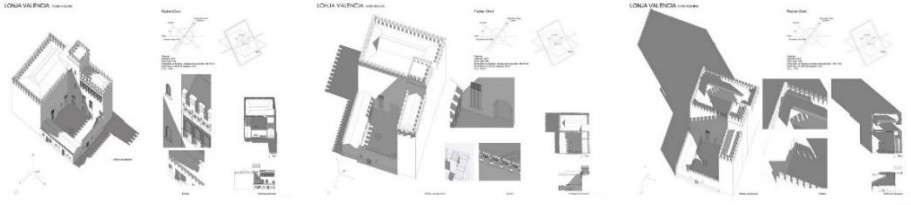
El primer paso para poder realizar el estudio de sombras planteado era la generación, por grupos, de un modelo virtual del edificio, utilizando el programa Rhinoceros 3D.

Posteriormente los alumnos debían construir una Carta de Fischer en tres dimensiones para las horas indicadas en los días señalados según grupos. Los alumnos debían trabajar con el dato de la latitud de Valencia, la declinación solar en la fecha que les había tocado y, a partir de esto datos, determinar las direcciones de la luz exactas para cada momento con el fin de obtener las sombras en planta, alzado y axonometrías en el edificio.

El fruto del trabajo debía ser una documentación conjunta, elaborada cooperativamente entre los distintos componentes del grupo y una breve reflexión

personal, de carácter individual, sobre el contenido del trabajo y las conclusiones extraídas por parte de cada uno de los alumnos.

Figura 4. Ejercicios de soleamiento en el edificio de la Lonja de Valencia realizados por los alumnos en grupo y utilizando el programa Rhinoceros 3D



RESULTADOS

El objetivo principal de este proyecto de innovación docente, de marcado carácter transversal e interdisciplinar, era que los alumnos durante la actividad, que se extendió durante el segundo semestre del primer curso de Arquitectura, desarrollaran sus capacidades para la representación gráfica del espacio en cualquiera de los sistemas de representación arquitectónicos.

Los alumnos debían descubrir la estructura constructiva de la forma y el espacio a través de los análisis perspectivas y entender la importancia de la luz como modeladora de la arquitectura utilizando como instrumentos de análisis la geometría y el dibujo.

Así mismo la experiencia debía servir para concienciar al alumno de la importancia de afrontar enfoques diversos a un mismo problema para dar con la mejor solución, combinando herramientas, técnicas y conocimientos diversos con un mismo objetivo y fomentar el aprendizaje transversal entre diferentes asignaturas gráficas, potenciando la capacidad de percepción, análisis y síntesis. En esta misma línea se centró el interés en plantear un desarrollo del trabajo muy dinámico, combinando estrategias de trabajo individuales y en grupo y modificando el objeto de estudio y los entornos de aprendizaje.

Otros objetivos menores, aunque nada desdeñables, eran intentar reducir la carga de trabajo, aunque no el aprendizaje, de los alumnos, frenando posibles abandonos al conectar ambas asignaturas y fomentar los nexos de relación entre el alumnado en la idea de fortalecer la implicación en los trabajos y la implicación en sus estudios, algo fundamental en los alumnos de primer curso.

DISCUSIÓN / CONCLUSIONES

Del estudio de los resultados obtenidos se pueden extraer algunas conclusiones.

En primer lugar, la importancia del dominio del dibujo a mano alzada y de croquización para controlar formalmente un espacio. En un primer estadio a través de dibujos perceptivos, tanto en el cuaderno de campo donde los alumnos realizan sus apuntes urbanos como utilizando el gran formato y utilizando diversas técnicas. Dibujos rápidos y ágiles, “rasguños” como denominaba Rafael Moneo (Moneo, R. 2017) a este tipo de apuntes rápidos, de gran importancia para la aprehensión de los espacios y, posteriormente, según se avanza en la formación del arquitecto en la creación de éstos: “La urgencia de hacer que no se pierdan las ideas reclama el uso de un medio de representación inmediato: el dibujo». Estos dibujos rápidos dan lugar, en una fase posterior del proceso de aprendizaje, a una revisión de este material gráfico generado con el fin de conseguir dibujos más elaborados, de carácter más abstracto, de planta y alzado o incluso axonómétricos, dibujos de carácter conclusivo con los que poder trabajar en etapas posteriores.

En segundo lugar, la pertinencia de plantear proyectos de aprendizaje de carácter transversal anclados a modelos reales y reconocibles por el alumnado como una estrategia de gran eficacia entre alumnos de primer curso en arquitectura. Trabajar sobre modelos tangibles, desde modelos básicos autoconstruidos a entornos urbanos reconocibles, sitúa en un contexto cercano y concreto el aprendizaje de las asignaturas gráficas y mejora su percepción por parte de los alumnos.

En tercer lugar, nos gustaría destacar que con los alumnos de primeros cursos que actualmente acceden a la universidad, con una cierta tendencia a la inmediatez y a la dispersión, resulta francamente interesante el planteamiento de dinámicas de aprendizaje no lineales, combinando trabajos individuales y de grupo y, siempre que sea posible, variando los modelos objeto de estudio y los entornos de aprendizaje. Por otro lado, y dado el carácter generalista y un tanto teórico de la formación en los primeros cursos de arquitectura resulta muy interesante el trabajo en entornos urbanos reconocibles de tal manera que se explicita para el alumno la aplicación directa de las materias impartidas en las aulas en el oficio de arquitecto.

En cuarto lugar, y por último, remarcar la importancia del aprendizaje de técnicas gráficas diversas y complementarias, tanto de dibujo a mano como de dibujo asistido por ordenador, que permitan enfoques y acercamientos diferentes a la realidad a representar. Reflejar la realidad con dibujos sobre el papel, en dos dimensiones, pasar de dibujos perceptivos a dibujos construidos, con exactitud dimensional y rigor formal y volcar los resultados obtenidos en la generación de un modelo tridimensional virtual para luego representarlo de nuevo en cualquiera de los sistemas de representación existentes: diédrico, axonométrico, cónico... para generar, por tanto, una documentación gráfica completa e intencionada de la realidad. Un viaje

de ida y vuelta entre la realidad y su representación que, sin duda, mejorará la visión espacial de los alumnos y su capacidad gráfica a la hora de representar un modelo, un proyecto o la realidad que les rodea.

REFERENCIAS

Álvaro, A. y Montes, C. (2013) El dibujo en la enseñanza de arquitectura: El boceto manual y el modelo fotogramétrico. *Congreso DUT: Drawing in the University Today*. International Meeting on Drawing, Image and Research. May 31.

Arévalo, F., Gámiz-Gordo, A., y Ruiz, L. (2014) “Aprendiendo de los urban sketchers. El tiempo en el dibujo. *“El dibujo de viaje de los arquitectos: 15 Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Las Palmas de Gran Canaria, del 22 al 23 de mayo de 2014 , Pág. 87-94

Boudon, P. (1993) *El dibujo en la concepción arquitectónica: manual de representación gráfica*. Ed. Limusa, México.

Font, J., Crespo, I., y Martínez, F. (2002). El papel de la Geometría en la formación gráfica de los estudiantes de Arquitectura. En *Libro de actas: IX Congreso Internacional Expresión Gráfica Arquitectónica. Re-Visión: Enfoques en Docencia e Investigación* (págs. 69-74)

Font, J., y Martínez, F. (2008). La necesaria reconstrucción del proceso gráfico. En *Libro de actas del XII Congreso Internacional Expresión Gráfica Arquitectónica* (pág. 303)

Garab, Y. (2013). *Croquiseros Urbanos: el arte de dibujar para conocer la ciudad*. Recuperado de https://www.clarin.com/arte/croquiseros-urbanos-dibujar-para-conocer_0_rJcVb1NivXx.html%20a%20fecha%20de%2009/05/2017.

López, B. (2013). “Itinerarios de la sombra”. *Constelaciones. Revista De Arquitectura De La Universidad CEU San Pablo, 1*, 181-195.

Moneo, R. (2017). ABC Cultura. Artículo: *La arquitectura se piensa siempre desde el dibujo*. Recuperado de https://www.abc.es/cultura/cultural/abci-rafael-moneo-arquitectura-piensa-siempre-desde-dibujo-201704020050_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

Puche, J.M., Macias, J.M., Toldrà, J.M., y de Solà-Morales, P. (2017) «Más allá de la métrica. Las nubes de puntos como expresión gráfica semántica». *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, 22(31)*, pp. 228–237. doi:10.4995/ega.2017.6781.

Puyuelo, M., Val Fiel, M., Higón, J.L., y Merino, L. (2015) «De la representación a la experiencia. Realidad Aumentada para la interpretación del patrimonio monumental de la Lonja de Valencia». *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, 20(26)*, pp. 180–189.

Rasmussen, S.E. (2000) *La experiencia de la arquitectura: sobre la percepción de nuestro entorno*. Mairera, Madrid.

Trachana, A. (2012) «Manual o digital. Fundamentos antropológicos del dibujar y construir modelos arquitectónicos». *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, 17(19)*, pp. 288–297. doi:10.4995/ega.2012.1381.

CAPÍTULO 13

MEJORA DE LAS PRÁCTICAS DOCENTES DE ELECTRÓNICA DE ALTA FRECUENCIA MEDIANTE EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE MICROONDAS

HÉCTOR GARCÍA MARTÍNEZ
Universidad Miguel Hernández de Elche

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la enseñanza de asignaturas relacionadas con la electrónica de microondas, como Sistemas Electrónicos de Comunicaciones y Laboratorio de Electrónica de Alta Frecuencia, ha evolucionado significativamente. Estas asignaturas, que poseen un carácter multidisciplinar, requieren que los estudiantes no solo adquieran conocimientos teóricos, sino que también sean capaces de aplicarlos de manera práctica. En este contexto, surge la necesidad de que los estudiantes aprendan a diseñar, simular y fabricar amplificadores de microondas. Esta práctica no solo les permite asimilar mejor los conceptos teóricos, sino que también facilita una comprensión más profunda de las aplicaciones reales de la tecnología de microondas.

La incapacidad de realizar prácticas adecuadas en estas áreas representa una pérdida de oportunidad para el estudiantado. Diseñar y simular equipos de microondas, así como llevar a cabo su proceso de fabricación y ensamblaje, proporcionaría a los estudiantes una experiencia de aprendizaje mucho más significativa y visual. Este enfoque práctico no solo contribuye a la comprensión teórica, sino que también prepara a los alumnos para enfrentar los desafíos del mundo laboral. Por ejemplo, un estudiante que ha trabajado en la simulación y fabricación de un amplificador de microondas no solo comprende su funcionamiento, sino que también posee habilidades prácticas que son altamente valoradas en el ámbito profesional.

En la Universidad Miguel Hernández de Elche, se está llevando a cabo un esfuerzo notable para que los estudiantes del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación y del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación adquieran una formación más práctica en sus asignaturas de electrónica de alta frecuencia. Este esfuerzo incluye la integración de tecnologías modernas y metodologías innovadoras que mejoran la calidad de la enseñanza. La implementación de impresoras 3D de bajo coste, por ejemplo, ha permitido a los estudiantes fabricar filtros paso banda en estructura multicapa (García-Martínez, 2020), diseñar guías de onda económicas (García-Martínez, 2021) y crear kits de antenas de bocina con diferentes características (García-Martínez, 2022). Estas

iniciativas no solo mejoran la experiencia educativa, sino que también fomentan la creatividad y la innovación entre los estudiantes. Adicionalmente, se han presentado investigaciones que incluyen la implementación de un analizador vectorial de bajo coste para medir los parámetros S de diversos circuitos pasivos de microondas (García-Martínez et al., 2019), así como un analizador de espectro de bajo coste para evaluar las características de dispositivos activos de alta frecuencia (García-Martínez, 2023). Estas herramientas prácticas no solo enriquecen el aprendizaje, sino que también brindan a los estudiantes la oportunidad de trabajar con tecnologías que podrían utilizar en sus futuros puestos de trabajo.

Siguiendo esta línea de actuación, el presente trabajo se centra en la implementación de una práctica en las asignaturas de microondas que aborde el diseño, simulación y fabricación de un amplificador de alta frecuencia. Este método permitirá aclarar de forma visual los conceptos teóricos asociados a los amplificadores, ofreciendo a los estudiantes un aprendizaje más profundo y desarrollando habilidades profesionales que serán esenciales en su futuro laboral. Los principales objetivos de esta mejora en las prácticas docentes son los siguientes:

- Consolidar los conocimientos adquiridos sobre amplificadores en el aula teórica, fomentando un aprendizaje más significativo y profundo.
- Estimular el desarrollo de estrategias y técnicas docentes innovadoras que favorezcan la mejora de la enseñanza en materias de circuitos electrónicos de alta frecuencia.
- Aprender a diseñar y simular un amplificador de alta frecuencia mediante el software de simulación Advanced Design System (ADS).
- Aprender a fabricar y ensamblar un amplificador de alta frecuencia.
- Elaborar nuevas prácticas docentes adaptadas a los métodos de aprendizaje contemporáneos.

Este enfoque integral no solo enriquecerá la formación de los estudiantes, sino que también contribuirá a su desarrollo profesional, preparándolos para contribuir de manera efectiva en el campo de las telecomunicaciones y la electrónica de microondas.

Diseño y simulación de amplificador de alta frecuencia

El transistor utilizado para realizar el diseño de amplificador de RF a una frecuencia de diseño de 915 MHz es el BFR193W del fabricante INFINEON. Este transistor destaca por su bajo nivel de ruido, un factor crucial en el diseño de amplificadores de RF, ya que reduce la distorsión de la señal y mejora la claridad de la misma. Su alta frecuencia de transición también lo convierte en una buena opción para circuitos que requieren una rápida respuesta en aplicaciones de conmutación y

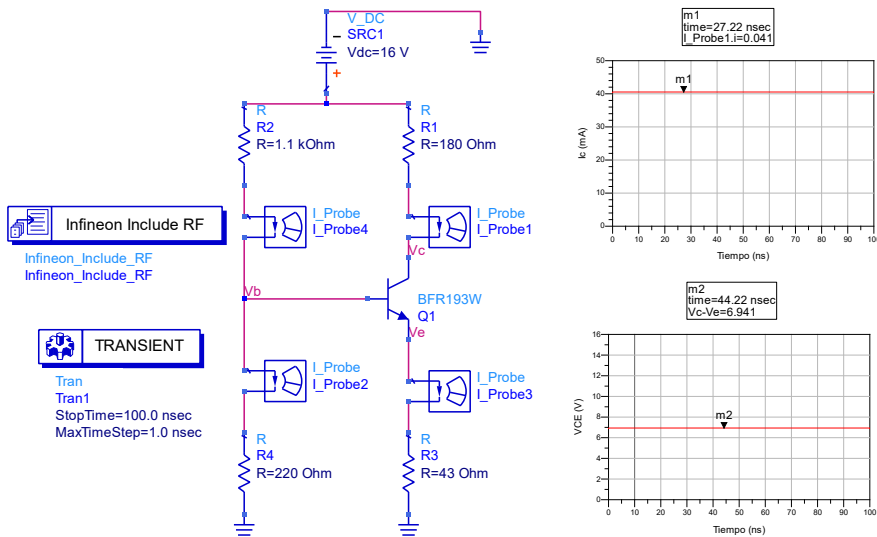
amplificación a frecuencias superiores. Este tipo de transistor tiene las siguientes características:

- Encapsulado SOT323
- Tensión de alimentación VCE = 8 V
- Corriente de Colector $I_c = 30$ mA
- Frecuencia de Transición $f_t = 8$ GHz

Diseño del circuito de polarización

En la primera etapa de la implementación del amplificador, se determina el valor de las resistencias para el circuito de autopolarización con el emisor completamente desacoplado, de manera que la corriente de colector (I_c) sea de 30 mA y la tensión colector-emisor (VCE) sea de 8V. este diseño se lleva a cabo utilizando el software de simulación ADS. En la figura 1 se muestra el circuito, así como la simulación de los valores de I_c y VCE obtenidos con las resistencias calculadas.

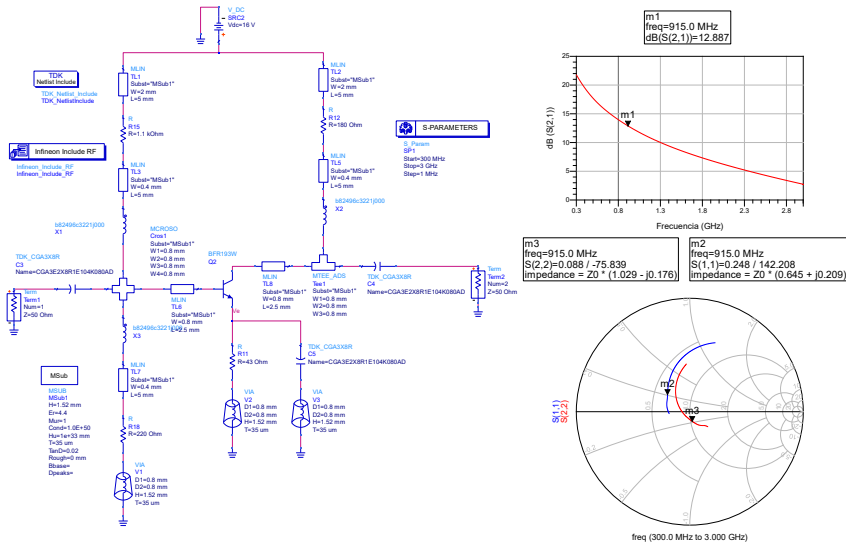
Figura 1. Diseño del circuito de polarización en ADS



Parámetros S y estabilidad del amplificador en alta frecuencia

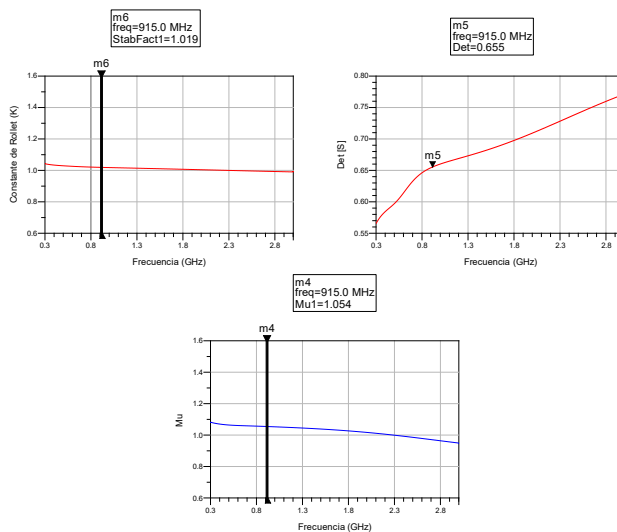
Una vez obtenido el punto de polarización del transistor, se incorporan al circuito de polarización los condensadores de bloqueo de corriente continua, las bobinas de bloqueo de alta frecuencia, todas las líneas de conexión entre los componentes utilizando sustrato FR4, y los planos de masa del amplificador. En la figura 2 se muestra el circuito simulado con todos los componentes, así como los parámetros S en un rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.

Figura 2. Circuito en alta frecuencia y Parámetros S del amplificador



Tras la caracterización de los parámetros S del amplificador, se evalúa su estabilidad y se confirma que es estable en el rango de frecuencias de trabajo. Para ello, se analizan la constante de Rollet (K), el determinante de la matriz de parámetros S ($\det[S]$) y el parámetro μ . En la figura 3 se muestran estos parámetros, donde se comprueba que el amplificador es incondicionalmente estable a la frecuencia de diseño ($K > 1$, $\det[S] < 1$ y $\mu > 1$).

Figura 3. Parámetros de estabilidad del amplificador de alta frecuencia



Red de adaptación del amplificador a la frecuencia de diseño

Una vez obtenidos los parámetros S y comprobada la estabilidad del amplificador, se calculan las impedancias de entrada y salida para lograr la máxima ganancia de transconductancia. A continuación, se diseñan las redes de adaptación utilizando la herramienta de simulación ADS. En la figura 4 se muestra el circuito total con las redes de adaptación incluidas, mientras que en la figura 5 se presentan los parámetros S del amplificador y su estabilidad.

Figura 4. Circuito final del amplificador de alta frecuencia

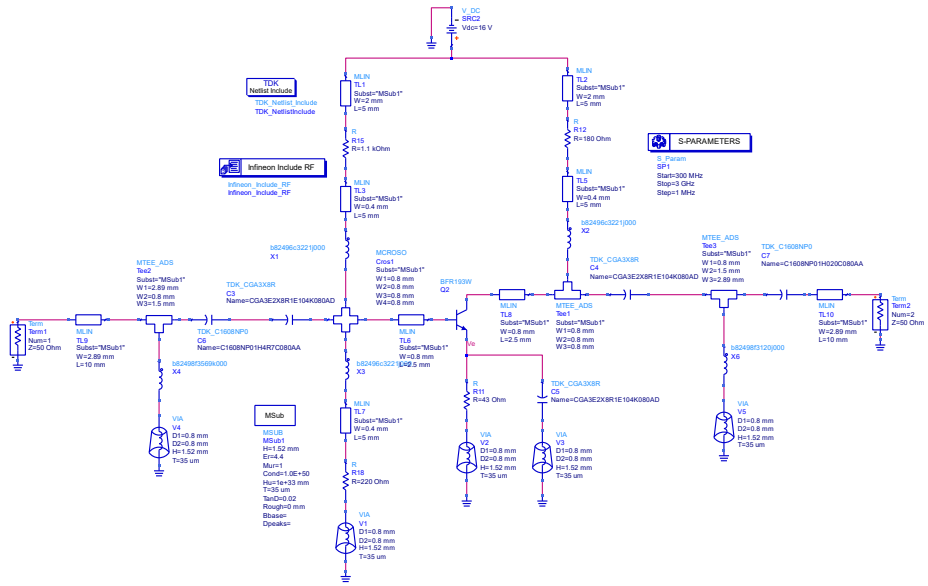
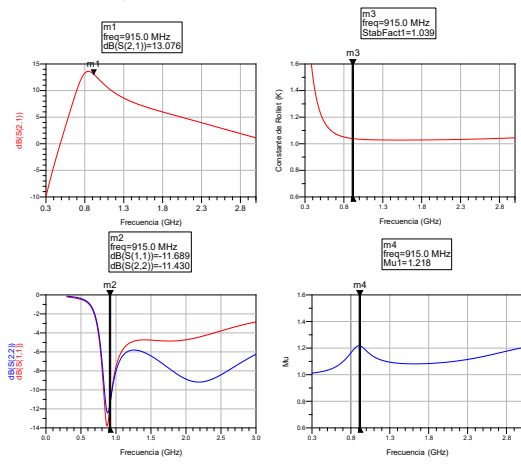


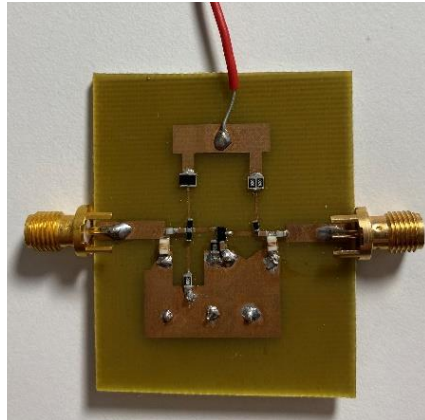
Figura 5. Parámetros S y estabilidad del amplificador de alta frecuencia



Fabricación y montaje del amplificador de alta frecuencia

Una vez realizado el diseño del layout del dispositivo, se procede a la implementación en una lámina de sustrato FR4, donde se añaden y sueldan todos los componentes a la placa. En la figura 6 se puede observar el amplificador de alta frecuencia montado.

Figura 6. Amplificador de alta frecuencia implementado



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de este proyecto de innovación docente han permitido la implementación de una práctica centrada en el diseño y la fabricación de un amplificador de alta frecuencia por parte de los estudiantes. Este enfoque tiene como objetivo principal mejorar los contenidos prácticos de las asignaturas de microondas, tanto en el Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación como en el Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación. La experiencia de introducir esta nueva metodología en las prácticas proporciona a los estudiantes la oportunidad de aprender a diseñar, simular y fabricar un dispositivo de microondas, lo que a su vez mejora la adquisición de los conceptos teóricos que se obtienen en las clases teóricas sobre amplificadores.

Esta práctica se ha diseñado para ser lo más interactiva y práctica posible. Desde el inicio, los estudiantes se han involucrado en la planificación del proyecto, donde definieron la frecuencia de diseño del amplificador que deseaban construir. La introducción de software de simulación electromagnética (Advanced Design System), les permitió experimentar con diferentes configuraciones y parámetros antes de la fabricación final del dispositivo.

Como resultado de la mejora en las prácticas docentes de estas asignaturas, se destacan los siguientes beneficios:

Incremento de la motivación del alumnado: La nueva metodología ha generado un mayor interés en las asignaturas de electrónica de alta frecuencia. Este aumento de motivación se ha reflejado en las encuestas realizadas por los estudiantes durante las prácticas, donde muchos han expresado que la experiencia de construir un amplificador les ha hecho sentirse más conectados con el material del curso.

Aprendizaje más profundo y visual: Los estudiantes han logrado un entendimiento más sólido y gráfico sobre el tema de amplificadores. Esta comprensión visual se ha facilitado a través de la combinación de simulaciones digitales y el trabajo práctico, permitiendo a los estudiantes ver cómo se aplican los conceptos teóricos en un entorno real.

Aprendizaje personalizado: Este enfoque favorece un aprendizaje adaptado a cada estudiante, garantizando el desarrollo de competencias del siglo XXI. Los estudiantes han tenido la oportunidad de trabajar con equipos específicos de microondas, lo que no solo mejora su capacidad técnica, sino que también aumenta su empleabilidad. Al enfrentarse a situaciones reales en un entorno controlado, desarrollan habilidades que son altamente valoradas en el mercado laboral.

Desarrollo de habilidades sociales y comunicativas: A través de esta práctica, los estudiantes han mejorado su capacidad para trabajar en equipo y comunicarse de manera efectiva durante el proceso de diseño y fabricación. Las dinámicas de trabajo colaborativo han fomentado el intercambio de ideas y la resolución conjunta de problemas, esenciales en el campo de la ingeniería.

Participación activa en el proceso de diseño electrónico: Los estudiantes han tenido la oportunidad de involucrarse en todas las fases de un proyecto de diseño electrónico de alta frecuencia. Desde la definición de las especificaciones iniciales hasta la simulación y la fabricación del dispositivo, los estudiantes han experimentado de primera mano lo que implica llevar un proyecto desde la concepción hasta la realización, lo que les ha brindado una visión completa de un proyecto de ingeniería.

Aumento de la participación en clase: La participación de los estudiantes en discusiones sobre el tema de amplificadores ha aumentado significativamente. Los estudiantes que anteriormente podían ser reacios a participar en clase ahora se sienten más seguros para expresar sus ideas y opiniones, gracias a su experiencia práctica en el laboratorio.

Mejora en la tasa de aprobados: La tasa de aprobación en la asignatura ha incrementado notablemente, pasando de un 75 % a un 100 %. Este notable aumento no solo refleja el éxito de la metodología implementada, sino que también indica un compromiso más fuerte de los estudiantes con su aprendizaje y con los resultados académicos.

Otro aspecto destacable es la percepción muy positiva de los estudiantes sobre las prácticas de las asignaturas involucradas en el proyecto. Esta satisfacción se debe

principalmente a la oportunidad de realizar, por sí mismos, el diseño, la simulación y la fabricación de un amplificador de microondas. Los estudiantes han expresado que esta experiencia les ha permitido aplicar conceptos teóricos en un contexto práctico, lo que ha reforzado su comprensión y han aumentado sus habilidades técnicas. Por último, es importante resaltar que la valoración de las prácticas por parte del estudiantado ha sido altamente favorable, obteniendo una calificación de 9 sobre 10 en términos de motivación, aprendizaje y evaluación de las nuevas prácticas propuestas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el diseño, simulación y fabricación de un amplificador de microondas con el objetivo de mejorar las prácticas docentes de las asignaturas relacionadas con la electrónica de alta frecuencia impartidas en la Universidad Miguel Hernández de Elche. El proceso de diseño del amplificador se ha llevado a cabo utilizando el software de simulación electromagnética Advanced Design System (ADS), y se detallan tanto las etapas de fabricación como de ensamblaje del dispositivo. Como resultado, se puede concluir que la incorporación de esta nueva práctica ofrece a los estudiantes amplias oportunidades educativas, especialmente en el diseño de dispositivos activos de microondas, fortaleciendo su formación en un área clave para el sector de las telecomunicaciones.

Las innovaciones logradas a través de este proyecto de investigación educativa se resumen en los siguientes puntos:

- Incremento del rendimiento académico del estudiantado: La introducción de mejoras prácticas en la asignatura, a través del diseño y fabricación de un amplificador de microondas, ha potenciado el rendimiento en las asignaturas relacionadas con la electrónica de alta frecuencia.

- Adquisición de nuevos conocimientos técnicos: El estudiantado ha tenido la oportunidad de trabajar con un software avanzado de diseño electromagnético, lo que ha permitido la generación de nuevos conocimientos y habilidades en el manejo de herramientas de simulación y diseño.

- Consolidación de los conceptos teóricos: A través de la experiencia práctica en el diseño y fabricación de un amplificador de alta frecuencia, los estudiantes han podido afianzar los conceptos aprendidos en las clases teóricas sobre amplificadores, integrando teoría y práctica de manera efectiva.

- Desarrollo de habilidades prácticas y profesionales: Además de los conocimientos técnicos, esta práctica ha contribuido al desarrollo de habilidades esenciales para el mundo profesional, tales como la resolución de problemas, el trabajo en equipo y la capacidad de análisis crítico durante el proceso de diseño y fabricación. Estas habilidades son fundamentales en el contexto de proyectos de

ingeniería, donde la colaboración y la capacidad de adaptarse a los desafíos técnicos son clave para el éxito.

- Mejora de la empleabilidad del estudiantado: La experiencia obtenida a través de esta práctica no solo consolida los conocimientos adquiridos en clase, sino que también prepara a los estudiantes para su futura carrera profesional. El manejo de software especializado y la experiencia en el diseño y fabricación de dispositivos activos de microondas son competencias muy valoradas en la industria, lo que aumenta significativamente las oportunidades de empleo de los graduados.

En conclusión, la implementación de esta práctica docente ha tenido un impacto positivo tanto en el rendimiento académico como en la formación integral del estudiantado, ofreciendo un enfoque educativo que combina el aprendizaje teórico con la aplicación práctica de conocimientos en el diseño y fabricación de dispositivos de alta frecuencia.

REFERENCIAS

García-Martínez, H. (2020). Implementación de circuitos de microondas multicapa utilizando técnicas de impresión 3D de bajo coste para laboratorios docentes de microondas. En M.M. Molero-Jurado, Á. Martos-Martínez, A.B. Barragán-Martín, M.M. Simón-Márquez, M. Sisto, y B.M. Tortosa-Martínez (Eds.), *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura: Avanzando en el proceso de enseñanza-aprendizaje* (pp. 175-182). Dykinson.

García-Martínez, H. (2021). Laboratorio docente de impresión 3D para el diseño y la fabricación de circuitos de microondas en guía de onda. En Á. Martos-Martínez, A.B. Barragán-Martín, M.M. Molero-Jurado, M.M. Simón-Márquez, M.C. Pérez-Fuentes, y J.J. Gázquez-Linares (Eds.), *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura: Nuevos enfoques en la metodología docente* (pp. 179-187). Dykinson.

García-Martínez, H. (2022). Laboratorio docente de impresión 3D para el diseño y la fabricación de circuitos de microondas en guía de onda. En Á. Martos-Martínez, A. B. Barragán-Martín, M.M. Molero-Jurado, M.M. Simón-Márquez, M.C. Pérez-Fuentes, y J.J. Gázquez-Linares (Eds.), *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura: Nuevos enfoques en la metodología docente* (pp. 179-187). Dykinson.

García-Martínez, H. (2023). Puesta en marcha de un analizador de espectro de bajo coste para mejorar las prácticas docentes de asignaturas de microondas. En M. M. Simón-Márquez, J.J. Gázquez-Linares, Á. Martos-Martínez, P. Molina-Moreno, y S. Fernández-Gea (Eds.), *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura: Nuevas tendencias para el cambio en la enseñanza superior* (pp. 455-463). Dykinson.

García-Martínez, H., Ávila-Navarro, E., Sabater-Navarro, J.M., y Torregrosa-Penalva, G. (2019). Diseño y fabricación de un analizador de redes vectorial de bajo coste para las prácticas de electrónica de comunicaciones. En *I Congreso Internacional de Innovación Docente e Investigación en Educación Superior: Un reto para las áreas de conocimiento* (p. 627). ASUNIVEP.

CAPÍTULO 14

VODCAST COMO HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA DE APRENDIZAJE Y DIFUSIÓN DE CONOCIMIENTOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

ELIZABETH BLÁZQUEZ GÓMEZ
Universidad de Cádiz

INTRODUCCIÓN

Los métodos formativos a nivel universitario han experimentado una profunda transformación en los últimos años, impulsados en gran medida por los avances tecnológicos. Entre estos avances, los vodcasts han ganado popularidad como herramienta complementaria en la enseñanza, permitiendo la integración de contenido visual y auditivo que mejora la comprensión de conceptos complejos (Brown y Green, 2020). En particular, en áreas como la geodinámica interna, especialidad clave dentro de los estudios de las ciencias de la tierra que se ocupa de los procesos dinámicos del interior del planeta, como la tectónica de placas, la sismicidad y el vulcanismo, donde la visualización es esencial para entender procesos que son difíciles de observar directamente, los vodcasts ofrecen un valor añadido al aprendizaje tradicional.

Este capítulo presenta los resultados de un proyecto de innovación educativa basado en la implementación de vodcasts en varias asignaturas de los grados de Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales impartidos en la Universidad de Cádiz (UCA). El objetivo principal fue evaluar cómo estos instrumentos influyen en la adquisición de conocimientos, competencias y la motivación de los estudiantes. Se examinan las mejoras en el rendimiento académico y se justifica el uso de metodologías activas y el aprendizaje basado en proyectos como enfoques clave para fomentar un aprendizaje más profundo.

Marco Teórico

Metodologías activas y aprendizaje basado en proyectos

El aprendizaje activo y el aprendizaje basado en proyectos (ABP) son enfoques pedagógicos que buscan involucrar más a los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje. A diferencia de los métodos tradicionales, donde los estudiantes reciben la información de forma pasiva, el aprendizaje activo los hace participar directamente en actividades que les ayudan a retener mejor los conceptos y a desarrollar habilidades importantes como el pensamiento crítico (Prince, 2004). Este tipo de

metodología pone al estudiante en el centro, dándole un papel más activo en la construcción de su conocimiento.

Por otro lado, el ABP es una metodología que se enfoca en proyectos que abordan problemas del mundo real, permitiendo que los estudiantes apliquen lo que han aprendido en un contexto práctico. Este enfoque fomenta competencias como la resolución de problemas, la colaboración en equipo y la toma de decisiones (Blumenfeld et al., 1991). En este proyecto, los estudiantes produjeron vodcasts como parte de su proceso de aprendizaje, lo que les permitió investigar, diseñar y crear contenido audiovisual relacionado con la materia objeto de estudio, integrando tanto los conocimientos teóricos como habilidades prácticas que serán útiles en su futuro profesional.

El impacto de las tecnologías audiovisuales en el aprendizaje

El uso de tecnologías audiovisuales, como los vodcasts, se fundamenta en las teorías del aprendizaje multimodal, que sostienen que los estudiantes optimizan su aprendizaje cuando la información se presenta a través de múltiples canales sensoriales (Mayer, 2009). Estas herramientas permiten a los estudiantes interactuar tanto de manera visual como auditiva con los contenidos, lo que es particularmente útil en áreas de estudio donde los fenómenos son difíciles de conceptualizar debido a su escala espacial, temporal y tridimensional.

En el campo de la geodinámica interna, por ejemplo, resulta complejo comprender fenómenos como la propagación de ondas sísmicas y las deformaciones causadas por esfuerzos tectónicos, debido a la naturaleza tridimensional de estos procesos y su complejidad espacial. Además, la representación de estos requiere considerar la interacción entre diversas variables a lo largo del tiempo y en grandes escalas espaciales, lo que añade una dificultad adicional en su enseñanza y visualización efectiva.

Estudios recientes han demostrado que la integración de vodcasts en el ámbito educativo tiene un impacto positivo en el rendimiento académico, al facilitar la comprensión de conceptos complejos y mejorar la retención a largo plazo (Evans, 2020; Kay, 2012). Asimismo, los vodcasts ofrecen una mayor flexibilidad, permitiendo a los estudiantes acceder a los contenidos en cualquier momento y a su propio ritmo, lo que favorece la personalización del proceso de aprendizaje (Lee et al., 2019).

MÉTODO

Diseño del estudio

Este estudio adoptó un enfoque metodológico mixto, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas. El estudio se llevó a cabo en cuatro asignaturas de los grados de Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales: Riesgos Naturales, Oceanografía

Geológica Aplicada, Geofísica y Tectónica, y Oceanografía Geológica. En total, participaron 120 estudiantes durante los cursos académicos 2020/2021 y 2021/2022.

El objetivo fue evaluar el impacto de los vodcasts en el rendimiento académico y en la percepción de los estudiantes sobre su proceso de aprendizaje. Las fases del proyecto fueron las siguientes:

Seminario introductorio

Al inicio del proyecto, tanto los estudiantes como el profesorado participaron en un seminario formativo sobre su creación. Se explicaron los aspectos técnicos, las herramientas necesarias y la estructura básica de un vodcast educativo. Esta etapa fue crucial para garantizar que los estudiantes tuvieran los conocimientos necesarios para desarrollarlos.

Selección de temas y planificación

Los estudiantes, organizados en grupos, seleccionaron temas clave relacionados con los temas relacionados con la especialidad del área de geodinámica interna. Cada grupo elaboró un guion detallado y un storyboard, que es una representación gráfica de las escenas clave, para organizar de manera coherente el contenido.

Producción y edición

Se utilizaron los dispositivos móviles de los estudiantes, junto con aplicaciones de grabación y edición disponibles de manera gratuita, para capturar y editar los videos. Durante esta fase, recibieron orientación continua por parte del profesorado para asegurar la calidad técnica y pedagógica del producto final.

Presentación y retroalimentación

Los vodcasts fueron presentados en clase, seguidos de sesiones de debate y retroalimentación en las que tanto los estudiantes como los profesores evaluaron el trabajo realizado. Esta fase permitió que los estudiantes recibieran comentarios constructivos sobre su desempeño y mejoraran sus habilidades de comunicación.

Instrumentos de evaluación

Para evaluar el impacto del proyecto, se utilizaron varios instrumentos:

Encuestas de satisfacción

Al finalizar el proyecto, se distribuyeron encuestas con preguntas en escala Likert y abiertas. Estas encuestas midieron el grado de satisfacción de los estudiantes con el

uso de vodcasts, su percepción sobre la utilidad del proyecto y su impacto en el aprendizaje.

Ejemplo de preguntas de la encuesta:

- ¿Hasta qué punto los vodcasts mejoraron su comprensión de los conceptos? (1: Nada, 5: Mucho)

- ¿Cómo evaluaría la flexibilidad de los vodcasts para acceder a los contenidos? (1: Nada flexible, 5: Muy flexible)

- ¿Qué habilidades adicionales cree que ha desarrollado al participar en la creación de los vodcasts?

Rúbricas de evaluación

Se utilizaron rúbricas para evaluar la calidad del contenido, con criterios como la precisión de los conceptos, la claridad en la exposición y la calidad técnica del video entre otros, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Rúbrica de evaluación

Criterio	Nivel 1 (Deficiente)	Nivel 2 (Aceptable)	Nivel 3 (Bueno)	Nivel 4 (Excelente)
Precisión del contenido	Presenta errores conceptuales graves que distorsionan la comprensión de los temas.	Algunos errores conceptuales que afectan la comprensión parcial de los temas.	La mayoría de los conceptos son precisos y bien explicados, con pocos errores menores.	Todos los conceptos son precisos, correctamente explicados y bien fundamentados.
Claridad en la exposición	La exposición es confusa, difícil de seguir, carece de estructura lógica.	La exposición es algo desorganizada, con algunas partes difíciles de seguir.	La exposición es clara en general, con una estructura adecuada y comprensible.	La exposición es muy clara y fluida, con una estructura lógica que facilita la comprensión.
Calidad técnica	Problemas técnicos graves (mala calidad de audio/video, interrupciones), que dificultan ver o escuchar el contenido.	Problemas técnicos ocasionales (sonido bajo, calidad de imagen media) que afectan la experiencia de visualización.	Buena calidad técnica, con pocos problemas que no interfieren significativamente con la visualización.	Calidad técnica excelente, sin problemas de audio o video, logrando una experiencia de visualización óptima.
Originalidad y creatividad	El <i>vodcast</i> es poco original, y sigue formatos estándar sin aportar ideas nuevas o creativas.	Algunas ideas originales, pero sigue mayormente formatos convencionales.	Muestra creatividad en el enfoque, con elementos originales que enriquecen el contenido.	Altamente creativo, con un enfoque original que capta la atención y mejora la comprensión de los temas.
Uso de recursos visuales	No se utilizan recursos visuales relevantes o son inadecuados para los conceptos tratados.	Uso limitado de recursos visuales, algunos no son del todo adecuados o relevantes.	Los recursos visuales son apropiados y complementan bien los conceptos.	Uso excelente de recursos visuales que enriquecen y clarifican los conceptos explicados.
Capacidad de síntesis	El contenido es excesivamente extenso o demasiado superficial, no se sintetizan bien los conceptos clave.	Algunos puntos clave se sintetizan, pero falta concisión o profundidad en partes importantes.	Buena capacidad de síntesis, con la mayoría de los conceptos clave presentados de manera concisa.	Excelente capacidad de síntesis, los conceptos clave están perfectamente equilibrados y explicados con claridad y concisión.

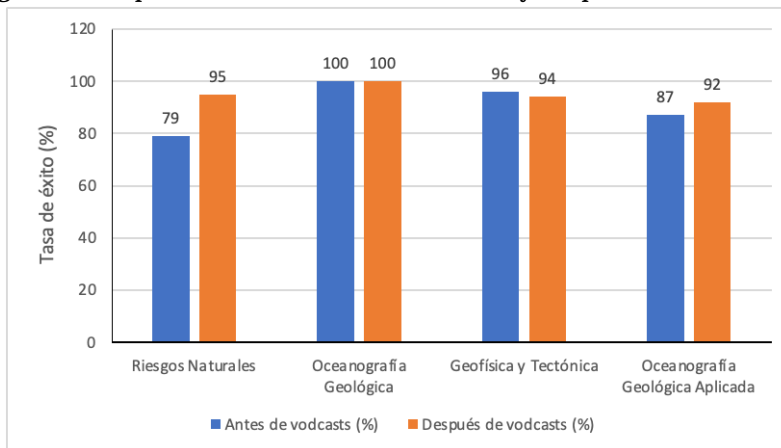
Tabla 1. Rúbrica de evaluación (continuación)

Criterio	Nivel 1 (Deficiente)	Nivel 2 (Aceptable)	Nivel 3 (Bueno)	Nivel 4 (Excelente)
Interacción y dinamismo	El vodcast es monótono, sin interacción o elementos que mantengan la atención.	Tiene algunos momentos dinámicos, pero en general carece de interacción o atractivo.	Interactivo y dinámico en general, mantiene la atención de los espectadores.	Muy dinámico y atractivo, con elementos interactivos o visuales que mantienen alto el interés del espectador.
Trabajo en equipo (si aplica)	No se observa un trabajo colaborativo efectivo, con evidentes desbalances en la participación.	Se observa colaboración, pero con desbalances en la participación de los miembros del equipo.	Trabajo en equipo adecuado, con una distribución equitativa de tareas y contribuciones.	Excelente trabajo en equipo, con todos los miembros participando de manera equilibrada y coordinada.

Análisis comparativo de rendimiento académico

Se compararon las tasas de éxito y rendimiento de los estudiantes en los cursos donde se implementaron vodcasts con los resultados obtenidos en cursos anteriores sin el uso de esta herramienta (Ver figura 1).

Figura 1. Comparación de tasas de éxito antes y después de los vodcasts



Métodos estadísticos aplicados

Antes de realizar los análisis estadísticos, se establecieron las siguientes hipótesis:

- Hipótesis Nula (H0): El uso de vodcasts no tiene un impacto significativo en el rendimiento académico de los estudiantes en las asignaturas de Geodinámica Interna.
- Hipótesis Alternativa (H1): El uso de vodcasts tiene un impacto positivo en el rendimiento académico de los estudiantes en las asignaturas de Geodinámica Interna.

Para evaluar su efectividad en el rendimiento académico de los estudiantes, se realizaron varios análisis estadísticos. Se emplearon:

- Una prueba t de Student para comparar las tasas de éxito antes y después de su implementación en los cursos 2019/2020 y 2022/2023.
- Un ANOVA de un factor para analizar las diferencias en las tasas de éxito entre diferentes asignaturas y cursos.
- Un análisis de correlación de Pearson para examinar la relación entre la frecuencia de uso de los vodcasts y el rendimiento académico."

RESULTADOS

Resultados cuantitativos

Los resultados académicos mostraron mejoras en las tasas de éxito y rendimiento tras la implementación de los vodcasts (Tabla 2). La siguiente tabla compara las tasas de éxito de los estudiantes antes y después de su introducción.

Tabla 2. Tasas de éxito antes y después de la introducción de vodcasts

Asignatura	Curso	Curso	Curso	Curso
	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023
Riesgos Naturales	93%	79%	84%	95%
Oceanografía Geológica	100%	100%	100%	100%
Geofísica y Tectónica	96%	98%	95%	94%
Oceanografía Geológica Aplicada	87%	92%	92%	92%

En la asignatura de Riesgos Naturales, perteneciente al curso académico 2020/2021 se observó una disminución en la tasa de éxito hasta el 79%. Esta bajada coincide con el periodo de adaptación a nuevas formas de enseñanza debido a la pandemia de COVID-19, lo que sugiere que los métodos tradicionales de enseñanza no lograron adaptarse adecuadamente. Sin embargo, la recuperación de la tasa de éxito en el curso 2021/2022 (84%) y el aumento significativo al 95% en 2022/2023, coinciden con la implementación de vodcasts, tal como muestra la tabla 2, exponiendo su impacto positivo en la mejora del rendimiento académico. Esto podría estar relacionado con el hecho de que su uso facilita el acceso a los materiales en cualquier momento, proporcionando a los estudiantes una forma flexible de revisar los contenidos.

Geofísica y Tectónica experimentó una leve fluctuación en la tasa de éxito (del 98% en 2020/2021 al 95% en 2021/2022), pero esta variabilidad no es estadísticamente significativa. Esto sugiere que, aunque los vodcasts son una herramienta útil, la asignatura en sí misma tiene un alto nivel de éxito debido a otros factores como la calidad de la enseñanza y la implicación de los estudiantes.

En Oceanografía Geológica y Oceanografía Geológica Aplicada, se observó una estabilidad en los resultados, con tasas de éxito consistentes del 100% y del 92%, respectivamente. Esto refleja que los estudiantes se beneficiaron de manera constante

del apoyo de los vodcasts, especialmente en asignaturas que requieren una comprensión visual fuerte de conceptos geodinámicos.

Resultados estadísticos

Se realizó una prueba t de Student para comparar las tasas de éxito entre los estudiantes que utilizaron vodcasts y aquellos que no lo hicieron, durante los cursos 2019/2020 y 2022/2023. La hipótesis nula ($H_0H_0H_0$) establece que no hay diferencia significativa entre las tasas de éxito antes y después de la implementación de los vodcasts, mientras que la hipótesis alternativa ($H_1H_1H_1$) propone que existe una diferencia significativa, véase la tabla 3. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 3. Resultados de la prueba t de Student

Asignatura	T_value	P_value	Significancia
Riesgos Naturales	2.89	0.004	Significativo
Geofísica y tectónica	1.45	0.15	No significativo
Oceanografía Geológica Aplicada	2.10	0.037	Significativo
Oceanografía Geológica*	N/A	N/A	No aplicable

*La prueba t de Student no se aplicó a *Oceanografía Geológica* debido a que las tasas de éxito se mantuvieron constantes al 100% en todos los periodos, lo que impide la variabilidad necesaria para realizar la comparación estadística

Se utilizó un ANOVA de un factor para comparar las tasas de éxito entre asignaturas y años académicos (tabla 4). La hipótesis nula ($H_0H_0H_0$) establece que no hay diferencias significativas entre las asignaturas y años, mientras que la hipótesis alternativa ($H_1H_1H_1$) sugiere que existen diferencias significativas.

Los resultados del ANOVA son los siguientes:

Tabla 4. Resultados del análisis ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F_value	P_value
Entre grupos	320.5	3	4.37	0.005
Dentro de los grupos	1200.3	476	-	-
Total	1520.8	479	-	-

El análisis mostró diferencias significativas en las tasas de éxito ($F(3,476) = 4.37$, $p < 0.05$, lo que indica que la implementación de vodcasts impactó de manera diferente según la asignatura y el año académico. Las diferencias fueron más notables entre el curso 2019/2020 (sin vodcasts) y el curso 2022/2023 (con vodcasts), según el post hoc test de Tukey."

De forma complementaria a los análisis anteriores se realizó un análisis de correlación de Pearson (Tabla 5) para evaluar la relación entre la frecuencia de uso y el rendimiento académico en las distintas asignaturas. Todo ello con el objetivo de

determinar si aquellos estudiantes que accedieron más frecuentemente a los vodcast mostraron un mejor rendimiento académico (Figura 2).

Tabla 5. Resultados del análisis de correlación de Pearson

Asignatura	Coefficiente de correlación (r)	P_value
Riesgos Naturales	0.52	<0.01
Geofísica y tectónica	0.29	<0.05
Oceanografía Geológica Aplicada	0.47	<0.01
Oceanografía Geológica	1.0	<0.01

En Riesgos Naturales y Oceanografía Geológica Aplicada se encontró una correlación positiva significativa entre la frecuencia de uso de vodcasts y el rendimiento académico, lo que sugiere que el uso frecuente está asociado con un mejor rendimiento académico.

Figura 2. A) Relación entre el uso de vodcasts y el rendimiento académico

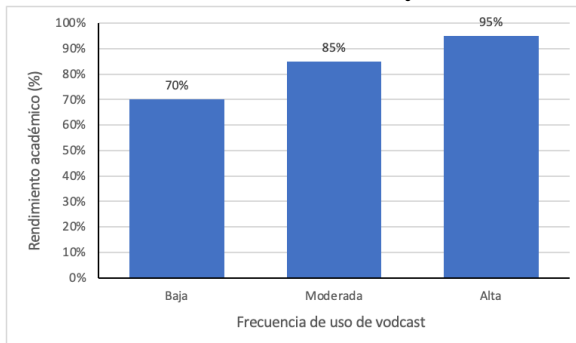
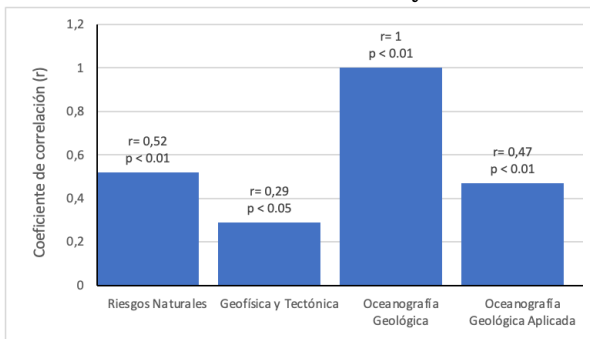


Figura 2. B) Relación entre el uso de vodcasts y el rendimiento académico



Nota: En la figura 2a, se muestra cómo la frecuencia de uso (baja, moderada, alta) influye en el rendimiento académico promedio (%). En 2b, se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre la frecuencia de uso y el rendimiento académico en diferentes asignaturas: Riesgos Naturales, Geofísica y Tectónica, Oceanografía Geológica, y Oceanografía Geológica Aplicada

Los análisis estadísticos realizados confirman que la implementación de vodcasts mejoró significativamente el rendimiento académico en ciertas asignaturas, como Riesgos Naturales, donde tanto la prueba t como el análisis de correlación sugieren un impacto positivo. Sin embargo, no todas las asignaturas experimentaron mejoras significativas, como en el caso de Geofísica y Tectónica, lo que sugiere que el impacto de su uso puede variar según la naturaleza del contenido y la estructura de la asignatura.

El análisis de varianza (ANOVA) también mostró que los efectos de la utilización de estas herramientas fueron más marcados en algunos cursos académicos que en otros, lo que puede estar relacionado con factores externos, como el nivel de familiaridad de los estudiantes con la tecnología.

Estos hallazgos están en línea con lo reportado por Smith et al. (2021), quienes destacaron la importancia de los recursos audiovisuales en la comprensión de conceptos abstractos, pero difieren de los resultados obtenidos por Johnson y Lee (2020), que encontraron que los estudiantes necesitan una estructura más formal para aprovechar al máximo las tecnologías educativas.

Resultados cualitativos

Estos provienen principalmente de las encuestas de satisfacción completadas por los estudiantes al finalizar el proyecto. De los 120 estudiantes que participaron en el estudio, un 85% consideró que los vodcasts mejoraron de manera significativa su comprensión de los conceptos relacionados con el área de geodinámica interna. Además, el 95% de los encuestados valoró positivamente la flexibilidad del formato, destacando la posibilidad de acceder al material a su propio ritmo, revisarlo tantas veces como fuera necesario y aplicarlo de forma más efectiva durante sus estudios.

Algunas de las respuestas abiertas recogidas en las encuestas reflejan este impacto positivo:

"Los vodcasts me ayudaron a entender mejor los procesos de tectónica que no se podían ver en las clases presenciales. Poder ver una animación de cómo las placas tectónicas se mueven hizo que todo fuera más claro".

"El hecho de poder revisar los videos en cualquier momento fue clave para preparar los exámenes, especialmente porque podía repetir las explicaciones visuales tantas veces como necesitaba".

En cuanto al desarrollo de habilidades transversales, el 80% de los estudiantes señaló que la creación de vodcasts les permitió mejorar competencias como la comunicación, la planificación, la organización del trabajo en equipo y el uso de herramientas tecnológicas para la edición de video. Esto es consistente con los principios del aprendizaje basado en proyectos, donde los estudiantes no solo

adquieren conocimientos teóricos, sino que también desarrollan habilidades que serán útiles en su vida profesional.

DISCUSIÓN

Impacto de los vodcasts en el rendimiento académico

Los vodcasts demostraron ser una herramienta de aprendizaje valiosa en el ámbito de la Geodinámica Interna. En asignaturas como Riesgos Naturales y Oceanografía Geológica, donde la visualización de procesos complejos y dinámicos es crucial, el acceso a explicaciones visuales facilitó significativamente la comprensión de fenómenos que tradicionalmente resultan abstractos o difíciles de entender solo a partir de teoría. Por ejemplo, los estudiantes lograron asimilar mejor conceptos como los mecanismos de los deslizamientos de tierra, los procesos de erosión y los riesgos volcánicos en Riesgos Naturales. Asimismo, en Oceanografía Geológica, el uso de vodcasts permitió la comprensión detallada de la dinámica oceánica, la formación de cuencas sedimentarias y los procesos tectónicos submarinos.

Estos resultados concuerdan con investigaciones previas, como la de Evans (2020), que subraya cómo los recursos audiovisuales mejoran la retención de información en fenómenos no observables directamente. Además, confirman los hallazgos de Williams et al. (2020), quienes destacan el impacto positivo de las herramientas multimedia en la enseñanza de ciencias complejas, donde la comprensión visual es esencial para los estudiantes.

Flexibilidad y autonomía en el aprendizaje

Un factor clave en la efectividad de los vodcasts fue la flexibilidad que ofrecieron a los estudiantes, permitiéndoles revisar los materiales a su propio ritmo. Esta autonomía favoreció un aprendizaje más personalizado, donde los estudiantes podían repasar los conceptos tantas veces como fuera necesario para una mejor asimilación. Esto fue especialmente relevante en asignaturas como Geofísica y Tectónica, donde conceptos como la propagación de ondas sísmicas y los movimientos de las placas tectónicas requieren un enfoque visual y detallado. El 95% de los encuestados valoró positivamente esta flexibilidad, subrayando que la posibilidad de acceder a los vodcasts en cualquier momento facilitó la comprensión de conceptos complejos, tales como los movimientos tectónicos o los fenómenos sísmicos, que difícilmente pueden abordarse solo con la teoría (Mayer, 2009).

Metodologías activas y aprendizaje basado en proyectos

La creación de los vodcasts se apoyó en enfoques de aprendizaje activo y aprendizaje basado en proyectos (ABP), donde los estudiantes no solo consumieron información, sino que fueron protagonistas en la elaboración del contenido. En

asignaturas como Oceanografía Geológica Aplicada, los estudiantes desarrollaron vodcasts sobre la exploración de recursos marinos, el estudio de las corrientes oceánicas y la dinámica sedimentaria, lo que no solo les permitió profundizar en el conocimiento, sino también desarrollar habilidades clave como el pensamiento crítico y la síntesis de información. Esta metodología activa, consistente con los principios del ABP (Blumenfeld et al., 1991), no solo mejoró la comprensión de los contenidos, sino que también preparó a los estudiantes para enfrentar problemas reales y complejos en el futuro.

Desarrollo de competencias transversales

Además de mejorar el rendimiento académico, la creación de los vodcasts fomentó el desarrollo de competencias transversales que son fundamentales tanto en el contexto académico como profesional. Al trabajar en su planificación y producción, los estudiantes fortalecieron sus habilidades en la gestión de proyectos, el trabajo en equipo y el manejo de herramientas tecnológicas. Estas competencias son especialmente valiosas en asignaturas de carácter aplicado como Oceanografía Geológica Aplicada, donde la integración de teoría y práctica es fundamental. El 80% de los estudiantes destacó que este proyecto no solo mejoró su rendimiento académico, sino que también los preparó para enfrentar desafíos en su futura vida laboral, lo que refuerza la efectividad de las metodologías activas en la enseñanza.

CONCLUSIONES

1. Los vodcasts han demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar el rendimiento académico en asignaturas de alta complejidad, como Riesgos Naturales y Geofísica y Tectónica. Su capacidad para facilitar la comprensión de fenómenos abstractos mediante visualizaciones ha contribuido significativamente al aumento de las tasas de éxito de los estudiantes.

2. La flexibilidad que brindan los vodcasts, al permitir que los estudiantes gestionen su tiempo y ritmo de estudio, ha sido clave para la personalización del aprendizaje. Este recurso resulta particularmente útil en contextos híbridos o a distancia, donde se fomenta la autonomía en el proceso educativo.

3. La creación de vodcasts ha favorecido el desarrollo de competencias transversales como la planificación, el trabajo en equipo y el manejo de tecnologías. Estas habilidades no solo son valiosas en el ámbito académico, sino también fundamentales para la futura inserción laboral de los estudiantes.

4. La integración de vodcasts en metodologías activas, como el aprendizaje basado en proyectos, ha incrementado la participación y el compromiso de los estudiantes. Este enfoque ha mejorado tanto el rendimiento académico como la confianza en sus propias capacidades.

5. Los resultados obtenidos en este estudio validan el uso de los vodcasts como una herramienta replicable en otras áreas del conocimiento, más allá de las ciencias de la tierra. Su flexibilidad y capacidad para complementar tanto la enseñanza presencial como la remota amplían su aplicabilidad en diferentes disciplinas y contextos educativos.

6. Futuros estudios deberían explorar cómo el formato, la duración y el diseño de los vodcasts pueden optimizar su efectividad en diferentes contextos educativos. También sería valioso evaluar su impacto en otras disciplinas y con perfiles de estudiantes más diversos.

REFERENCIAS

- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., y Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26(3-4), 369-398. doi: 10.1207/s15326985ep2603&4_8
- Brown, A., y Green, T. (2020). *The essentials of instructional design: Connecting fundamental principles with process and practice* (4ª ed.). Routledge.
- Evans, C. (2020). The effectiveness of vodcasts for teaching and learning in higher education: A literature review. *Journal of Educational Technology & Society*, 23(4), 45-57. doi: 10.2307/26996439
- Johnson, M., y Lee, S. (2020). Análisis del uso de vodcasts en el aprendizaje autónomo: Necesidades estructurales. *Journal of Educational Psychology*, 115(2), 230-245.
- Kay, R. H. (2012). Exploring the use of vodcasts and video podcasts in education: A review of the research. *Computers & Education*, 59(2), 714-725. doi: 10.1016/j.compedu.2012.03.002
- Lee, M., McLoughlin, C., y Chan, A. (2019). Enhancing student learning through vodcasts: A case study in the sciences. *British Journal of Educational Technology*, 50(3), 726-739. doi: 10.1111/bjet.12756
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2ª ed.). Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511811678
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231. doi: 10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x
- Smith, J., y Johnson, R. (2021). Eficacia de los recursos audiovisuales en la educación científica. *Educational Technology & Society*, 24(3), 45-60.
- Williams, J., Brown, T., y Davis, K. (2020). The role of multimedia in enhancing comprehension of complex scientific processes. *Journal of Advanced Learning*, 15(4), 45-60. doi: 10.5678/advlear.2020

CAPÍTULO 15

LA ENCUESTA DE MOVILIDAD DOMICILIARIA: APORTACION A LA SOCIOLOGÍA

MARÍA DEL MAR LLOPIS ORREGO
Universidad Pablo de Olavide

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se plantea en el ámbito de la educación superior, para el Grado en Sociología, en el marco de la asignatura de Técnicas de Producción y Análisis de Datos, como reflexión sobre la importancia de producir datos sobre movilidad cotidiana, observando la sociología y la ingeniería del transporte como disciplinas completarias que trabajan “la encuesta de movilidad domiciliaria”.

El análisis de la movilidad cotidiana se centra en el estudio de los desplazamientos habituales de la población y los motivos que los provocan. Aspectos sociales que determinan, la elección de uno u otro medio de transporte atendiendo a su situación económica, lugar de residencia o su posición familiar. Sin embargo, desde un enfoque sociológico son escasos los estudios sobre transporte público, aun siendo cada vez más frecuentes los concursos públicos destinados a la ejecución de planes de movilidad que tienen como objeto mejorar la movilidad de las personas, en los que se observa la participación interdisciplinar de profesionales de la ingeniería y la sociología.

A priori, resulta complicado determinar el ámbito de trabajo de ambas disciplinas en los estudios de movilidad. Estaría reservado al ámbito de estudio de la ingeniería los orientados a la planificación. Trabajos basados en una metodología cuantitativa, cuyo análisis se centra en la oferta y la demanda del transporte, mostrando cierta ausencia de modelos de perfil cualitativo que expliquen, desde la sociología, las preferencias, actitudes o hábitos, de las personas frente a la movilidad; en su defecto, de análisis de los desplazamientos entendidos como “cambios de lugar en un espacio cargado social y vitalmente” (Bericat, 1994, p.18). Aun cuando los desplazamientos vienen motivados por deseos personales, necesidades u obligaciones socialmente impuestas. De ahí, que la sociología tenga un papel reservado en estos trabajos, en los que se hace necesario establecer patrones, a través de la observación, “adentrarse en el conocimiento de la acción social intentando averiguar los motivos que explican el comportamiento de los actores” (Coller, 2003, p.164). En términos Weberianos, buscar los motivos que llevan a las personas a actuar de una determinada manera, como parte de la explicación causal de la acción y de sus consecuencias. Para lo que se muestra útil la información contenida en las grandes bases de datos procedentes de encuestas realizadas por encargo institucional a empresas de ingeniería, que se

afanan en ofrecer información sobre movilidad cotidiana. Encuestas de ámbito nacional, como “Movilia”, que responden a las “Las siete grandes preguntas del Transporte” Zamorano et al. (2004, p.91) que, planteadas como objeto de análisis de la movilidad, abordan cuestiones meramente sociales:

Tabla 1. “Las siete grandes preguntas del Transporte”

“Las siete grandes preguntas del Transporte”	
¿Quién se mueve?	Permite caracterizar viajes tipo
¿Cómo se mueven?	Permite observar el reparto modal e intermodal
¿Por qué se mueven?	Ofrece información que ayuda conocer los motivos que originan los desplazamientos
¿Cuándo se mueven?	Pregunta relacionada con horarios, estacionalidad, tiempo empleado en desplazarse
¿Cuánto se mueven?	Volúmenes de viajes
¿Dónde van y de dónde vienen?	Orígenes y destinos, movimientos por zonas
¿Cuánto?	Precio que pagan las personas o las familias por desplazarse

Fuente: elaboración propia a partir de Zamorano et al (2004)

Cuestiones que permiten una visión global, de los flujos de desplazamientos en un marco geográfico determinado, respondiendo a estrategias personales/familiares, para atender a actividades de residencia, producción, consumo o recreación, que generan necesidades desplazamiento y transporte (Rodrigo, 1999). El análisis de estas estrategias está determinado por cuestionarios “Tipo”, que recogen información sobre desplazamientos permitiendo la comparación. Pero, desde la sociología y la ingeniería no solo se observan los desplazamientos, también los motivos que los provocan, concurrencia que permite el planteamiento de una posible utilización de este modelo de cuestionario por ambas disciplinas. En defensa del uso interdisciplinar de herramientas metodológicas conjuntas, se manifiestan Hernández y Winter (2011) argumentando la necesidad de un “sistema de indicadores integrados referidos al transporte público y la movilidad”. (pp. 29- 46). Por todo ello, en este trabajo partimos de la premisa de que los cuestionarios utilizados para este modelo de encuesta pueden articular información requerida en ambos campos del conocimiento. Teniendo como objetivo, presentar puntos de encuentro de ambas disciplinas, profundizando en el análisis de cuestionarios “tipo” utilizados por la ingeniería del transporte en encuestas domiciliarias de movilidad, mostrando las aplicaciones que esta herramienta puede tener en el campo de la sociología.

MÉTODO

La elección del cuestionario utilizado en la encuesta de movilidad domiciliaria, como fórmula para acercarnos a la realidad social, no ha sido arbitraria. Se trata de un instrumento que permite profundizar en las distintas dimensiones de los

desplazamientos diarios. (De la Riva et al., 2015) ayudándonos a explicar al estudiantado cómo se producen los datos.

Para ello, se analizarán los ítems que conforman este modelo de cuestionario, mostrando la importancia de la información a extraer en cada uno de ellos. Como aportación final se incluye un apartado destinado a explicar la lógica de los desplazamientos, en el que se recogen debilidades metodológicas observadas en el cuestionario y en su aplicación.

RESULTADOS

Análisis de un cuestionario “tipo” de encuestas de movilidad y su reflejo en estudios sociológicos

Fase I: Información relativa al conjunto familiar

Recaba datos sociodemográficos, información sobre las personas que residen en el hogar, vehículos disponibles y tipo de aparcamiento en el lugar de residencia:

Figura 1. Parte primera del cuestionario

DATOS RELATIVOS AL CONJUNTO FAMILIAR

C.1. Nº TOTAL DE MIEMBROS QUE RESIDEN EN EL HOGAR

Nº TOTAL DE MIEMBROS >5 años QUE RESIDEN EN EL HOGAR

C.2. Nº DE VEHÍCULOS EXISTENTES EN EL HOGAR (DESGLOSAR POR TIPO DE VEHÍCULOS)

- Vehículos turismo _____ 1
- Camión/furgoneta/taxi/autobús (uso exclusivo trabajo) _____ 2
- Motocicletas y ciclomotores _____ 3
- Bicicleta para transporte _____ 4

C.3. TIPO DE APARCAMIENTO EN LA VIVIENDA

- Libre en la calle _____ 1
- Aparcamiento regulado/restringido _____ 2
- Plaza de aparcamiento en propiedad _____ 3
- Plaza de aparcamiento en alquiler _____ 4
- Plaza de aparcamiento gratuito _____ 5

C.4. TELÉFONO DE CONTACTO:

C.5. PERSONA DE CONTACTO: _____

C.6. NOMBRE DE LA CALLE DONDE VIVE: _____

C.7. DÍA DE LA SEMANA EN QUE SE REALIZA LA ENTREVISTA:

MARTES 1 MIÉRCOLES 2 JUEVES 3 VIERNES 4

C.8. DÍA DE MOVILIDAD:

LUNES 1 MARTES 2 MIÉRCOLES 3 JUEVES 4

Fuente: Elaboración propia a partir de Zamorano et al. (2004)

a) Tamaño de la unidad familiar:

Aproximación a la organización de la unidad familiar y necesidades de movilidad de cada uno de sus integrantes. Para el ámbito de estudio de la sociología de la familia “El Tamaño Promedio del Hogar (TPH) es un indicador clásico en los estudios empíricos de demografía de la familia y constituye un parámetro sociodemográfico importante” (Tuirán, 2001, p.35).

Aunque en la realización de encuestas de movilidad se suele encontrar de forma mayoritaria el modelo de familia tradicional resulta importante observar, las nuevas formas de agrupación familiar, grupo doméstico, grupo residente, corresidentes, o núcleo habitacional (Olivero, 2006). La encuesta de movilidad considera el hogar como unidad de análisis, tomando la vivienda como referente, “como el lugar donde las estrategias familiares se ponen en marcha en favor de un proyecto colectivo” (Lazo y Calderón, 2014, p. 124).

b) Número de vehículos existentes en el hogar por tipología de vehículo:

Variable explicativa que permite determinar las posibilidades de movilidad de las familias. Según un estudio de movilidad, realizado en Bogotá en los años 1995 y 2011, en el que se comparaban indicadores de motorización se observó que, hogares con mayores ingresos mostraban un mayor nivel de motorización y realizaban un mayor número de viajes siendo su distribución modal dominada por vehículos particulares (Gómez y Obando 2014). El número de vehículos existentes en el hogar es un indicador socioeconómico de sostenibilidad y eficiencia energética. Es utilizado en investigaciones sobre niveles de vida de la población; aunque, en este tipo de estudios, solo se suele contabilizar el número de vehículos sin tener en cuenta su tipología.

Otra cuestión es no disponer de vehículo privado. Situación que, para los investigadores de la planificación, implica la condición de “cautivo” considerando cautivo/a aquella persona que, para sus desplazamientos, ha de recurrir al transporte público por no disponer de vehículo privado. En sociología, la teoría del cautiverio puede tener impacto en estudios de género. La figura genérica de “cautivo” se convierte en “cautiva” para describir la situación en la que se encuentran, de forma mayoritaria, las mujeres por su condición de principales usuarias de los medios de transporte público. (Llopis y Del Pino: 2014).

c) Tipo de aparcamiento en la vivienda:

Según el “Plan especial de indicadores de sostenibilidad ambiental de la actividad urbanística de Sevilla”, el tipo de aparcamiento es un indicador relacionado con la movilidad y los servicios. Útil desde la ingeniería, para la gestión y planificación de aparcamientos públicos. Este indicador puede ser de interés en sociología urbana, estudios sobre vida urbana y espacios habitables. Respecto al régimen de tenencia de la vivienda (plaza de garaje), propiedad/alquiler, en algunos estudios se utiliza para

medir el grado de desigualdad en las condiciones de vida. Esta información, en su cruce con la recogida sobre el lugar en el que se realiza la encuesta, puede ofrecer resultados sobre el nivel de vida de las familias atendiendo a la zona de residencia.

d) Datos personales:

La encuesta de movilidad se realiza de forma presencial o telefónica; esto supone que previo a la realización de la encuesta, se dispone de información de tipo personal, como es el teléfono, o la dirección exacta del hogar en el que se realiza la encuesta. Esta información permite la posibilidad de generar un Panel, permitiendo contactar nuevamente con los encuestados para solicitar más datos o aclarar dudas. La utilización de este tipo de información irá determinada, en cualquier caso, por la ley de protección de datos.

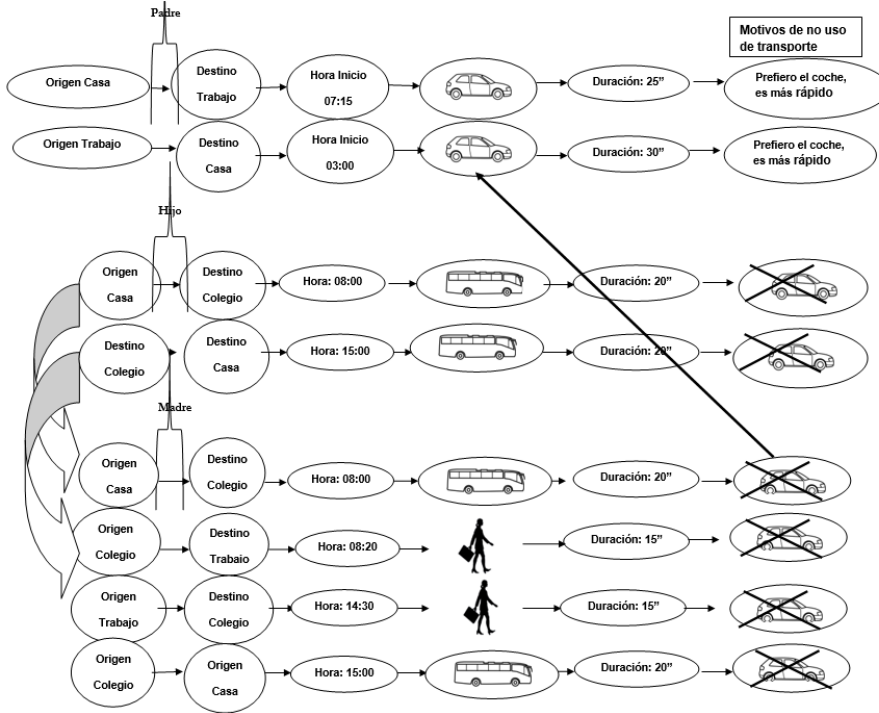
e) Día de realización de las encuestas/día de movilidad observada:

El día en el que se realiza la encuesta de movilidad no es banal. Es necesario realizarla en día laborable para estudiar los desplazamientos cotidianos. Esto siempre es así, salvo que se trate de estudios orientados al estudio del transporte en fines de semana o festivo.

Fase II: Información relativa a los desplazamientos: Las hojas de desplazamiento/diario de viajes:

Las hojas de desplazamiento, entendidas como diarios de viaje, constituyen un elemento distintivo frente a otros modelos de cuestionario. El encuestador recogerá todos los desplazamientos realizados el día anterior por todos los residentes en el hogar, teniendo en cuenta todas las etapas del recorrido, tanto de ida como de vuelta, incluyendo los motivos que indujeron al desplazamiento, medios de transporte utilizados y tiempos empleados para cada uno de ellos. Cada hoja de desplazamiento añade información sobre uno de los residentes en el hogar y cobra sentido en su estudio conjunto. A continuación, se muestra una hoja de desplazamiento correspondiente a un diario de viaje de una encuesta domiciliaria de movilidad:

Figura 2. hoja de desplazamiento cuestionario “tipo”



Fuente: Elaboración propia a partir de Zamorano et al. (2004)

a) Edad, sexo, posición en el hogar y actividad:

Estas variables y el número total de miembros que residen en el hogar nos dan evidencias sobre su composición. A modo de ejemplo: si en el hogar residen dos personas y el entrevistado es esposo, mayor de 75 años y jubilado, la probabilidad de que estemos ante un hogar de personas con poca movilidad o movilidad reducida es alta.

La información sobre hogares envejecidos puede ser de interés en estudios sociológicos sobre calidad de vida y envejecimiento y referente para la toma de decisiones en política social (Rojo y Fernández, 2011). El cruce de estos datos, con la variable tiempo, nos permitiría cuantificar el tiempo que se dedica a cuidados o ayudas. En su cruce con las variables tiempo/sexo: informa sobre la persona encargada de realizar estos desplazamientos, hombre o mujer. Esta información puede resultar de interés en estudios sobre conciliación de vida laboral y familiar o en el análisis de distribución de tareas por género, en estudios de igualdad. Por otro lado, la posición que ocupa el encuestado/a dentro de hogar, arroja información sobre las relaciones de parentesco y la estructura familiar (Tuirán, 2001).

La actividad del encuestado nos acerca a la realidad social de las familias, su situación económica y sus condiciones de vida. Dentro de la encuesta de movilidad la información sobre la actividad se enmarca en el conjunto de la información familiar permitiendo analizar, de forma integrada, mediante el cruce de variables, la situación económica, los hábitos de consumo y los hábitos de movilidad de una misma familia.

b) Los desplazamientos:

Orígenes y destinos: en estudios de ingeniería, pasan por un proceso de ordenamiento territorial o geocodificación. En 1917 Tony Garnier traza la “La Teoría de la Zonificación” planteando “una visión funcionalista de la ciudad que encuentra en la idea de la zonificación un presupuesto determinante” (Benedetto, 1998, p. 314). La definición de zonas susceptibles de ser objeto de normas de uso en los nuevos planes trazados da como resultado final un mapa de zonificación atendiendo a las distintas variables observadas: usos del suelo, zonas residenciales, polígonos industriales, cascos históricos, etcétera. “La utilidad práctica de ejercicios de investigación que intentan sistemáticamente generar zonas en áreas urbanas, tienen diversas utilidades prácticas, sobre todo, para los instrumentos de planeación, particularmente aquellos que buscan la organización espacial de los usos del suelo” (Sousa, 2010, p.85). La zonificación, además de su utilidad operativa orientada a la planificación, se observa importante en sociología urbana para el estudio de usos del suelo, de ciudades y de sus habitantes, en función de patrones económicos, identitarios o culturales.

El origen del desplazamiento supondría el inicio del periplo a realizar por la persona entrevistada. En las hojas de movilidad se recoge información sobre el origen del desplazamiento con alto nivel de concreción. Esta información sumada a la recogida anteriormente, socio demográfica y socio económica de los entrevistados, es aplicable en estudios de: sociología urbana, estudios sobre segregación residencial y desigualdad social, así como también, en estudios sobre Ecología Humana (Cortés, 1998) donde la vivienda se estudia como parte del ecosistema social. De igual forma se registra el destino de todos los desplazamientos lo que ofrece información sobre las distancias recorridas en cada viaje. Esta información permite zonificar para poder proceder al análisis posterior de los datos atendiendo a la distribución espacial de los movimientos realizados. Los modelos de distribución zonal, en ingeniería, son importantes en tanto que explican la distribución espacial de los desplazamientos mostrando hacia qué zonas de destino se dirigen los viajes producidos en una zona de origen concreta. Pudiendo estimar, de este modo, las matrices origen-destino (Zamorano et al. 2004). Para estudios sociológicos sobre usos del tiempo la información sobre destinos puede resultar reveladora en su cruce con las variables, motivo del viaje y hora en la que se origina el desplazamiento.

c) Hora de inicio y motivo del desplazamiento:

Aunque con fines distintos, tanto en ingeniería como en sociología, se observa la distribución temporal de los viajes en función de los motivos que los promueven. A los Sociólogos, según Bericat (1994) “nos deben interesar fundamentalmente las relaciones entre la movilidad y el mundo social o aquellas relacionadas ente el mundo material y social condicionadas sensiblemente por el fenómeno de la movilidad en el espacio-tiempo” (p. 51) tiempo vinculado a la organización social. Partiendo de esta teoría, la hora de inicio del desplazamiento y los motivos que lo generan tienen una lectura conjunta”: el tiempo de desplazamiento ha de sumarse al tiempo dedicado a la actividad que lo origina.

A la información recogida sobre la hora de inicio del viaje, habría que añadir la duración del desplazamiento para obtener información detallada y minuciosa sobre el tiempo total que las personas destinamos a la realización de un desplazamiento. Esta información, junto a la de los motivos que lo provocan, es de gran utilidad en investigaciones sobre usos del tiempo. Atendiendo a los motivos, hay que resaltar diferencias de significado para ambas disciplinas, frente a un mismo concepto, “movilidad obligada”. En ingeniería se observa como aquella movilidad cuyo motivo es trabajo y estudios; en sociología el concepto de “movilidad obligada” implicaría todos aquellos motivos que se realizan por obligación incluyendo, además de los anteriores, los acompañamientos a escolares o, mayores a centros de salud, aprovisionamiento del hogar, etcétera.

Reparto o Elección modal:

Mientras que la Ingeniería observa una “distribución o reparto” en los distintos modos de transporte, para la Sociología sería una “elección o decisión” propia del individuo sobre su modo de desplazarse. ¿De qué depende la elección o el reparto modal?; podría tratarse de razones: de operatividad, identitarias, culturales, económicas o medioambientales. Puede depender de: la edad, del género, del nivel socioeconómico e incluso de la distancia o el tiempo del que se disponga para realizar el desplazamiento. En la decisión modal pueden estar presentes otros motivos relacionados con: la comodidad, la dificultad/facilidad de aparcamiento, la rapidez o la cautividad. Cuestiones, que confluyen en la decisión de elección del modo de transporte y se asocian, a factores psicológicos o sociológicos pasando los relativos a aspectos económicos a un segundo plano (Federación Española de Municipios y provincias [FEMP], 2009). En estudios de movilidad, orientados a la planificación, la elección de un medio de transporte puede tener un impacto significativo para determinar la demanda.

d) Duración aproximada del desplazamiento: dimensión temporal

El análisis de la movilidad orientado a la gestión y planificación se basa en un conjunto de desplazamientos en un periodo determinado de tiempo y en un ámbito

espacial. El tiempo que se dedica a desplazamientos se resta a otras actividades y no siempre se cuantifica. Los estudios sociales sobre usos del tiempo son recurrentes desde la perspectiva de género; se suele observar el tiempo dedicado al trabajo remunerado, el tiempo libre, estudio o el tiempo dedicado al trabajo doméstico y necesidades personales (De la Fuente, 2007). Desde la magnitud espacio/tiempo y desde la idea de: “Ser transportado”, es desde donde plantea un campo de investigación, sobre el transporte, propio de la Sociología (Antolín, 1999).

e) Recurrencia y coste del desplazamiento:

La recurrencia en el desplazamiento es un indicador que permite observar si estamos ante patrones que responden a hábitos, o desplazamientos esporádicos.

El gasto destinado al transporte formaría parte del análisis de la estructura del gasto en los hogares. La distribución del gasto y el análisis de su incidencia en transporte público es objeto de estudio por parte de Eurostat y del INE en su encuesta de presupuestos familiares. En ingeniería del transporte encontramos estudios que analizan los efectos redistributivos de las subvenciones destinadas al transporte público (Asensio et al. 2000). De estos últimos dependen las posteriores intervenciones tarifarias. La capacidad de pago es una variable central para entender la movilidad. “El dinero es parte del capital físico que cualquier persona debe activar para acceder a las estructuras de oportunidades de transporte” (Hernández, 2014, p. 163).

Aparcamiento en destino:

Responde a la necesidad de plazas de aparcamiento público. Lugares donde dejar el vehículo y desplazarse a pie tratando de equiparar el transporte en vehículo privado y público en la primera o última etapa del acceso realizado a pie. El aparcamiento en destino es un indicador en Planes de Movilidad Urbana Sostenible y en estudios medioambientales.

f) Motivo de uso del transporte público/ transporte privado:

Se trata de una pregunta encaminada al conocimiento de los deseos, necesidades o preferencias de las personas ante la decisión del modo de transporte para desplazarse.

La lógica de los desplazamientos

Parte del análisis sociológico, en estudios de movilidad, se centraría en la observación de estrategias familiares frente a la movilidad cotidiana. Para entender el sentido de la lógica, empleada por todos los miembros del hogar, es necesario hacer lectura de todas las respuestas obtenidas en la encuesta de forma encadenada y extendiendo el análisis al global de desplazamientos.

A continuación, se muestra una representación ejemplificada, de un análisis relacional de movilidad cotidiana:

Figura 3. Representación ejemplificada de viajes polietápicos

HOJA DE DESPLAZAMIENTOS													
D.C.A. EDAD ENTREVISTADO: <input type="text"/> años													
D.C.B. SEXO: Hombre.....1 <input type="checkbox"/> Mujer.....2 <input type="checkbox"/>													
D.C.C. POSICIÓN EN EL HOGAR: PADRE/MADRE.....1 <input type="checkbox"/> HIJO/A.....2 <input type="checkbox"/> ABUELO/A.....3 <input type="checkbox"/> OTROS.....4 <input type="checkbox"/>													
D.C.D. ACTIVIDAD:													
AMA DE CASA.....1 <input type="checkbox"/> PARADO-BUSCANDO EMPLEO.....2 <input type="checkbox"/> TRABAJADOR CTA PROPIA.....3 <input type="checkbox"/> MENOR.....7 <input type="checkbox"/>													
JUBILADO/PENSIONISTA.....2 <input type="checkbox"/> ESTUDIANTE.....4 <input type="checkbox"/> TRABAJADOR CTA AJENA.....6 <input type="checkbox"/>													
P.A. ¿Realizó Ud. algún desplazamiento en el día de ayer, ya sea andando o en algún medio de transporte?													
• SI.....1 <input type="checkbox"/> → Pasar a P.1.													
• NO.....2 <input type="checkbox"/> → PASAR A P.B. Y DESPUÉS A OTRO MIEMBRO DEL HOGAR (con algún desplazamiento). SI NO: FIN DE LA ENCUESTA													
P.B. ¿Por qué no se desplazó Ud. en el día de ayer?													
• No quise salir de casa.....1 <input type="checkbox"/>													
• Por enfermedad temporal.....3 <input type="checkbox"/>													
• Lo decide otra persona.....6 <input type="checkbox"/>													
• Incapacidad o impedimento.....4 <input type="checkbox"/>													
• Otros motivos (especificar)..... <input type="text"/>													
• Temas que atender el hogar.....2 <input type="checkbox"/>													
• Estudia o trabaja en casa.....5 <input type="checkbox"/>													
P.1	P.2	P.3	P.4	P.5-ETAPAS DEL VIAJE			P.6	P.7	P.8	P.9	P.10	P.11	P.12
Zona ORIGEN	Zona DESTINO	Hora	Motivo	1- Etapa MODO	2- Etapa MODO	3- Etapa MODO	Duración TOTAL (minutos)	Tipo de desplazamiento	Coste del desplazamiento	Aparcamiento en destino	Motivos de no uso del vehículo privado en este viaje	Motivo de no uso del transporte público en este viaje	Si dispone de bicicleta y no la ha utilizado en este viaje ¿Motivo?
		1 <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		2 <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		3 <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		4 <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Elaboración propia

Las estrategias de movilidad están mediadas por la elección racional, atendiendo a factores económicos, temporales, e incluso de poder “quien utiliza el único vehículo del que se dispone en el hogar o quien ejerce las labores de acompañamiento”. Se trata de hacer lectura de las coincidencias en los desplazamientos de varios miembros de la familia y de la duplicidad de horarios de inicio de cada desplazamiento realizado. En el análisis sociológico los viajes polietápicos se podrían considerar como un bloque de preguntas encadenadas que se retroalimentan para ofrecer una rica información de conjunto.

Existen escasas evidencias sobre el uso de hojas de desplazamiento, para la recogida de información, en estudios sociológicos orientados a la movilidad. La “Encuesta Social de Movilidad en las Regiones Urbanas de Andalucía” realizada por (IECA) en 2011 es la única encuesta, Origen/Destino, en la que el concepto “social” aparece junto al de “movilidad”; en sociología ambos conceptos se unen para tratar el análisis de posiciones en la escala social o la movilidad migratoria. Un precedente de utilización de datos procedentes de encuestas de movilidad lo encontramos en una investigación “Sobre el Uso del Tiempo” (Duran y Roguero, 2009)

Debilidades metodológicas observadas en el cuestionario y en su aplicación

Factores económicos y de complejidad en la ejecución dan lugar a decisiones, respecto a la realización del trabajo de campo, susceptibles de sesgos en la investigación. Dos cuestiones nos acercan al problema: la primera determinar el encuestado ¿Quién contesta la encuesta? La segunda, la unidad de análisis, ¿La encuesta se realiza a residentes o a hogares? Intentaremos dar respuesta a ambas cuestiones: Según el planteamiento metodológico ideado para este modelo de encuesta, la información se recoge a través de una sola persona encargada de responder a preguntas sobre la composición del hogar (parte I del cuestionario). La persona informante ha de ser responsable y mayor de edad. Esto, que parece obvio, cambia en la segunda parte del cuestionario en la que se recoge información facilitada por todos y cada uno de los miembros que residen en el hogar. En esta segunda parte se toma como edad de referencia, para la recogida de datos, a mayores de 12/16 años. Este procedimiento, garantiza la fiabilidad de las repuestas en tanto que la persona que responde está informando sobre sus propios desplazamientos. Aunque esto no siempre es así, hay encuestas en las que el entrevistado es quien facilita información sobre los desplazamientos del resto de residentes en el hogar (Llopis Orrego et al. 2024).

Otra de las cuestiones es la representatividad de la información recogida sobre los desplazamientos de un solo día (Santana, 2009). Sesgo que se intenta minimizar con grandes muestras que aseguran la representatividad de la encuesta.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

La ingeniería del transporte y la sociología no se advierten, como disciplinas ajenas. Si la sociología era observada como parte importante en estudios de movilidad orientados a la gestión y la planificación del transporte, aquí se pone de manifiesto la necesidad de colaboración para la consecución de propuestas efectivas frente a la demanda de transporte público.

Pese a las debilidades encontradas sobre cómo se construyen o generan los datos, originadas por las distintas fórmulas empleadas para administración de la encuesta, las hojas de desplazamiento, entendidas como diarios de viaje, constituyen un elemento distintivo de esta tipología de encuesta con el que se alcanza un alto nivel de concreción y con ello de excelencia de la información recogida. Se ha puesto de manifiesto como las encuestas de movilidad ofrecen indicadores de interés para la investigación social y como el uso de bases de datos procedentes de estudios de movilidad, pueden ofrecer información útil en investigaciones sobre usos del tiempo y estudios de género.

REFERENCIAS

Antolín, J.E. (1999). El transporte como problema sociológico. *Inguruak: Soziología eta Ciencia Política Euskal Aldizkaria, Revista Vasca de Sociología y Ciencia Política*, 2, 57-70. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=127643>

Asensio, J., Matas, A., y Raymond, J.L. (2000). Efectos redistributivos de las subvenciones al transporte público en áreas urbanas. Recuperado de <http://www.ecap.uab.es/RePEc/doc/WP0108.PDF>

Benedetto, B. (1991). *Historia del urbanismo en Europa 1750-1960*. Akal Arquitectura.

Bericat, E. (1994). *Sociología de la movilidad espacial. El sedentarismo nómada*. CIS.

Coller, X. (2003). *Canon Sociológico*. Tecnos.

Cortés, L. (1998). *La cuestión residencial: bases para una sociología del habitar*. Fundamentos.

De la Fuente, M. (2007). Usos del tiempo, estereotipos, valores y actitudes. Recuperado de <http://www.inmujer.gob.es/areasTematicas/estudios/serieEstudios/docs/usosdelTiempo.pdf>

De la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., y Rodrigues, M. (2015). Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación. *Universidad de Zaragoza-AGE, 2055-2063*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Maria-Sebastian-Lopez/publication/299468787_Metodologia_para_la_delimitacion_y_caracterizacion_de_unidades_funcionales_de_transporte/links/56fa46e708ae7c1fda317f4f/Metodologia-para-la-delimitacion-y-caracterizacion-de-unidades-funcionales-de-transporte.pdf

Duran, M.A. y Roguero, J. (2009). *La investigación sobre el uso del tiempo*. CIS, N° 44.

Encuesta Social 2011. Movilidad en las Regiones Urbanas de Andalucía. Recuperado de <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/encsocial/2011/>

FEMP. (2009). Factores determinantes del transporte público urbano colectivo en España. Recuperado de <http://www.femp.es/files/566-637-archivo/Informe%20Transporte%20publico%20%20FINAL.pdf>

Ferro, L. (2005). Ao encontro da sociologia visual. *Sociología: Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto*, 25, 373-398. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4265/426540419017.pdf>

Gómez, G. y Obando, C. (2014). La motorización, el número de viajes y la distribución modal en Bogotá: pasado y posible futuro. *Revista de Ingeniería*, 40, 6-13. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n40/n40a02.pdf>

Hernández, D. (2014). Políticas de transporte público y su efecto sobre la equidad. Avances y desafíos en la reforma del sistema de la ciudad de Montevideo. *Crítica y Emancipación*, 11, 161-214. Recuperado de http://www.ucu.edu.uy/sites/default/files/pdf/2015/politicas_transporte_publico.pdf

Hernández, D. y Witter, R. (2011). Entre la ingeniería y la antropología: hacia un sistema de indicadores integrado sobre transporte público y movilidad. *Revista Transporte y Territorio*, 4, 29-46. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333027082003>

Lazo, A. y Calderón, R. (2014). Los anclajes en la proximidad y la movilidad cotidiana. Retrato de tres barrios de la Ciudad de Santiago de Chile. *Eure*, 40(12), 121-140. Recuperado de <http://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/531>

Llopis, M. y del Pino, M.J. (2014). Apuntes sociológicos sobre la necesidad de integración de la perspectiva de género en los estudios destinados al transporte público. En *Actas del V Congreso Universitario Internacional "Investigación y Género"* (pp. 944-955). Recuperado de <https://idus.us.es/xmlui/browse>

Llopis, M., Dorado, M.J., Murciano, J., y Santiesteban-Álvarez, A.M. (2024). La integración de la perspectiva de género en las políticas de movilidad sostenible: un análisis multinivel desde las políticas de la Unión Europea, España, Andalucía hasta el ámbito local. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 56, 220. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/104489>

Olivero, S. (2006). *Sociedad y economía en San Isidro Colonial. Buenos Aires Siglo XVIII*. Universidad de Sevilla.

Rodrigo, A. (1999). Análisis del problema del transporte urbano. *Ciencia al Día*, 2(1). Recuperado de <http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen2/numero1/articulos/articulo2.html>

Rojo-Pérez, F. y Fernández-Mayoralas, G. (2011). *Calidad de Vida y Envejecimiento: La visión de los mayores sobre condiciones de vida*. Fundación BBVA. Recuperado de http://www.fbbva.es/TLFU/dat/DE_2012_calidad_vida.pdf

Santana, M. (2009). Análisis comparativo de metodologías estadísticas y definición de variables de las encuestas de viajes de Bogotá, años 1995 y 2005. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, 29, 148-155. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n29/n29a18>

Sousa, E. (2010). La zonificación de áreas metropolitanas en la contemporaneidad latinoamericana. *Urbano*, 22, 78-86. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19817730010>

Tuirán, R. (2001). Procesos sociales, población y familia: alternativas teóricas y empíricas en las investigaciones sobre la vida doméstica. *Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales*.

Zamorano, C., Bigas, J.M., y Sastre, J. (2004). *Manual para la planificación, financiación e implantación de sistemas de transporte urbano*. Consorcio Regional de Transportes de Madrid.

CAPÍTULO 16

P-GPT: UN MODELO DE LENGUAJE DE GRAN TAMAÑO PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE PROPUESTAS DE TRABAJO FIN DE TÍTULO

JOSÉ LUIS LÓPEZ RUIZ*, JUAN FRANCISCO GAITÁN GUERRERO*,
ANTONIO PEDRO ALBÍN RODRÍGUEZ**, DAVID DÍAZ JIMÉNEZ*, Y
MACARENA ESPINILLA*

**Universidad de Jaén; **IES Las Fuentezuelas*

INTRODUCCIÓN

La importancia de los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLMs por sus siglas en inglés) en la sociedad actual es innegable, ya que han transformado múltiples sectores, incluido el ámbito docente. Estos modelos, tales como GPT, LLaMA o Mistral AI han demostrado ser herramientas valiosas para tareas (Kasneci et al., 2023; Zawacki-Richter et al., 2019) que van desde la generación de textos hasta la asistencia en la enseñanza personalizada, la personalización en la tutorización y la automatización de procesos educativos en general. En un contexto en el que la personalización y la eficiencia son esenciales, los LLMs proporcionan un enfoque adaptable y escalable, facilitando la interacción de docentes y estudiantes con tecnologías avanzadas que promueven el aprendizaje autónomo y estimulan la creatividad.

En el ámbito educativo, aunque los LLMs pueden ofrecer un apoyo considerable a los estudiantes (Firat y Kuleli, 2024; Kasneci et al., 2023), este tipo de modelos también están siendo explorados como una herramienta para mejorar la enseñanza. A través de la automatización de procesos repetitivos, los docentes pueden optimizar su tiempo, permitiéndoles centrarse más en aspectos pedagógicos esenciales.

En la literatura actual, se abordan una gran diversidad de oportunidades (Abdalrazaq et al., 2023; Huber et al., 2024) que se ofrecen al docente como por ejemplo el apoyo en tareas de gestión tales como en el desarrollo de unidades didácticas o planes de estudio, el desarrollo de planes de evaluación basados en competencias, o incluso son capaces de proporcionar una retroalimentación rápida procesando los datos del estudiante. También, existen modelos (Chen et al., 2024) capaces de tutorizar al estudiante de forma personalizada, proporcionando contenido educativo y ejercicios prácticos específicos en función de sus objetivos, compromiso y comprensión de los conceptos.

Aunque los modelos LLMs generales como GPT están proporcionando resultados prometedores, la calidad de su respuesta puede verse muy limitada en tareas

específicas. Aunque existen algunas técnicas como la ingeniería de prompts para mejorar las respuestas, en casos particulares es mucho más apropiado adaptar el modelo (Li et al., 2024) con datos más especializados. A esta técnica se le conoce como fine-tuning, y nos permite no sólo especializar y actualizar el modelo, sino también mejorar problemas de sesgo (Bartl y Leavy, 2024).

En la actualidad, aunque existen diversos modelos open source tales como LLaMA, los modelos GPT tienen ciertas ventajas. La principal ventaja es que se oferta como servicio en la nube, lo que elimina la necesidad de una infraestructura propia para ejecutar modelos LLMs (González-Mayorga et al., 2024). Esto reduce el coste y la complejidad técnica, y permite una mayor escalabilidad. Además, estos modelos son los más demandados debido a la calidad de sus respuestas.

En la educación superior, algunas tareas pueden ser repetitivas, como la creación de propuestas para un Trabajo Fin de Título (TFT). Para evaluar la viabilidad de una solución que automatice este proceso y asegurar que pueda replicarse en otros contextos, es fundamental centrarse en un tipo específico de TFT y en una titulación concreta. En este caso, se ha elegido el Grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Jaén (UJA) como ejemplo.

Por tanto, el objetivo principal de este capítulo de libro es desarrollar una herramienta que simplifique la generación de propuestas de TFT para la titulación del Grado en Ingeniería Informática, permitiendo que este enfoque también pueda aplicarse a otros grados universitarios.

A continuación, se definen las principales novedades de este capítulo de libro.

- Desarrollar una metodología innovadora para crear un modelo LLM basado en GPT, capaz de generar de manera eficiente y precisa propuestas personalizadas para TFTs específicos, adaptándose a las necesidades y requisitos académicos particulares de cada proyecto.

- Diseñar un modelo denominado P-GPT para automatizar la generación de propuestas de TFT en el Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Jaén. Este modelo permite optimizar el proceso de creación de propuestas, manteniendo un alto nivel de calidad y alineación con los requisitos académicos.

- Evaluación cualitativa realizada por docentes donde se destaca positivamente la capacidad del modelo P-GPT para generar propuestas coherentes, estructuradas y alineadas con los estándares académicos.

El presente capítulo de libro se encuentra dividido en las siguientes secciones. En primer lugar, se establece la estructura que sigue una propuesta TFT de manera genérica y se explica el proceso de fine-tuning para ajustar un modelo previamente entrenado a una tarea específica. A continuación, se presenta una metodología general para la generación de un modelo LLM basado en GPT-4o aplicado a la estructura de una propuesta en el Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Jaén.

Posteriormente, se presenta la evaluación del modelo P-GPT en términos de calidad de las propuestas generadas, realizada por un grupo de docentes. Se incluye un análisis de resultados que comprende la medición del grado de similitud entre las propuestas generadas y las humanas.

MATERIALES

En esta sección, se describen la estructura de una propuesta TFT y la diversidad de estructuras que existen en el mismo. Además, se explicará el uso de la técnica de fine-tuning en el modelo GPT-4o para adaptar un modelo preentrenado a esta tarea concreta, optimizando la generación de propuestas de TFT alineadas con los estándares académicos del Grado en Ingeniería Informática.

Estructura de una propuesta de TFT y diversidad entre universidades

En esta sección se describe en qué consiste una propuesta de TFT centrándonos en el caso particular de una titulación, destacando la gran diversidad de formatos y estructuras que pueden encontrarse entre distintas universidades.

Las propuestas de TFT son documentos clave en el proceso de finalización de los estudios de grado o máster. Estas propuestas proporcionan una descripción detallada del proyecto que los estudiantes deben desarrollar, estableciendo una hoja de ruta clara que incluye los objetivos específicos o la bibliografía, entre otros. Además, sirven como una guía estructurada para asegurar que el estudiante aborde el proyecto de manera coherente y alineada con los objetivos académicos de su titulación.

La diversidad en las propuestas de TFT es notable, ya que cada universidad, y en algunos casos, cada facultad, establece sus propios criterios y directrices en función de sus planes de estudio y normativas. Algunas instituciones exigen propuestas exhaustivas, con descripciones detalladas sobre los requisitos técnicos y el impacto del proyecto, mientras que otras pueden requerir un formato más simple y genérico. Esta variabilidad en las propuestas implica que la generación de estos documentos no es un proceso uniforme. En algunas facultades, se espera que los docentes personalicen cada propuesta de acuerdo a las necesidades específicas del estudiante o del tema a tratar, mientras que en otras se utilizan plantillas estandarizadas con menos margen para la personalización.

Para evidenciar esta diversidad, se ha centrado el análisis en las estructuras que se definen en la titulación del Grado de Ingeniería Informática en diferentes universidades españolas. Para ello, se han seleccionado cinco universidades diferentes: Universidad de Alicante, Universidad Rey Juan Carlos, Universidad de Granada y la Universidad de Jaén. Estas estructuras se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Elementos requeridos en propuestas de TFT para el Grado de Ingeniería Informática en universidades españolas

Universidad de Alicante	Universidad Rey Juan Carlos	Universidad de Granada	Universidad de Jaén
		1. Título	
2. Resumen	2. Tecnologías Específicas	2. Breve descripción incluyendo objetivos	2. Descripción
3. Objetivos concretos	3. Descripción y objetivos	3. Conocimientos previos	3. Conocimientos previos
4. Metodología a emplear	4. Metodología y competencias	4. Hardware y software	4. Objetivos
5. Relación con asignaturas cursadas	5. Medios a utilizar		5. Metodología
6. Bibliografía	6. Bibliografía		6. Documentos a entregar

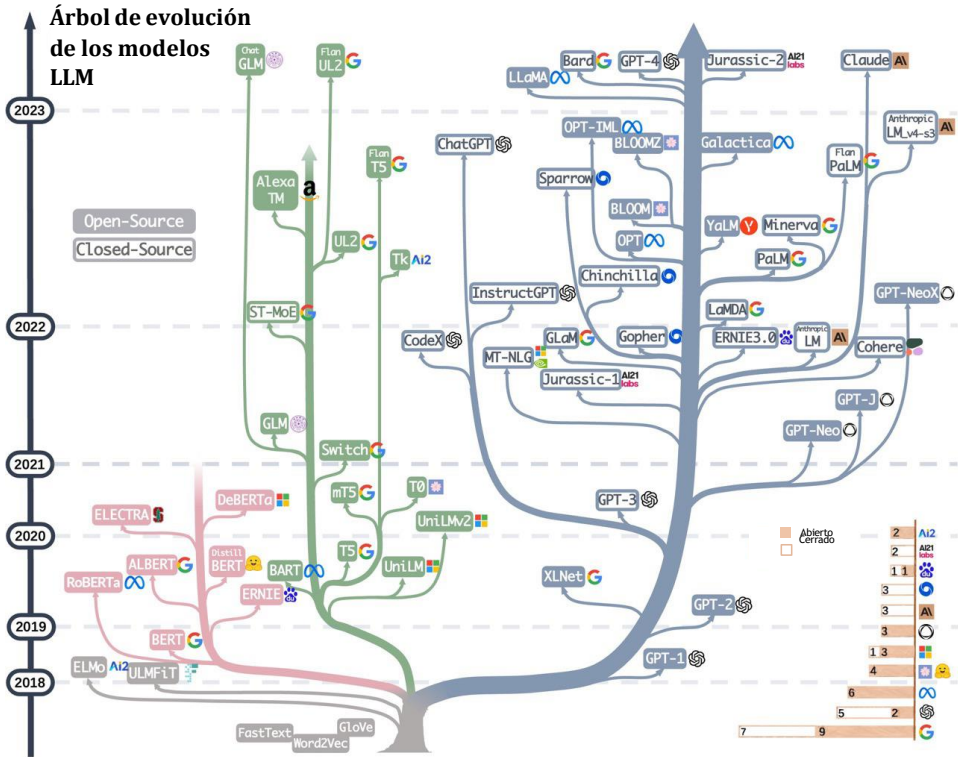
Tras realizar un breve análisis, se puede observar que todas las estructuras requeridas para la definición de una propuesta incluyen al menos un título, una breve descripción o resumen y unos objetivos. En cambio, en la estructura también se puede encontrar la definición de la metodología y los elementos requeridos para su desarrollo como haber cursado asignaturas, tecnología específica o incluso conocimientos previos en general. También, en otros casos se definen competencias, bibliografía y documentos específicos que deben ser entregados por parte de los estudiantes. De las cuatro universidades de ejemplo, la Universidad de Granada es la menos específica, debido a que no define una metodología.

Por tanto, esta diversidad supone una limitación en la generación de propuestas automáticas basadas en LLM, ya que no hay una estructura común. Por tanto, es necesario establecer métodos que permiten generar propuestas de calidad enfocadas en una titulación impartida en una institución universitaria en particular.

En este documento nos centraremos en la estructura del Grado de Ingeniería Informática de la UJA para generar propuestas automáticas de Trabajo Fin de Grado (TFG). Por tanto, es esencial definir los diferentes aspectos de una propuesta TFG para esta titulación y son los siguientes:

- Estructura: título, descripción, conocimientos previos (opcional), objetivos, metodología y documentos a entregar (obligatoria autorización para publicación en abierto e informe favorable del tutor).
- Modalidad: proyecto de ingeniería o teórico/experimental.

Figura 1. Árbol de evolución de los modelos LLM desde 2018-2023



Fuente: adaptación de Yang et al. (2023)

Técnica de Fine-Tuning

El fine-tuning (Bartl y Leavy, 2024) es una técnica en el campo del aprendizaje automático que consiste en ajustar un modelo previamente entrenado en un conjunto de datos general a una nueva tarea específica. En lugar de entrenar un modelo desde cero, se utiliza un modelo ya preentrenado, en el que ha aprendido representaciones generales a partir de grandes cantidades de datos. En este caso particular, partiendo del modelo GPT-4o general.

El proceso de fine-tuning se basa en la idea de que los modelos preentrenados ya han capturado una vasta cantidad de conocimientos sobre el lenguaje, imágenes u otros tipos de datos en sus primeras capas. Estos modelos son capaces de identificar patrones complejos, tales como relaciones semánticas entre términos, lo cual es transferible entre tareas diversas. Al aplicar el fine-tuning, se ajustan principalmente las últimas capas del modelo, donde las representaciones específicas de la tarea se refinan, mientras que las primeras capas, que capturan características más generales, permanecen casi intactas.

Esta técnica ha ganado popularidad porque reduce la necesidad de disponer de grandes cantidades de datos específicos para entrenar un modelo desde cero. Lo que resulta de utilidad en situaciones donde los datos son escasos o costosos de obtener. Además, mejora el rendimiento de los modelos en tareas específicas y reduce el tiempo y los recursos necesarios para entrenar modelos efectivos.

MÉTODO

En la presente sección, describiremos el proceso general utilizado para la generación automática de propuestas TFG mediante un modelo LLM. Así, en primer lugar, se especifica el modelo seleccionado y, posteriormente, se detallará el proceso de creación del modelo LLM específico para la generación automática de estas propuestas, con un enfoque basado en ingeniería de prompts y fine-tuning con el objetivo de adaptar el modelo a unas necesidades académicas concretas.

Selección del Modelo LLM

Para la creación de un modelo capaz de generar propuestas de TFG, es necesario estudiar y analizar los diferentes LLM que se encuentran a nuestra disposición con el objetivo de seleccionar el modelo más apropiado para nuestro contexto particular.

Inicialmente, en 2018 los modelos de representaciones estáticas de palabras, como FastText, GloVe y Word2Vec, sentaron las bases para el desarrollo de los modelos de lenguaje contextuales, como BERT y GPT. Los LLMs no solo producen representaciones de palabras, sino que utilizan la arquitectura específica para procesar secuencias enteras de texto, capturando dependencias a largo plazo y generando representaciones contextuales dinámicas.

Actualmente, de todos los modelos disponibles, LLaMA es un modelo abierto que está siendo muy utilizado debido a sus grandes resultados. Sin embargo, para poder desplegar los modelos más complejos tales como LLaMA 3.1 405B o 70B, es necesario mantener una gran infraestructura que sea capaz de almacenar y ejecutarlos en tiempo real. En cambio, hay otros modelos que se encuentran como un servicio en la nube a un coste asequible y con una calidad igual o mayor, y con la posibilidad de integrarse en nuestras propias herramientas. Estos son los modelos GPT.

Por dicho motivo, en este capítulo de libro se ha seleccionado el modelo más reciente de la familia GPT, la versión 4o.

Personalización del prompt

La ingeniería de prompts es un elemento esencial para mejorar la respuesta de los modelos generales LLM. Esta disciplina es especialmente relevante, debido a que nos permite diseñar adecuadamente el prompt para dirigir el modelo hacia la solución correcta de un problema.

Mediante la adecuada construcción de un prompt, es posible generar resultados alineados con los objetivos específicos del usuario. Asimismo, la ingeniería de prompts constituye una técnica fundamental para adaptar LLMs a tareas específicas, sin la necesidad de realizar un ajuste completo o exhaustivo del modelo mediante fine-tuning. Es un enfoque más ágil y flexible que permite sacar el máximo provecho del modelo sin requerir recursos computacionales adicionales.

Para diseñar este tipo de prompts se recomiendan las siguientes tareas clave:

- Definir un rol para indicar cómo debe actuar el modelo.
- Contextualización de la pregunta.
- Se debe ser muy claro y detallado.

Por tanto, inicialmente se va a diseñar un prompt con el objetivo de buscar respuestas precisas en el modelo GPT-4o general. Para ello, en base a las recomendaciones, se ha elaborado un prompt personalizado para generar respuestas enfocadas en la generación de propuestas de TFG para el Grado en Ingeniería Informática de la UJA. A continuación, se incluye el prompt que se ha diseñado.

Prompt propuesto

Actúa como profesor del Grado de Ingeniería Informática en la Universidad de Jaén.

Objetivo

generar una propuesta de Trabajo Fin de Grado en relación a la descripción proporcionada y a su modalidad.

Estructura

la propuesta debe tener un título, unos conocimientos previos, unos objetivos, una metodología y la documentación a entregar.

Modalidad

[Proyecto de Ingeniería o Teórico/Experimental].

Descripción

[Breve resumen de la propuesta].

Para comprobar la efectividad de la personalización del prompt, se han analizado dos propuestas diferentes: sin personalización y con personalización.

Dada la extensión de las respuestas que han proporcionado los modelos, se ha incluido un ejemplo de cada tipo en el enlace (<https://github.com/jossellr/P-GPT->

Resultados/tree/main/Propuestas%20seccion%202.3). A continuación, en la Tabla 2 se incluye un breve análisis de las dos respuestas.

Tabla 2. Comparativa entre la generación automática de propuestas de TFG con y sin personalización mediante el modelo GPT-4o

Prompt		
[MODALIDAD] = Proyecto de Ingeniería	<p>Genera una propuesta de Trabajo Fin de Grado sobre el siguiente tema</p> <p>Actúa como profesor del Grado de Ingeniería Informática en la Universidad de Jaén.</p>	
[DESCRIPCIÓN] = En la actualidad las plataformas web sanitarias son una herramienta esencial para la mejora de calidad de vida en pacientes debido a que proporcionan una mejor gestión de los datos y permiten realizar tratamientos personalizados por parte del personal sociosanitario. En el ámbito sociosanitario, los pacientes con diabetes generan una gran cantidad de datos a través de dispositivos IoT de medición continua de glucosa. Por tanto, en este Trabajo Fin de Grado se propone el desarrollo de una plataforma web centralizada enfocada en el ámbito sociosanitario para gestionar datos de personas diabéticas tipo I. Esta aplicación permitirá gestionar los datos de glucosa desde diferentes roles: paciente, personal sociosanitario y familiares. Para la implementación el alumno deberá utilizar las tecnologías webs que mejor se adapten al proyecto.	<p>Objetivo: generar una propuesta de Trabajo Fin de Grado en relación a la descripción proporcionada y a su modalidad. Estructura: la propuesta debe tener un título, unos conocimientos previos, unos objetivos, una metodología y la documentación a entregar. Modalidad: [MODALIDAD] Descripción: [DESCRIPCIÓN]</p>	
	Sin personalización	Con personalización
Extensión media (palabras)	512	492
¿El texto tiene coherencia?	✓	✓
¿Define la propuesta siguiendo la estructura de la UJA?	X	✓
¿La respuesta es concisa?	X	X
¿Podría utilizarse para una propuesta real?	X	X

Las respuestas obtenidas para los dos prompt son coherentes, pero en el caso de la personalización el modelo nos ha proporcionado una respuesta con los elementos de la estructura indicada. No obstante, sigue incluyendo un resumen al finalizar la propuesta. Además, ambas respuestas incluyen objetivos que no se indican en la descripción y complican el TFG, como la incorporación de sensores de glucosa en el sistema.

Para el caso de la respuesta sin personalización, se incluyen otros aspectos como la revisión de la literatura, referencias, resultados esperados, conclusiones y trabajos futuros y, recomendaciones adicionales.

Por último, en ambos casos las respuestas son demasiado extensas, siendo la media de TFGs reales en el Grado de Ingeniería Informática de 224 palabras (sin incluir la descripción).

Tras el análisis general concluimos que el prompt con personalización funciona mejor, pero es necesario aplicar métodos adicionales para obtener resultados más concisos y de mayor calidad.

P-GPT: modelo fine-tuning para generar propuestas de TFG

Tras la evaluación de los modelos generales se ha demostrado la necesidad de incorporar técnicas diferentes que nos permitan generar respuestas con mejores resultados. Por ello, se va a aplicar la técnica fine-tuning para generar un modelo más específico a partir de propuestas reales. Este modelo lo denominaremos P-GPT.

Para poder especializar al modelo, se han recogido datos del histórico de TFGs del Grado en Ingeniería Informática de la UJA disponibles en la plataforma web de la Escuela Politécnica de la Universidad de Jaén (<http://eps-anterior.ujaen.es/TFGtemporal/index.php>).

De todo el histórico de TFGs recuperados, se ha realizado un proceso de filtrado eliminando propuestas incompletas o con errores y se ha adaptado el contenido de algunas secciones. Por ejemplo, en los casos en los que se requiere en la entrega de la documentación la memoria en papel o en un disco compacto. Una vez realizado este procedimiento, se han obtenido un total de 951 propuestas de TFG para utilizarlas en el proceso fine-tuning de especialización.

Para poder especializar al modelo GPT-4o, es necesario convertir toda la información en forma de conversaciones, incluyendo ejemplos del paso de mensajes entre el usuario y el modelo. Para ello, es esencial proporcionar qué solicita el usuario y cuál es la respuesta idónea. El modelo requiere registros en formato JSON, los cuales son almacenados en formato JSON Lines. Todo el formato viene especificado en la documentación (OpenAI, 2024).

En este caso, se ha optado por entrenar al modelo con solicitudes del usuario generadas de forma automática utilizando el prompt personalizado y añadiendo como resumen del tema la propia descripción de la propuesta. Por otro lado, la respuesta está compuesta por cada uno de los elementos requeridos para cualquier propuesta del título.

Todos los TFGs procesados y transformados en registros solicitud-respuesta, se han unificado en un único archivo JSON Lines y se le ha suministrado nuestro modelo basado en un modelo GPT 4o general.

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO P-GPT

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del modelo P-GPT. Para ello, en primer lugar, se presentarán cada uno de los casos que se han definido para generar las propuestas. A continuación, se analizarán los resultados que hemos obtenido a través de cuestionarios cumplimentados por profesorado que imparte docencia en el Grado de Ingeniería Informática.

Diseño experimental

Para poder evaluar el modelo, es necesario desafiarlo en diferentes contextos. Por ello, se han definido un total de cuatro contextos diferentes para comprobar la efectividad del modelo. Debido a los dos tipos de modalidad de TFG en la UJA, dos de las propuestas son proyectos de ingeniería y las otras dos teóricos/experimentales. A continuación, en la Tabla 3, se listan los diferentes contextos utilizados en la experimentación.

Tabla 3. Contextos definidos para evaluar el modelo P-GPT

Nombre del contexto	Tipo	Descripción
Contexto 1	Proyecto de Ingeniería	En la actualidad las plataformas web sanitarias son una herramienta esencial para la mejora de calidad de vida en pacientes debido a que proporcionan una mejor gestión de los datos y permiten realizar tratamientos personalizados por parte del personal sociosanitario. En el ámbito sociosanitario, los pacientes con diabetes generan una gran cantidad de datos a través de dispositivos IoT de medición continua de glucosa. Por tanto, en este Trabajo Fin de Grado se propone el desarrollo de una plataforma web centralizada enfocada en el ámbito sociosanitario para gestionar datos de personas diabéticas tipo I. Esta aplicación permitirá gestionar los datos de glucosa desde diferentes roles: paciente, personal sociosanitario y familiares. Para la implementación el alumno deberá utilizar las tecnologías webs que mejor se adapten al proyecto.
Contexto 2	Proyecto de Ingeniería	Aunque en la actualidad los sistemas de posicionamiento global (GPS) son muy precisos, en el interior de edificios, en zonas urbanas densas o en entornos con obstáculos, la señal de los satélites no llega con la calidad suficiente para garantizar una localización precisa. Por ello, en la literatura se han desarrollado sistemas de posicionamiento en interiores. Por tanto, en este Trabajo Fin de Grado el estudiante desarrollará un sistema de localización en interiores basado en la tecnología Ultra Wide Band (UWB). Para ello, se deberá estudiar la tecnología UWB, analizar las técnicas de posicionamiento basadas en esta tecnología y desarrollar un sistema capaz de localizar a una persona de forma precisa en una vivienda.

Tabla 3. Contextos definidos para evaluar el modelo P-GPT (continuación)

Nombre del contexto	Tipo	Descripción
Contexto 3	Teórico/experimental	En este Trabajo Fin de Grado el estudiante desarrollará un modelo de reconocimiento de actividades humanas de personas mayores en el hogar. Para ello, se analizarán las técnicas de reconocimiento de actividades humanas y se propondrá un modelo que permita reconocer las actividades de las personas mayores en su hogar haciendo uso de datos que provienen de sensores tales como sensores de movimiento, apertura y cierre, humedad y temperatura, entre otros. El modelo propuesto se evaluará haciendo uso de conjuntos de datos reales y se comparará con otros modelos propuestos en la literatura.
Contexto 4	Teórico/experimental	En este Trabajo Fin de Grado se propone el desarrollo de un modelo de inteligencia artificial para predecir la glucosa intersticial en pacientes dietéticos tipo I. Para ello, el estudiante deberá realizar una búsqueda bibliográfica sobre los diferentes tipos de modelos y los conjuntos de datos disponibles, para poder realizar una nueva propuesta de modelo. Para comprobar la efectividad del mismo, deberá compararlo con los modelos existentes.

Una vez definidos, el modelo P-GPT ha generado las propuestas para los cuatro contextos. A continuación, en la Tabla 4 se incluye el resultado obtenido para la propuesta número 3. Por razones de espacio, el resto de propuestas generadas junto con su prompt se encuentran disponibles en el siguiente enlace (<https://github.com/jossellr/P-GPT-Resultados/tree/main/Propuestas%20generadas>).

Tabla 4. Respuesta del modelo P-GPT al contexto número 3

Título: Desarrollo de un modelo de reconocimiento de actividades humanas de personas mayores en el hogar
Conocimientos previos
El estudiante debe tener conocimientos en las siguientes materias: <ul style="list-style-type: none"> - Inteligencia artificial - Minería de datos.
Objetivos:
Los objetivos del presente trabajo son: <ul style="list-style-type: none"> - Analizar las diferentes técnicas de reconocimiento de actividades humanas. - Analizar diferentes conjuntos de datos para el reconocimiento de actividades humanas. - Diseñar y desarrollar un modelo para reconocer actividades humanas de las personas mayores en el hogar a partir de datos obtenidos de sensores instalados en un entorno inteligente. - Implementar el modelo y realizar pruebas y un análisis comparativo con el estado del arte. - Elaborar una memoria en la que se presente el trabajo desarrollado, así como los manuales de instalación de ejecución del prototipo desarrollado.

Tabla 4. Respuesta del modelo P-GPT al contexto número 3 (continuación)

Metodología:

Para la consecución de los objetivos anteriores se propone la siguiente metodología de trabajo:

- Análisis de técnicas de reconocimiento de actividades humanas.
 - Estudio de la extracción de características de los distintos tipos de sensores utilizados en los conjuntos de datos disponibles.
 - Análisis de las diferentes aproximaciones usadas para el reconocimiento de actividades humanas y selección de la más adecuada que se utilizará en el modelo que se implemente.
 - Diseño y desarrollo del modelo propuesto. Implementación y pruebas del modelo.
 - Análisis comparativo de los resultados obtenidos por el modelo propuesto y el estado del arte.
 - Elaboración de una memoria con todos los aspectos de análisis, diseño, implementación y pruebas realizadas.
-

Documentación a entregar:

El estudiante entregará una memoria final que recoja todos los trabajos desarrollados. Dicha memoria se presentará en formato digital en un fichero PDF, con la estructura habitual en estos casos y siguiendo las plantillas y guías de estilo propuestas en la EPS de la Universidad de Jaén. La memoria incluirá todos los apartados necesarios para seguir adecuadamente el proceso de desarrollo del trabajo, junto con el material adicional que sea conveniente, en forma de apéndices o anexos. Junto con la memoria se incluirá el correspondiente código del modelo desarrollado, así como de su manual de instalación y uso, con el objeto de verificar su funcionamiento. Igualmente, podrá acompañar a la memoria todo tipo de documento audiovisual que permita comprobar el funcionamiento del sistema en situaciones tipo.

De forma general se puede apreciar una respuesta más concisa y personalizada al contexto de la titulación, debido a la inclusión de asignaturas relacionadas con el tema y que son impartidas en el Grado de Ingeniería Informática de la UJA. Los objetivos y metodología son adecuados para la propuesta y la documentación a entregar menciona algunos detalles importantes como las guías de estilo de la Escuela Politécnica de Jaén y a diferencia del modelo general, no define la estructura de la memoria. Por último, la media de las cuatro propuestas es de 238 palabras, siendo 224 la media en el caso de las propuestas reales. Por tanto, podemos decir que en mayor medida ha conseguido emular a los ejemplos suministrados. No obstante, se analizará con más detalle a través de los resultados obtenidos a través de cuestionarios.

Evaluación cualitativa por docentes

Una vez generadas las propuestas, se ha procedido a realizar un cuestionario a un grupo de docentes del Grado de Ingeniería Informática.

El objetivo de esta encuesta fue, por un lado, comprobar si creen que es útil aplicar la IA para automatizar las propuestas de TFG y, por otro lado, evaluar la validez y utilidad de las propuestas generadas automáticamente por el modelo, así como conocer la percepción de los docentes respecto a la calidad de las mismas.

El cuestionario estaba compuesto por tres preguntas iniciales para comprobar el grado de utilidad del modelo P-GPT para los docentes y ocho preguntas por cada propuesta para evaluarlas. En total, se han incluido en el cuestionario seis propuestas, cuatro generadas por el modelo y otras dos (<https://github.com/jossellr/P-GPT-Resultados/tree/main/Propuestas%20adicionales>) elaboradas por los autores del documento. El objetivo era incluir dos propuestas reales para comprobar si los docentes eran capaces de distinguir una propuesta real de una respuesta generada por IA. Las preguntas del cuestionario se encuentran reflejadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Listado de preguntas y tipo de respuestas utilizadas para el cuestionario

Cuestionario inicial de automatización	
Pregunta	Respuesta
1. ¿Elaborar propuestas de TFG lo consideras una tarea repetitiva?	
2. Reutilizas parte de otras propuestas de TFG para elaborar una nueva?	Totalmente de acuerdo De acuerdo
3. ¿Utilizarías una herramienta basada en Inteligencia Artificial capaz de generar una propuesta completa (título, conocimientos previos, objetivos, metodología y documentación a entregar) en relación a una pequeña descripción del TFG?	Ni de acuerdo ni en desacuerdo En desacuerdo Totalmente en desacuerdo
Cuestionario por propuesta	
Pregunta	Respuesta
1. ¿Cree que la propuesta de TFG es clara y comprensible de forma general?	
2. Los conocimientos previos requeridos son adecuados para la propuesta	Totalmente de acuerdo
3. Los objetivos son claros y concisos	De acuerdo
4. La metodología se encuentra bien definida y tiene coherencia	Ni de acuerdo ni en desacuerdo En desacuerdo
5. Los documentos y entregables son suficientes	Totalmente en desacuerdo
6. Considera que las propuestas de TFG son viables para ser desarrolladas por estudiantes de grado en el tiempo estipulado?	
7. ¿Qué nivel de dificultad cree que tiene la propuesta generada?	Muy difícil Difícil Normal Fácil Muy fácil
8. Cree que esta propuesta ha sido generada por Inteligencia Artificial (IA) o por un humano?	Generada por IA Generada por un humano No estoy seguro

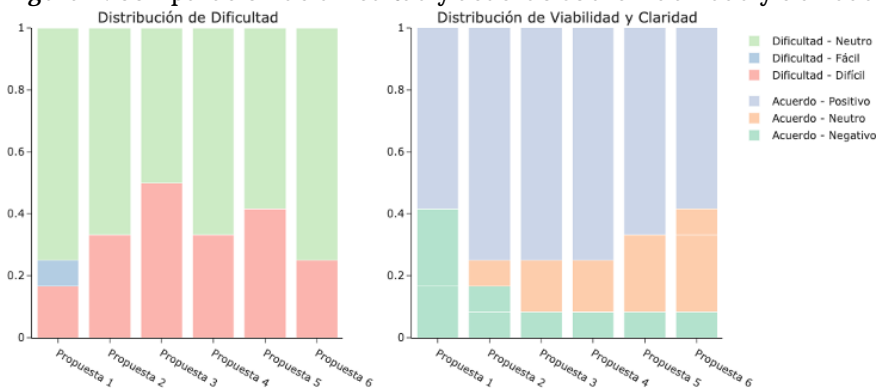
4.3 Análisis comparativo

A continuación, se analizan los resultados obtenidos de la encuesta donde han participado un total de 12 docentes que imparten docencia en el Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Jaén.

De acuerdo con el cuestionario inicial, cabe manifestar como la viabilidad de la metodología presentada en este documento es apoyada por los encuestados a través de la percepción de repetitividad en la elaboración de TFG, así como su alineación con las casuísticas de reutilización de material y de confianza frente a la utilización de IA para la generación de propuestas. En concreto, se ha obtenido que el 75% de los encuestados está a favor, mientras que el 8,33% se decanta por métodos tradicionales y no considera de valor la proposición de este tipo de herramienta; el 16,7% restante postula una percepción neutral respecto a los beneficios y limitaciones de esta práctica.

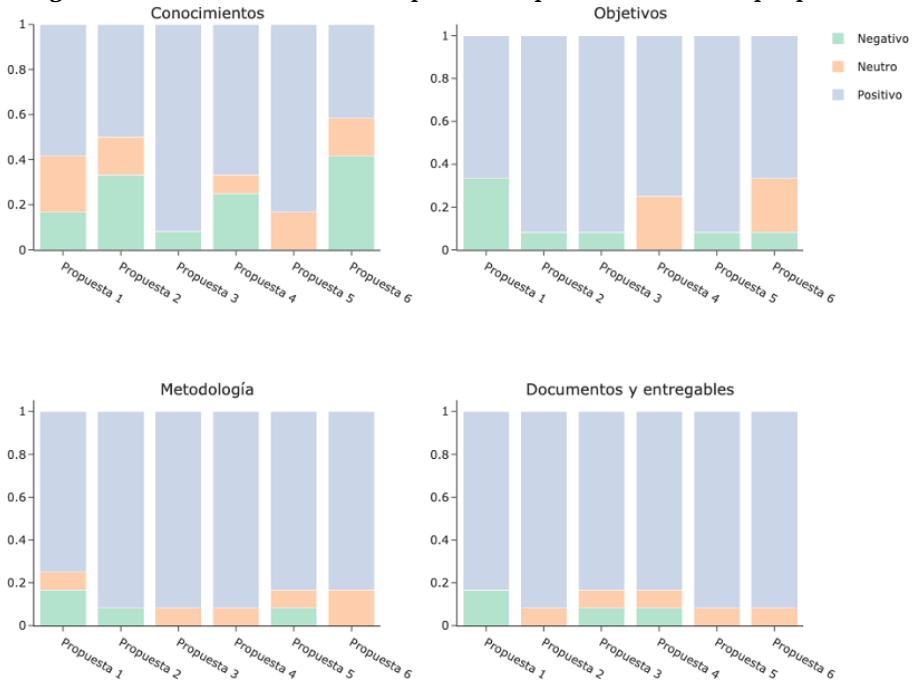
Con el objetivo de evaluar la calidad de las propuestas, el análisis de las preguntas 1-6-7 del cuestionario por propuesta, desgrena equilibrio entre dificultad y normalidad en las propuestas presentadas, mientras que hay un consenso generalmente positivo entre la claridad y viabilidad de las mismas (Figura 2). Nótese que las propuestas 1-4 se corresponden con aquellas generadas por IA, mientras que las propuestas 5 y 6 hacen referencia a aquellas generadas por un docente.

Figura 2. Comparación de dificultad y acuerdo sobre viabilidad y claridad



De forma más específica (véase Figura 3), se tiene que la adecuación de los conocimientos previos en las propuestas generadas por IA concentra opiniones de acuerdo. Mientras tanto, las propuestas humanas presentan una mayor variabilidad, por lo que se advierte menos uniformidad en este tipo de propuestas al ser susceptibles de criterios individualistas. Sin embargo, en la claridad de los objetivos, a pesar de una positiva aceptación en general, existe cierta discordancia con una de las propuestas generadas por IA, poniendo de nuevo en manifiesto criterios de precisión diferenciados. Por su parte, la metodología y los documentos y entregables de las propuestas son aceptados en mayor grado por los encuestados.

Figura 3. Acuerdo sobre los componentes que conforman las propuestas



Adicionalmente, se ha evaluado la capacidad de los encuestados para discernir entre aquellas propuestas generadas por IA y las generadas por un docente (véase Tabla 6). En general, los encuestados han reflejado que la IA ha simulado de manera bastante aproximada las propuestas que generaría un docente, puesto que los encuestados se han decantado por la generación humana en un 47% de media, mientras que en un 24% de las veces han dudado de la procedencia de la propuesta; únicamente se ha percibido como IA en el 29% de las ocasiones. En relación a esto último, puede observarse cómo las propuestas generadas por IA presentan un acierto relativamente bajo, a excepción de la propuesta 4 que sí presenta un mayor porcentaje de encuestados que la han detectado, además del 25% que han manifestado duda; las propuestas 2 y 3 muestran cómo los encuestados las perciben, en un alto porcentaje, como generadas por un humano. Por su parte, las propuestas generadas realmente por un docente presentan cierta variabilidad, mientras que la propuesta 5 es claramente correctamente detectada, la propuesta 6 ha generado un porcentaje de duda superior.

Tabla 6. Porcentaje de las respuestas asociadas a la pregunta 8 del cuestionario de propuestas

	Generada por IA	Generada por Humano	Ns/Nc
Propuesta 1	0.33	0.33	0.33
Propuesta 2	0.17	0.58	0.25
Propuesta 3	0.17	0.67	0.17
Propuesta 4	0.58	0.16	0.25
Propuesta 5	0.16	0.75	0.08
Propuesta 6	0.33	0.33	0.33
Media	0.29	0.47	0.24

Consecuentemente, los resultados del cuestionario inicial demuestran el apoyo significativo mostrado por parte de los encuestados hacia la metodología propuesta. Sin embargo, se aprecian notables diferencias en la percepción por parte de los docentes en el momento de comparación de las propuestas con diferentes procedencias. Asimismo, a pesar de que este estudio positivamente sugiere cómo la IA puede imitar en gran medida el estilo humano, se considera cómo diferentes aspectos en el proceso de especialización del modelo P-GPT pueden requerir de ajustes futuros para lograr una alineación completa en términos de precisión y subjetividad, no sin olvidar la subjetividad inherente al criterio humano.

CONCLUSIONES

Este capítulo de libro ha presentado un innovador proyecto para la generación automática de propuestas de TFT mediante el uso de Inteligencia Artificial, con el objetivo de asistir a los docentes en su elaboración. En primer lugar, se ha logrado una metodología general aplicable a la generación de propuestas de TFG, ejemplificada en el Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Jaén, pero adaptable a otras titulaciones.

Como segundo logro, se ha creado un modelo de lenguaje de gran escala denominado P-GPT, basado en GPT-4o y entrenado mediante fine-tuning con prompts personalizados. La evaluación del modelo por parte de docentes universitarios ha demostrado resultados positivos en cuanto a la calidad de las propuestas generadas, con la excepción del apartado de conocimientos previos, que requiere mejoras. El estudio comparativo entre propuestas generadas por Inteligencia Artificial y por docentes ha revelado la dificultad de los docentes para distinguir entre ambas, lo que subraya la calidad del contenido generado por P-GPT.

Los resultados sugieren una tendencia positiva hacia la adopción de la Inteligencia Artificial Generativa en contextos educativos, aunque se enfatiza la necesidad de evaluaciones continuas para mejorar su implementación. Es importante destacar que esta herramienta no pretende reemplazar la labor docente, sino simplificarla, ofreciendo propuestas iniciales que pueden ser modificadas y adaptadas

según las necesidades específicas. El proyecto demuestra el potencial de la Inteligencia Artificial Generativa para optimizar los procesos académicos, al tiempo que subraya la importancia del criterio y la experiencia del docente en la supervisión y personalización final de las propuestas.

REFERENCIAS

Abd-alrazaq, A., AlSaad, R., Alhuwail, D., Ahmed, A., Healy, P. M., Latifi, S., Aziz, S., Damseh, R., Alabed Alrazak, S., y Sheikh, J. (2023). Large language models in medical education: Opportunities, challenges, and future directions. *JMIR Medical Education*, 9, e48291.

Bartl, M., y Leavy, S. (2024). From 'showgirls' to 'performers': Fine-tuning with gender-inclusive language for bias reduction in LLMs.

Chen, E., Lee, J.-E., Lin, J., y Koedinger, K. (2024). GPTutor: Great personalized tutor with large language models for personalized learning content generation. En *Proceedings of the Eleventh ACM Conference on Learning @ Scale* (Vol. 13, pp. 539–541). ACM.

Firat, M., y Kuleli, S. (2024). GPT vs. Google: A comparative study of self-code learning in ODL students. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, 7(3), 308–320.

González-Mayorga, H., Rodríguez-Esteban, A., y Vidal, J. (2024). El uso del modelo GPT de OpenAI para el análisis de textos abiertos en investigación educativa. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (69), 227–253.

Huber, S. E., Kiili, K., Nebel, S., Ryan, R. M., Sailer, M., y Ninaus, M. (2024). Leveraging the potential of large language models in education through playful and game-based learning. *Educational Psychology Review*, 36(1).

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M., Weller, J., Kuhn, J., y Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good.

Li, Q., Fu, L., Zhang, W., Chen, X., Yu, J., Xia, W., Zhang, W., Tang, R., y Yu, Y. (2024). Adapting large language models for education: Foundational capabilities, potentials, and challenges.

OpenAI. (2024). *Guía para aplicar Fine-tuning en modelos GPT*. Recuperado de <https://platform.openai.com/docs/guides/fine-tuning>

Yang, J., Jin, H., Tang, R., Han, X., Feng, Q., Jiang, H., Yin, B., y Hu, X. (2023). Harnessing the power of LLMs in practice: A survey on ChatGPT and beyond. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.13712>

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., y Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education: Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1).

CAPÍTULO 17

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS SIMULADORES SIM 8085 Y RIPES EN LA ENSEÑANZA DE ARQUITECTURA DE COMPUTADORES

JOSÉ LUIS LÓPEZ RUIZ*, DAVID DÍAZ JIMÉNEZ*,
ANTONIO PEDRO ALBÍN RODRÍGUEZ**, JUAN FRANCISCO GAITÁN GUERRERO*,
Y MACARENA ESPINILLA*

**Universidad de Jaén; **IES Las Fuentezuelas*

INTRODUCCIÓN

El estudio de la arquitectura de computadores constituye un pilar fundamental en la formación académica de los estudiantes de Ingeniería Informática. Esta disciplina es clave para entender el funcionamiento interno de la Unidad Central de Procesamiento (CPU), abarcando desde los aspectos más básicos de la interacción entre hardware y software hasta las complejidades inherentes a las arquitecturas contemporáneas. Los planes de estudio (Universidad de Jaén, 2024c) de esta titulación no solo contemplan conceptos teóricos, sino también el uso de herramientas prácticas que facilitan la interacción con modelos de simulación de arquitecturas reales, mejorando así la comprensión de los estudiantes y su capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos.

El uso de simuladores es una práctica consolidada (Chia y Smitha, 2023; Koenig y Rasch, 2021; Rutten et al., 2012) en la enseñanza de la arquitectura de computadores. En los primeros cursos de la titulación, los estudiantes suelen abordar los fundamentos de la arquitectura, tales como el estudio de CPUs simples y la ejecución de instrucciones a nivel de máquina. Tradicionalmente, este proceso de aprendizaje se apoya en simuladores de procesadores (Erruzo et al., 2002; Mir et al., 2015) que permiten la observación y manipulación del comportamiento de un sistema sin la necesidad de interacción directa con hardware físico. Dichas herramientas resultan cruciales para la comprensión de conceptos como el ciclo de instrucción, la gestión de la memoria, las etapas de ejecución de una instrucción y la interacción entre los distintos componentes del procesador.

Entre los simuladores más empleados en este contexto se encuentra el Sim 8085 (Álvarez et al., 2003), que permite la simulación de un microprocesador básico utilizado en los primeros sistemas de computadores personales y está basado en una arquitectura CISC (Complex Instruction Set Computer). Su simplicidad lo convierte en una herramienta esencial para cursos iniciales, donde el objetivo principal es introducir a los estudiantes en conceptos fundamentales sin la complejidad de las

arquitecturas modernas. El simulador Sim 8085 ha demostrado ser eficaz para la construcción de una base sólida en términos de comprensión de operaciones de bajo nivel, tales como el manejo de registros, el uso de interrupciones y la ejecución de instrucciones simples.

No obstante, a medida que los estudiantes avanzan en su formación, es imprescindible introducir herramientas más sofisticadas que les permitan explorar arquitecturas más modernas y realistas. En este sentido, han emergido simuladores como Ripes (Petersen, 2021), el cual emula arquitecturas avanzadas basadas en conjuntos de instrucciones RISC (Reduced Instruction Set Computer). Ripes no solo ofrece una representación gráfica detallada del pipeline de ejecución de instrucciones, sino que también permite visualizar el paralelismo y los riesgos de ejecución, conceptos que resultan fundamentales en los cursos avanzados de arquitectura de computadores.

El uso de estos simuladores plantea un desafío pedagógico significativo: ¿cuál es el momento óptimo para introducir herramientas de mayor complejidad? Mientras que simuladores simples como el Sim 8085 permiten un abordaje gradual de los fundamentos, herramientas avanzadas como Ripes ofrecen una experiencia de aprendizaje más cercana a las realidades del diseño contemporáneo de computadores. Esto puede resultar beneficioso incluso en etapas tempranas de la formación, siempre que se gestione adecuadamente la transición en términos de dificultad. Además, el uso consistente de un mismo simulador a lo largo de diferentes cursos podría reducir el tiempo invertido en el aprendizaje de nuevas herramientas, permitiendo al docente enfocar la enseñanza en conceptos más especializados.

En este capítulo de libro, se analiza la percepción de los estudiantes respecto al uso de los simuladores Sim 8085 y Ripes en su formación dentro del Grado de Ingeniería Informática en la Universidad de Jaén. En este caso particular, el simulador Sim 8085 ha sido tradicionalmente utilizado en la asignatura Fundamentos de Arquitectura de Computadores (Universidad de Jaén, 2024b) debido a su simplicidad. En cambio, el simulador Ripes, es utilizado en la asignatura de segundo curso denominada Arquitectura de Computadores (Universidad de Jaén, 2024a) debido a su mayor complejidad, ya que proporciona una visualización más cercana a las arquitecturas actuales y permite trabajar con conceptos más complejos. Por tanto, se plantea la siguiente pregunta: ¿Hubiera sido más beneficioso para los estudiantes el uso del simulador Ripes desde el primer curso, en lugar del simulador Sim 8085, a pesar de su mayor complejidad?

La hipótesis central de este estudio plantea que los estudiantes habrían experimentado beneficios en su aprendizaje si este simulador hubiera sido integrado en ambas asignaturas de la titulación.

Por consiguiente, se espera que los resultados de este estudio revelen si los estudiantes perciben que el uso de Ripes desde el primer curso les habría proporcionado una ventaja formativa, a pesar del esfuerzo cognitivo adicional requerido. Los datos obtenidos a través de cuestionarios (Kember et al., 2002) aplicados a los estudiantes proporcionarán la base empírica para validar o rechazar esta hipótesis.

Por tanto, el objetivo principal de este estudio es evaluar la percepción de los estudiantes de segundo curso del Grado en Ingeniería Informática sobre el uso de los simuladores Sim 8085 y Ripes. Para alcanzar este objetivo general, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las dificultades específicas que los estudiantes enfrentan al utilizar ambos simuladores.

- Evaluar la efectividad percibida de cada simulador en el aprendizaje de conceptos fundamentales.

- Determinar si el uso temprano de Ripes puede influir positivamente en la formación académica en comparación con el simulador Sim 8085.

El trabajo se encuentra desglosado en las siguientes secciones. En primer lugar, en la Sección 2 se proporciona un contexto en relación con las dos asignaturas que integran simuladores de arquitectura en su guía docente en el Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Jaén. Adicionalmente, en esta misma sección, se ha añadido una comparativa técnica de ambos simuladores. A continuación, en la Sección 3 se define la metodología utilizada para alcanzar los objetivos y demostrar la hipótesis. Para finalizar, en la Sección 4 se analizan los resultados obtenidos y en la Sección 5 se definen las conclusiones del capítulo.

CONTEXTUALIZACIÓN

En esta primera sección del capítulo, se va a contextualizar este caso particular dentro de la titulación del Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Jaén. Para ello, en primer lugar se desgranar las dos asignaturas del plan de estudios que abarcan los principales conceptos de arquitectura de computadores. Seguidamente, se comparan de forma general ambos simuladores.

Asignaturas de Arquitectura de Computadores en la titulación

Para entender mejor el contexto, es muy importante definir las asignaturas que hacen uso de este tipo de herramientas. En el plan de estudios del Grado de Ingeniería Informática (Universidad de Jaén, 2024c) de la Universidad de Jaén, se imparten dos asignaturas clave relacionadas con la arquitectura de computadores: Fundamentos de Arquitectura de Computadores (Troncal/Básica) y Arquitectura de Computadores (Obligatoria), primer y segundo curso respectivamente. Ambas asignaturas tienen 6

ECTS asignados y desempeñan un papel crucial en la formación de los estudiantes en los cursos más bajos, proporcionando los conocimientos esenciales sobre el funcionamiento de los sistemas de procesamiento y la estructura de los computadores.

Fundamentos de Arquitectura de Computadores

Esta asignatura se imparte en el primer cuatrimestre del primer curso y se enfoca en establecer las bases de la arquitectura de computadores, proporcionando a los estudiantes una comprensión integral del funcionamiento interno de la CPU y de la comunicación entre hardware y software. Entre las competencias que se desarrollan en esta asignatura se encuentran (Universidad de Jaén, 2024b):

- Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.

- Conocimiento de la estructura, organización, funcionamiento e interconexión de los sistemas informáticos, los fundamentos de su programación, y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.

En la parte teórica, se abordan conceptos básicos como la representación de la información, los microprocesadores, el acceso a memoria, los buses, entrada y salida y, por último, periféricos.

En la parte práctica, se utiliza el simulador Sim 8085, que permite a los estudiantes interactuar con un modelo de microprocesador básico. Este simulador es ideal para introducir la programación del lenguaje ensamblador para el manejo de registros y la memoria, uso de operaciones aritméticas básicas, uso de la pila y las operaciones básicas de entrada y salida.

Arquitectura de Computadores

Por otro lado, esta asignatura se imparte en el primer cuatrimestre del segundo curso y profundiza en los conceptos más complejos y actuales de la arquitectura de computadores. Las competencias que se desarrollan en esta asignatura son las siguientes (Universidad de Jaén, 2024a):

- Conocimiento y aplicación de las características, funcionalidades y estructura de los Sistemas Distribuidos, las Redes de Computadores e Internet y diseñar e implementar aplicaciones basadas en ellas.

- Conocimiento y aplicación de los principios fundamentales y técnicas básicas de la programación paralela, concurrente, distribuida y de tiempo real.

- Conocimiento, administración y mantenimiento sistemas, servicios y aplicaciones informáticas.

- Capacidad de conocer, comprender y evaluar la estructura y arquitectura de los computadores, así como los componentes básicos que los conforman.

En la parte teórica se abordan diferentes tipos de arquitecturas, la segmentación como concepto general y aplicada en la arquitectura RISC-V, las unidades funcionales segmentadas, la arquitectura superescalar, el paralelismo de datos y la memoria caché.

En la parte práctica, se utiliza el simulador Ripes, que emula la arquitectura RISC-V y proporciona una representación detallada del pipeline y del paralelismo. Ripes permite a los estudiantes observar el flujo de datos y la ejecución de instrucciones de manera interactiva y visual, lo cual es fundamental para el estudio de arquitecturas modernas y la comprensión de técnicas avanzadas como la segmentación, la paralelización, la optimización del código para evitar riesgos estructurales, de datos y de control y el uso de la caché.

Las prácticas en este caso se encuentran divididas en seis partes. Sin embargo, las dos primeras (5 semanas) son utilizadas para iniciar al estudiante en esta nueva arquitectura. A continuación, se enumeran las diferentes prácticas (Universidad de Jaén, 2024a):

- Operaciones básicas en RISC-V, uso de Ripes.
- Bucles y condicionales en RISC-V y entrada y salida en RISC-V.
- Riesgos de datos.
- Riesgos de control.
- Arquitectura superescalar estática.
- Memoria caché.

Sim 8085 vs. Ripes

Desde un punto de vista técnico, el simulador Sim 8085 y Ripes, presentan características totalmente diferentes debido a la arquitectura en la que se basan. El simulador Sim 8085 (Álvarez et al., 2003) es un microprocesador de 8 bits (ISA: 8085), diseñado en la década de 1970, que se basa en una arquitectura CISC con un conjunto reducido de instrucciones. Este procesador cuenta con tan solo 7 registros y una gestión sencilla de la memoria, lo que lo convierte en una herramienta idónea para enseñar los fundamentos de la CPU, especialmente en lo que respecta a operaciones aritméticas sencillas como la suma y la resta y el manejo de registros de propósito general. En cambio, no permite operaciones más complejas como la multiplicación o la división.

Por otro lado, el simulador Ripes (Petersen, 2021) está basado en una arquitectura RISC, en concreto la arquitectura RISC-V. Esta arquitectura de última generación permite a los estudiantes explorar conceptos más avanzados, como el pipeline de ejecución, la segmentación de instrucciones y la gestión de riesgos de

datos y de control. La arquitectura RISC-V admite palabras de 32 (ISA: RV32I) y 64 bits (ISA: RV64I). Además, RISC-V cuenta con 32 registros, un número más elevado que en la arquitectura 8085, lo que facilita la enseñanza de técnicas de optimización y programación a bajo nivel. La naturaleza simplificada del conjunto de instrucciones de RISC-V hace que la ejecución sea más eficiente en comparación con la arquitectura CISC del 8085, que incluye operaciones más complejas e instrucciones mucho más sencillas.

Otra diferencia clave radica en la capacidad de los simuladores para representar conceptos avanzados de la arquitectura de computadores. Mientras que el simulador Sim8085 permite una exploración detallada de instrucciones básicas, tales como operaciones aritméticas simples, manejo de registros y uso de saltos condicionales, Ripes permite visualizar el impacto del paralelismo, la arquitectura superescalar y la segmentación de instrucciones, proporcionando una visión más completa del diseño de procesadores modernos y de cómo maximizar su rendimiento. Además, el simulador Sim 8085 utiliza un conjunto limitado de instrucciones, mientras que RISC-V ofrece un repertorio más extenso que facilita la exploración de operaciones más complejas, como multiplicaciones y divisiones. En cuanto a los elementos de entrada y salida, Sim 8085 se centra en operaciones básicas, mientras que Ripes soporta dispositivos más avanzados como matrices de LEDs y botones.

En términos de interfaz y usabilidad en diferentes sistemas operativos, el simulador 8085 cuenta con una interfaz básica, con una compatibilidad limitada a sistemas operativos antiguos o emulaciones en plataformas modernas. En cambio, Ripes presenta una interfaz moderna e intuitiva, compatible con Windows, macOS y Linux. Su interfaz gráfica es interactiva, permitiendo a los estudiantes manipular visualmente los registros y observar el flujo de datos en el pipeline, lo cual contribuye a hacer el aprendizaje más accesible y atractivo. Esta diferencia en usabilidad y accesibilidad resulta fundamental para la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, haciendo que Ripes sea una herramienta más adecuada para el contexto educativo contemporáneo.

A continuación, se presenta una comparativa de ambos simuladores en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen comparativo de los simuladores Sim 8085 y Ripes

Característica	Simulador Sim 8085	Simulador Ripes
Tipo de Arquitectura	CISC	RISC
ISA	8085	RV32I, RV64I
Tamaño de palabra	8 bits	32 bits, 64 bits
Complejidad	Baja	Alta
Num. instrucciones	76	45
Num. registros	7	32
Paralelismo	No	Sí
Flexibilidad	Baja	Alta
Representación gráfica	Limitada	Detallada
Elementos de E/S	Básicos	Avanzados
Salto condicionales	Sí	Sí (con soporte avanzado)
Interfaz y Usabilidad	Básica, limitada a sistemas antiguos	Moderna, compatible con Windows, macOS y Linux

METODOLOGÍA

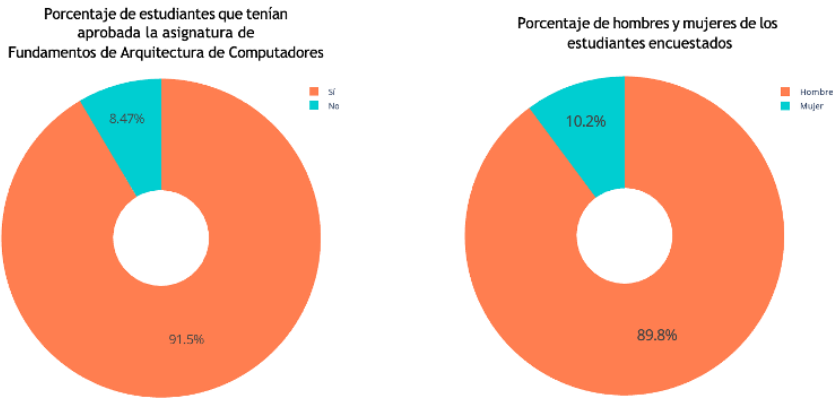
En esta sección, se describe la metodología utilizada para realizar una evaluación comparativa de ambos simuladores. El objetivo es proporcionar un contexto claro sobre cómo se llevó a cabo la investigación y cuáles fueron las herramientas y enfoques utilizados para obtener los resultados. Para ello se establecen los participantes del estudio, así como los instrumentos utilizados para la recolección de datos y el procedimiento aplicado en este caso.

Participantes

Para poder realizar el estudio, es necesario definir el conjunto de participantes. En este caso, el perfil más adecuado son estudiantes que hayan terminado de cursar recientemente la asignatura de Arquitectura de Computadores (segundo curso) y el curso anterior cursaron Fundamentos de Arquitectura de Computadores (primer curso). Por tanto, una vez finalizadas las prácticas de la asignatura de segundo curso, se realizó una encuesta a un grupo elevado de estudiantes y se filtraron en base a los criterios de inclusión anteriores.

En total, una vez filtradas las encuestas, se obtuvieron 59 participantes, de los cuales, solo 6 eran mujeres y 5 no habían aprobado todavía la asignatura Fundamentos de Arquitectura de Computadores. A continuación, en la Figura 1 se muestra un resumen de ambos datos.

Figura 1. A la izquierda, gráfica con el porcentaje de estudiantes encuestados que habían aprobado la asignatura de primer curso y, a la derecha, gráfica con el porcentaje de hombres y mujeres



Instrumentos

En este estudio, se empleó un cuestionario como instrumento principal de recopilación de datos. Este cuestionario fue compartido con los estudiantes una vez finalizaron las prácticas de la asignatura de Arquitectura de Computadores. El objetivo del cuestionario era recoger la percepción de los estudiantes sobre la utilización de los simuladores Sim 8085 y Ripes, evaluando su efectividad y las dificultades encontradas durante su aprendizaje y, además, la preferencia del simulador y si encontraban adecuada la incorporación del simulador Ripes en ambas asignaturas.

El cuestionario estaba compuesto por las preguntas de la Tabla 2.

Tabla 2. Listado de preguntas y tipo de respuestas utilizadas para el cuestionario

Pregunta	Tipo	Respuesta
1. ¿Tienes aprobada la asignatura Fundamentos de Arquitectura de Computadores?	Obligatoria y opción única	Sí No
2. ¿Consideras que la asignatura Fundamentos de Arquitectura de Computadores es complicada?	Obligatoria y opción única	Sí No
3. Indica qué aspecto te resultó más complicado en la asignatura de Fundamentos de Arquitectura de Computadores	Opcional y opción múltiple	Utilización de los registros Bucles Saltos condicionales
	Entrada y salida Pila	
4. ¿Te ha sido complicado adaptarte de las prácticas de Fundamentos de Arquitectura de Computadores a las de Arquitectura de Computadores?	Obligatoria y opción única	Sí No

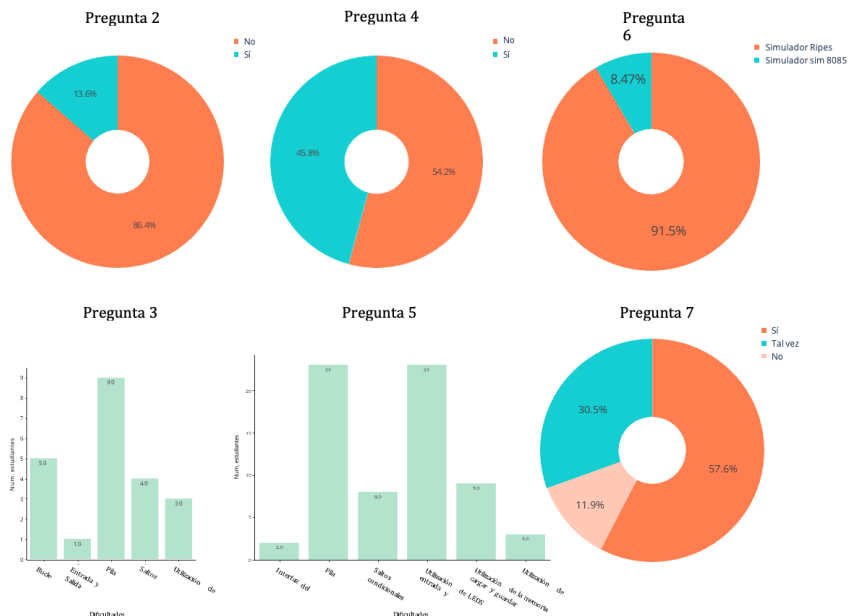
Tabla 2. Listado de preguntas y tipo de respuestas utilizadas para el cuestionario

Pregunta	Tipo	Respuesta
5. Indica qué aspecto te resultó más complicado de adaptarte en la asignatura de Arquitectura de Computadores	Opcional y opción múltiple	Interfaz del simulador
		Utilización de los registros
		Utilización de la memoria para cargar y guardar datos
		Utilización de LEDs en entrada y salida Saltos condicionales Pila
6. ¿Qué simulador prefieres?	Obligatoria y opción única	Simulador Sim 8085 Simulador Ripes
7. ¿Crees que, si hubieras utilizado el simulador Ripes en ambas asignaturas, las prácticas te habrían resultado más sencillas?	Obligatorio y opción única	Sí
		No
		Tal vez

RESULTADOS

En base a las respuestas proporcionadas por los estudiantes, se identificaron varios puntos clave que destacan sus percepciones sobre los simuladores utilizados, así como las dificultades enfrentadas durante el proceso de aprendizaje. Un resumen de los resultados obtenidos por pregunta se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Resumen de las respuestas asociadas a las preguntas del cuestionario



El primer resultado clave es que la asignatura de Fundamentos de Arquitectura de Computadores, de forma general, no presenta muchas dificultades. En total, un

86,4% de los estudiantes indicaron que no era complicada. Sin embargo, el 13,6% indicó que los conceptos más complicados eran la pila y los bucles.

Por un lado, un 45,8% de los estudiantes indicaron que ha sido complicado adaptarse a las prácticas de Arquitectura de Computadores. En este caso, los estudiantes señalaron diversas dificultades que enfrentaron en la asignatura. Entre ellas, los problemas más latentes son el manejo de los LEDs en las operaciones de entrada y salida (23) y, el uso de la pila (23). Esto sugiere la necesidad de una transición más fluida entre los simuladores.

Por otro lado, la mayoría de los estudiantes manifestaron una clara preferencia por el simulador RIPES (91,5%) frente al simulador 8085 (8,47%). Esta preferencia se debe principalmente a la intuitividad y a las capacidades avanzadas de visualización que ofrece Ripes, especialmente en la representación del pipeline y la gestión de la arquitectura RISC-V.

Por último, un número significativo de estudiantes considera que el uso del simulador Ripes desde la asignatura de Fundamentos de Arquitectura de Computadores habría facilitado su curva de aprendizaje en la asignatura de Arquitectura de Computadores, tan solo un 11,9% asegura que no sería necesario. Al utilizar el mismo simulador desde el comienzo, los estudiantes podrían haber alcanzado un mayor nivel de familiaridad con las herramientas y, por ende, una comprensión más profunda de los conceptos avanzados.

De forma resumida podemos decir que los estudiantes no tienen dificultades para aprobar la asignatura de Fundamentos de Arquitectura de Computadores. Sin embargo, un gran número de estudiantes considera que la adaptación a la asignatura de segundo curso es complicada y que utilizar el mismo simulador en ambas asignaturas simplificaría el proceso. En cuanto al simulador preferido, Ripes es un claro ganador con unos resultados contundentes. Por tanto, validamos la hipótesis presentada en la introducción.

CONCLUSIONES

En este capítulo de libro, se ha presentado una evaluación comparativa entre dos simuladores, Sim 8085 y Ripes. Estos simuladores son utilizados para el aprendizaje práctico en las asignaturas relacionadas con arquitectura de computadores. Estos simuladores permiten a los estudiantes poner en práctica código basado en lenguaje máquina y hacer uso de los elementos básicos de una CPU: instrucciones, registros, memoria y pila.

Este estudio parte de la hipótesis inicial en la que se planteaba que el uso del simulador Ripes en las asignaturas Fundamentos de Arquitectura de Computadores y Arquitectura de Computadores del Grado de Ingeniería Informática de la Universidad

de Jaén, hubiera sido beneficioso para los estudiantes en contraposición con el modelo actual en el que las dos asignaturas tienen simuladores diferentes: Sim 8085 y Ripes.

Para comprobar esta hipótesis, se han encuestado 59 estudiantes del grado que acababan de finalizar la asignatura de Arquitectura de Computadores y que, al menos, habían cursado la asignatura previa de primer curso. Los resultados fueron muy satisfactorios, con un 91,5% de estudiantes con preferencia por el simulador Ripes y con un 88,1% de estudiantes que consideran que el uso del simulador Ripes desde primer curso puede reducir la curva de aprendizaje. Por tanto, estos resultados demuestran que nuestra hipótesis es cierta.

Por último, cabe destacar la necesidad de un cambio en el plan de estudios, integrando el mismo simulador en ambas asignaturas. Este cambio podría reducir las primeras cinco semanas (práctica 1 y 2) a una sola práctica de dos semanas que incluya como elemento novedoso la entrada y salida a través de matrices LEDs y botones. Esto permitiría especializar al estudiante en otros aspectos más importantes como la optimización del código y el uso de memoria caché. Además, este estudio puede servir para la modificación de los planes de estudio en otras titulaciones similares.

REFERENCIAS

Álvarez, M. R., Gómez, A. M., García, P. M., Núñez, J. I. R., y Prieto, A. (2003). Desarrollo de un simulador de programación del microprocesador Intel 8085. *En IX Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*.

Chia, J. T., y Smitha, K. G. (2023). Educational simulator for analysing pipelined legv8 (subset of armv8) architecture. *In TENCON 2023 - 2023 IEEE Region 10 Conference* (pp. 182–187).

Erruzo, E., Benavides, J., Saez, E., Montijano, M., y Palomares, J. (2002). Desarrollo de simuladores de arquitectura de computadores y su aplicación en la enseñanza. *En Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*.

Kember, D., Leung, D. Y. P., y Kwan, K. P. (2002). Does the use of student feedback questionnaires improve the overall quality of teaching? *Assessment y Evaluation in Higher Education*, 27(5), 411–425.

Koenig, M., y Rasch, R. (2021). Digital teaching an embedded systems course by using simulators. *In 2021 ACM/IEEE Workshop on Computer Architecture Education* (pp. 1–7).

Mir, S. B., Lluca, G. F., Fernández, J. C. F., y Navarro, G. L. (2015). Utilizando ARMSim y QtARMSim para la docencia de arquitectura de computadores. *En XXI Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática*.

Petersen, M. B. (2021). Ripes: A visual computer architecture simulator. *In 2021 ACM/IEEE Workshop on Computer Architecture Education* (pp. 1–8).

Rutten, N., van Joolingen, W. R., y van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers y Education*, 58(1), 136–153.

Universidad de Jaén (2024a). Grado en ingeniería informática - guía docente de la asignatura arquitectura de computadores. Recuperado de https://uvirtual.ujaen.es/pub/es/informacionacademica/catalogoguiasdocentes/p/2024-25/4/133A/13312001/es/2024-25-13312001_es.html

Universidad de Jaén (2024b). Grado en ingeniería informática - guía docente de la asignatura fundamentos de arquitectura de computadores. Recuperado de https://uvirtual.ujaen.es/pub/es/informacionacademica/catalogoguiasdocentes/p/2024-25/4/133A/13311005/es/2024-25-13311005_es.html

Universidad de Jaén (2024c). Grado en Ingeniería Informática - Plan de Estudios. Recuperado de <https://eps.ujaen.es/grados/grado-en-ingenieria-informatica/plan-de-estudios>

CAPÍTULO 18

LA CIUDAD COMO PRÁCTICA DIDÁCTICA: ITINERARIOS PARA ENTRENAR LA PERCEPCIÓN DEL PAISAJE URBANO EN MADRID

ROCÍO SANTO-TOMÁS MURO, EVA J. RODRÍGUEZ ROMERO,
E IVÁN GONZÁLEZ TRUCO
Universidad San Pablo CEU-CEU Universities

INTRODUCCIÓN

La ciudad es un inmenso laboratorio de enseñanzas, que van desde el propio ámbito de los estudios urbanos a la arquitectura y el arte, aspectos socioeconómicos, relaciones humanas o historia. A lo largo de este capítulo, se busca demostrar el potencial de los itinerarios didácticos para entrenar la mirada de los estudiantes y el público general en la percepción consciente y reflexiva del paisaje urbano.

Estos itinerarios se enmarcan en las actividades diseñadas para la Semana de la Ciencia promovida por la Comunidad de Madrid; un evento anual de divulgación científica organizado por la Fundación para el Conocimiento Madri+d cuyo objetivo es involucrar activamente a la sociedad en los procesos de investigación y desarrollo en ciencias, tecnología e innovación.

El grupo de investigación Patrimonio, Arquitectura y Paisaje (PA&P) lleva participando en este evento de forma ininterrumpida, durante los últimos 15 años, realizando itinerarios didácticos en el borde oeste del centro histórico de Madrid. Se confirma así la versatilidad de la ciudad como escenario rico y adaptable, que sirve para explicar al público universitario y público general los más variados aspectos relacionados con la historia y forma urbana.

PAISAJE, PERCEPCIÓN Y CIUDAD

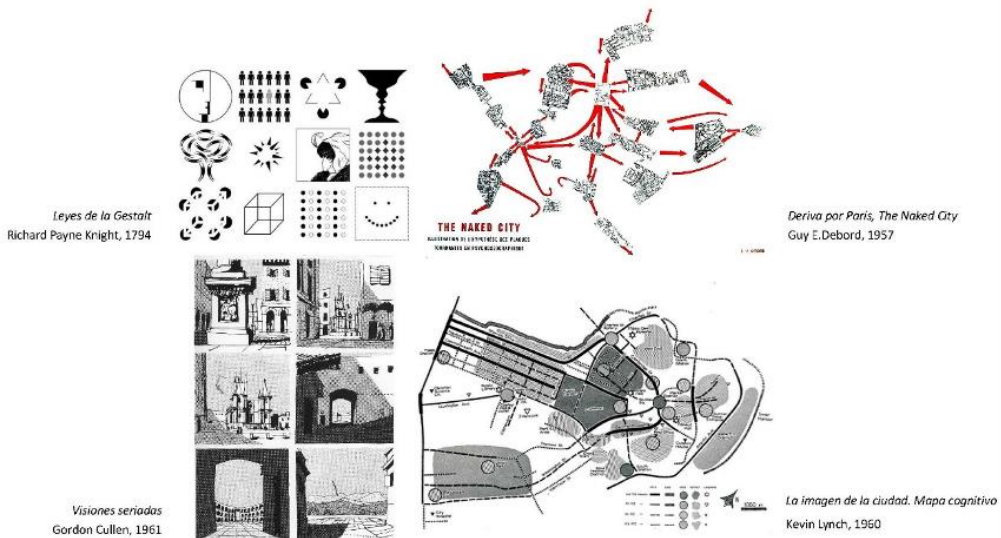
Las ciudades tienen un potencial didáctico inmenso como contenedoras de memoria material e inmaterial para afianzar los conocimientos sobre historia, arte, arquitectura, socioeconomía, etc. Este tipo de actividades fomentan el conocimiento, la valoración y la sensibilización para la conservación del patrimonio paisajístico, cultural, artístico e histórico (Santolaria, 2014).

A lo largo de la historia, el interés por el paisaje y cómo se percibe ha ido en aumento. Conceptos como *Loca Amoena* (recuperada durante el Renacimiento), el *Genius Loci* (recuperado por Alexander Pope) o la relación con el sentido del lugar (*sense of place*) relacionaban los sentimientos y estímulos producidos que incluso lo llevaban al diseño paisajístico demuestran este interés. En este sentido, en la historia reciente, el auge del estudio empírico de la percepción se dio durante las décadas de

1960 y 1970, con una búsqueda de nuevas formas de analizar sistemáticamente los atributos subjetivos del paisaje. Movimientos como el Situacionismo (1957-1972), con Guy Debord como principal exponente, propusieron una forma renovada de relacionarse con la ciudad, que quedó reflejada en la publicación en 1960 de su Manifiesto.

Consistía en conocer la ciudad a través del movimiento, como parte de un juego revolucionario que implicaba la participación de los habitantes de la ciudad. Esto derivaba, según sus premisas, en la transformación del paisaje urbano, también a partir de las aportaciones de varias disciplinas artísticas como la música o la poesía. De esta manera, los propios habitantes de la ciudad se convertían en artistas de la propia ciudad, al interactuar con el carácter fenomenológico del paisaje y arquitectura, creando así la «Sociedad del espectáculo» (Debord, 1967)

Figura 1. Ejemplos de estudios perceptivos de la ciudad



De este modo, se empezó a fraguar el concepto de «psicogeografía», relacionado también con lo que se conoce como «psicología ambiental» (Hellpach, 1937; Hernández y Jiménez, 1988). Se entendía por «psicogeografía» el estudio de los efectos precisos del medio geográfico, acondicionado o no conscientemente, sobre el comportamiento afectivo de los individuos (Barreiro León, 2015, p. 7). Las derivas situacionistas son un resultado de estos juegos psicogeográficos alrededor de la ciudad que daban lugar, entre otros resultados, a mapas que representaban la interacción aleatoria entre ciudad y ciudadanos y su razonamiento espacial, más allá de las estructuras convencionales de la arquitectura y urbanismo.

La compleja relación entre la ciudad y sus habitantes también fue estudiada por otros autores. La publicación por Gordon Cullen de *El paisaje urbano* supuso la aplicación de los procedimientos de análisis perceptivo, derivados del pintoresquismo al estudio de la ciudad, y por tanto de los métodos de actuación experimentados en la tradición inglesa de la arquitectura del paisaje, ahora trasladado al diseño urbano (Aníbarro, 2008). La ciudad se entiende como un espacio escénico con unas cualidades que provocan en el paseante una serie de emociones a partir de sus relaciones formales, por lo que han de tenerse en cuenta en el diseño urbano.

A su vez, Kevin Lynch definió en 1960 una serie de conceptos aplicados a la imagen de la ciudad, que ayudan a interpretar cómo interactuamos y nos movemos por ella, fundamentado en factores psicológicos y culturales. Afirmaba que la imagen de la ciudad estaba formada por una serie de elementos relacionados con el observador: hitos (puntos de referencia), nodos, (puntos estratégicos de la ciudad), sendas (conductos), bordes (elementos lineales que actúan de límite) y barrios (secciones de la ciudad con una imagen identificable). A su vez, se relacionaba la calidad visual de una ciudad con la «legibilidad» del paisaje urbano.

Se llega así a una Teoría del Lugar, donde se afirmaba que la planificación urbana, más allá de su estructura espacial, debía tener asociado interpretaciones emotivas y significados que muestren su identidad, para poder adquirir la verdadera categoría del lugar (Cruz y Español-Echániz, 2009). Este «sentido del lugar» se alcanzaba con las percepciones y puntos de vista tanto individuales como colectivas, reflejadas en la memoria del lugar. Este concepto ha ido variando a lo largo de la historia, acompañando a los cambios económicos, sociales y políticos.

En los últimos años, el método Landscape Character Assessment (o, en español, caracterización del paisaje) (Tudor, 2014), combina elementos naturales, culturales, sociales, perceptivos y estéticos para definir un paisaje, recogiendo varias de las teorías anteriores en un mismo marco.

Han sido muchos los estudios que se han realizado en torno a la evaluación, la concepción y la relación entre las personas y el entorno que les rodea ya sea natural o urbano. El paradigma de la percepción del paisaje es un marco que permite explicar las diferentes formas de aproximarse y experimentar el entorno, identificando las características que resultan más relevante durante dicha experiencia. Algunas de estas características son, por ejemplo, el encuentro con otras personas, el diseño, las vistas escénicas, las condiciones ambientales, etc (Dorwart et al., 2007; Ode et al., 2010; Tveit et al., 2006).

Dentro de este marco teórico, empiezan a aparecer, cada vez con más frecuencia, una serie de actividades y experiencias científicas relacionadas con la percepción de la ciudad y su paisaje. Estas experiencias buscan objetivar de alguna manera los elementos subjetivos del paisaje, para su estudio y análisis.

Si centramos la atención en las herramientas metodológicas que han permitido sistematizar cada vez más el estudio de la percepción del paisaje, observamos que se ha optado por el uso de técnicas tanto cuantitativas como cualitativas, a veces combinando ambas en un mismo estudio. Para los estudios cuantitativos, el uso de indicadores, estudios estadísticos, encuestas claramente definidas, entre otros, son esenciales. Con respecto a los estudios cualitativos, la base está en las percepciones subjetivas del propio investigador, los grupos focales, la acción participativa o en entrevistas, en sus diferentes modalidades (Rodríguez et al., 2019; Sáenz de Tejada et al., 2021; Santo-Tomás Muro et al., 2020).

Una de estas herramientas, que actúa tanto como potencial evaluador de la percepción de un lugar, pero también como instrumento para la divulgación de los elementos perceptivos del paisaje, son los itinerarios didácticos, en los que centraremos nuestra comunicación.

ITINERARIOS URBANOS: METODOLOGÍA

Debido al creciente interés por el estudio sistemático de la percepción del paisaje, en los últimos años han aumentado los análisis de la experiencia del lugar, que genera sentido de pertenencia o identidad. Por esto, resulta interesante el contraste entre los vecinos que viven cerca de un paisaje estudiado, frente a la visión de alguien ajeno, turista o que visita el lugar por primera vez.

En el caso que aquí presentamos, se realizan una serie de itinerarios o paseos didácticos, donde algunos de los participantes son vecinos de las zonas estudiadas, mientras que otros visitan estos escenarios de la ciudad por primera vez. Esto aporta una diversidad de visiones y opiniones, que van enriqueciendo la conversación a lo largo del recorrido.

El objetivo principal de este trabajo es acercar el patrimonio y el estudio de la ciudad a público tanto general como especializado, a través de una actividad interactiva que se aleje o complemente las charlas puramente teóricas.

Los objetivos específicos de esta actividad son: -

Conocer la evolución de la forma urbana in situ a través de una enseñanza activa.

- Profundizar en los temas de investigación específicos tratados en cada recorrido.

- Promover el estudio de la percepción del paisaje.

Los itinerarios son una metodología dinámica y participativa en sí misma, donde se aplica el *learning by doing* en contacto directo con los lugares estudiados. Así, se define un recorrido donde tratar distintos aspectos tanto de forma analítica, que sirva tanto a los investigadores para entender la relación entre los visitantes de la ciudad y su entorno y como actividad didáctica, que permita a los participantes reconocer los

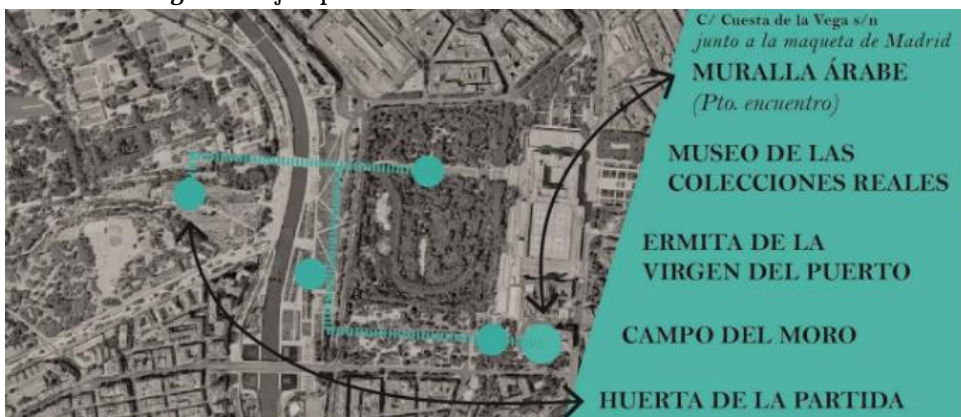
temas tratados, y ahondar en cuestiones teóricas que un simple paseo puede dejar ocultas.

El recorrido planteado puede tener pequeñas variaciones de una vez para otra, en los puntos de inicio y/o final, la longitud y duración del mismo. Cada año se adapta a la temática elegida como leit motiv en el itinerario que se ofrece para las semanas de la Ciencia de la Comunidad de Madrid. Siempre existen suficientes lugares en los que pararse a explicar, aprender a mirar mientras se camina, detenerse a dibujar o a debatir. Entre los temas tratados encontramos, por ejemplo, los espacios abiertos vinculados a los antiguos edificios religiosos de la ciudad, la evolución del paisaje del borde urbano entre campo-ciudad, los elementos de agua que fueron configurando la forma urbana, los jardines históricos que guardan el recuerdo de la ciudad antigua, o las modernas infraestructuras verdes que buscan conectar el centro con los nuevos barrios y coser así todo el espacio público.

En estos recorridos, se combinan explicaciones teóricas por parte de expertos en el tema (miembros del grupo de investigación) con los comentarios de los distintos participantes, de modo que se consigue una interacción fluida y fructífera.

La actividad se realiza con público general y alumnado universitario, normalmente vinculado a las asignaturas optativas Teoría y Técnicas de la Restauración, Arquitectura del Paisaje y/o Dibujo del Natural del Grado en Arquitectura. La adaptación al tipo de público es especialmente necesaria por parte de los profesores, debido a la heterogeneidad de los grupos. Dependiendo de los intereses de los asistentes, se puede adaptar o modificar el recorrido y el enfoque, por lo que es necesaria cierta flexibilidad para amoldarse al contexto.

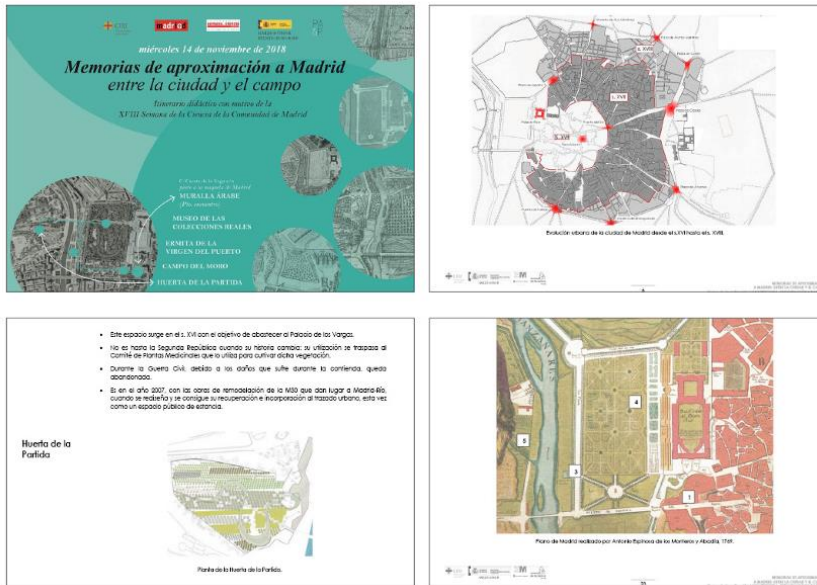
Figura 2. Ejemplo de recorrido de un itinerario didáctico



Los recorridos se estructuran y se apoyan teóricamente con la realización de un cuadernillo con información cartográfica y fotografías históricas, dejando espacio

para escribir y dibujar al final del mismo. Esta documentación permite reflexionar en profundidad acerca de los temas tratados, mejorar la visión espacial y la comprensión planimétrica, así como entender la evolución de la ciudad a la vez que se recorre la misma.

Figura 3. Ejemplo de páginas del cuadernillo



Unido al cuadernillo y a los dibujos, al final del recorrido también se han realizado cuestionarios en torno al conocimiento de la ciudad y a los temas específicos tratados, cuyo análisis permite evaluar la percepción de los mismos.

RESULTADOS ENCONTRADOS Y DISCUSIÓN

Estos itinerarios didácticos consiguen incrementar el interés por la historia de la ciudad, su patrimonio y el paisaje urbano. Además, permiten ver y experimentar la ciudad donde la mayoría de los participantes viven con una mirada más atenta, bajo las lentes de un tema determinado, ya sea el agua en la ciudad o la infraestructura verde, etc.

La visita de la ciudad unido a temas teóricos específicos ayuda a la asimilación de los conocimientos, añadiendo aspectos visuales (tanto teóricos, a través del cuadernillo, como físicos, a través de la propia ciudad) que complementan lo estudiado en un aula. El uso de cartografía histórica, unido con la maqueta de la ciudad localizada a lo largo del recorrido permite retener mejor los conceptos estudiados.

A través de estos recorridos se pone de manifiesto lo que afirmaban Lowenthal en 1965; que los paisajes históricos urbanos, es donde los sentimientos de «continuidad», «prolongación en el tiempo» o la fuerza de los vínculos con el pasado aparecen reflejados en la identidad colectiva de la población.

La cotidianidad de los recorridos permite hablar de temas como sentido de pertenencia, recuerdos asociados al lugar o identidad de un lugar, que complementan el aspecto histórico del recorrido, permitiendo una experiencia más profunda.

En los itinerarios en los que además se dibuja, se añade una capa más en el estudio y la percepción del paisaje. Estos dibujos permiten fijar de forma más específica la mirada, apreciando de forma más significativa elementos que de otra forma podrían pasar desapercibidos.

Figura 4. Fotografías tomadas durante un itinerario didáctico



El uso didáctico de la ciudad y del patrimonio de la misma es un recurso muy económico para docentes e investigadores. La flexibilidad de este recurso permite que, cambiando el modelo de itinerario y/o el lugar, se pueda replicar para usarse en otros contextos con diferentes intereses.

De cara a futuros itinerarios, se han establecido una serie de acciones de mejora, que buscan aumentar el carácter empírico de la actividad para dar lugar a un análisis más exhaustivo de los resultados por parte de los investigadores. Así, se propone sistematizar cuestionarios a través de software específico (Forms, Maptionnaire, Nvivo, etc), que facilitarán un mejor análisis de las percepciones y/o preferencias de los participantes. El dibujar el recorrido, o realizar un mapa mental al final del mismo, también puede ser interesante de cara a futuras experiencias.

Vivir en primera persona la forma urbana hace posible entender y valorar mejor la ciudad, de forma que se aumente la identificación con los elementos urbanos, el paisaje, o la propia historia de la ciudad en la que se vive, fomentando el sentido de pertenencia y el sentido crítico.

La relación entre investigación, divulgación y docencia queda implícita en este tipo de actividades, que por un lado acercan resultados de proyectos de investigación al público general, y por otro lado pueden generar resultados científicos por sí mismos, si se sistematizan las observaciones obtenidas en torno a temas específicos, como en este caso es la percepción del paisaje.

Los buenos resultados obtenidos en anteriores ediciones de la Semana de la Ciencia nos animan a continuar con estos itinerarios didácticos en sus próximas ediciones.

Agradecimientos

Este trabajo pertenece al Proyecto de Investigación titulado “El paisaje periurbano de Madrid: visiones desde la memoria hacia la nueva ciudad” (código PID2019-110693RB-I00) del Ministerio de Investigación y Ciencia, cuya investigadora principal es la profesora Dra. Eva J. Rodríguez Romero. Agradecemos a la Agencia Estatal de Investigación (doi: 10.13039/501100011033) la financiación del mismo.

REFERENCIAS

- Aníbarro, M. Á. (2008). Excepto el puro desierto. De la arquitectura del paisaje al paisaje cultural. *4º Congreso Europeo Sobre Investigación Arquitectónica y Urbana, EURAU08. Paisaje Cultural*, 73–75.
- Barreiro, B. (2015). Psicogeografía y ciudad: Iconografía del urbanismo surrealista. *Ángulo Recto*, 7(1), 5–12.
- Cruz, L., y Español-Echániz, I. (2009). *El paisaje. De la percepción a la gestión*. Ed. Liteam.
- Debord, G. (1967). *The Society of the Spectacle*. In *Beautiful Trouble*. Buchet-Chastel. doi: 10.2307/j.ctt1bkm5nd.113
- Dorwart, C. E., Moore, R. L., y Leung, Y.-F. (2007). Visitor employed photography: Its potential and use in evaluating visitors' perceptions of resource impacts in trail and park settings. *Proceedings of the 2006 Northeastern Recreation Research Symposium*, February 2014, 9–11.
- Hellpach, W. (1937). *Geopsyche. Die menschen seele unterm einfluss von wetter und klima, boden und landschaft. Vierte auflage. The Journal of Nervous and Mental Disease*. doi: 10.1097/00005053-193708000-00054
- Hernández, B., y Jiménez, F. (1988). La investigación en la Psicología Ambiental en España. In *Comportamiento y medio ambiente: La psicología ambiental en España* (1st ed., pp. 31–50). Consejería de Política Territorial.
- Ode, Å., Hagerhall, C. M., y Sang, N. (2010). Analysing visual landscape complexity: Theory and application. *Landscape Research*, 35(1), 111–131. doi: 10.1080/01426390903414935
- Rodríguez, E. J., Granados, C. S. de T., y Santo-Tomás Muro, R. (2019). Landscape perception in peri-urban areas: An expert-based methodological approach. *Landscape Online*, 75, 1–22. doi: 10.3097/LO.201975

Sáenz de Tejada, C., Santo-Tomás Muro, R., y Rodríguez, E. J. (2021). Exploring landscape preference through photo-based Q methodology. Madrid seen by suburban adolescents. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 30(3), 255–278. doi: 10.1080/10382046.2020.1804134

Santo-Tomás, R., Sáenz de Tejada, C., y Rodríguez, E. J. (2020). Green infrastructures in the peri-urban landscape: Exploring local perception of well-being through ‘go-alongs’ and ‘semi-structured interviews.’ *Sustainability*, 12(17), 6836. doi: 10.3390/su12176836

Santolaria, A. (2014). La ciudad como recurso didáctico. *Edetania*, 45, 235–244.

Tudor, C. (2014). *An approach to landscape character assessment*. Natural England. doi: NE579

Tveit, M., Ode, Å., y Fry, G. (2006). Key concepts in a framework for analysing visual landscape character. *Landscape Research*, 31(3), 229–255. doi: 10.1080/01426390600783269

CAPÍTULO 19

LA ENSEÑANZA INVERTIDA: UN NUEVO PARADIGMA EN LA EDUCACIÓN TÉCNICA SUPERIOR

RAFAEL MONGE PALMA*, DANIEL CASTRO MEDINA**,
MARÍA DE LA PAZ MONTERO GUTIÉRREZ*, TERESA PALOMO AMORES*,
Y MARÍA DEL CARMEN GUERRERO DELGADO*
**Universidad de Sevilla; **Universidad de Cádiz*

INTRODUCCIÓN

La innovación en la enseñanza es fundamental en la sociedad actual, ya que abarca desde la incorporación de tecnologías avanzadas hasta la implementación de métodos de enseñanza innovadores, todo adaptado a las necesidades de una generación digitalizada y globalizada. Por esta razón, en las últimas décadas se ha trabajado en la producción y actualización del conocimiento hacia un sistema educativo híbrido que fomente la participación de los estudiantes en las clases. Este se caracteriza esencialmente en la inclusión de métodos de aprendizaje activo como el aprendizaje basado en proyectos o en problemas (Theobald et al., 2020; Zakrajsek y Nilson, 2023). Este método pedagógico consiste en que los estudiantes utilizan el proceso de resolución de problemas a través de la investigación autodirigida y/o en grupo para explorar y resolver varios tipos de problemas que requieren soluciones. La retroalimentación descriptiva frecuente, la reflexión del estudiante y un esfuerzo por diseñar entornos de aprendizaje que motiven intrínsecamente a los estudiantes son elementos esenciales (Hood, 2017). En general, este método fomenta el desarrollo de habilidades intrínsecas como el pensamiento crítico, el debate, la innovación y la creatividad. Estas habilidades se desarrollan a través de la resolución de problemas y ejercicios que requieren tomar decisiones, proponer soluciones y exponer conceptos (Freeman et al., 2014). La introducción del aprendizaje activo en la asignatura conlleva a una mejora en promedio un 6% las calificaciones de los estudiantes (Freeman et al., 2014). Además, hay evidencia de que este método permite consolidar los conocimientos adquiridos de manera más efectiva (Theobald et al., 2020).

Complementando las tradicionales estrategias de aprendizaje activo surge el concepto de clases invertidas, del inglés flipped classrooms. Esta estrategia de enseñanza consiste en proporcionar materiales didácticos multimedia que cubren los conocimientos básicos del curso a los estudiantes para que aprendan a su propio ritmo fuera de clase, con los períodos de clase liberados para actividades de aprendizaje centradas en los estudiantes, como la discusión de la resolución de problemas y el aprendizaje interactivo y colaborativo entre los alumnos (LIU et al.,

2024). La introducción de clases invertidas suele representar un desafío al personal docente en la adaptación del curso, pero ese esfuerzo se traduce en la larga mayoría de los casos una clara mejora de adquisición y consolidación de los conceptos (Howell, 2021). Por otro lado, el profesor tiene el papel fundamental de transmitir a los alumnos los métodos de estudio que deberán desarrollar (Ma, 2023). La ejecución de esta estrategia podrá requerir la integración de materiales/métodos adicionales para que los alumnos no pierdan la motivación en seguir el curso (cuestionarios, guías de estudio, salas de estudio online, entre otros) (LIU et al., 2024).

MÉTODO

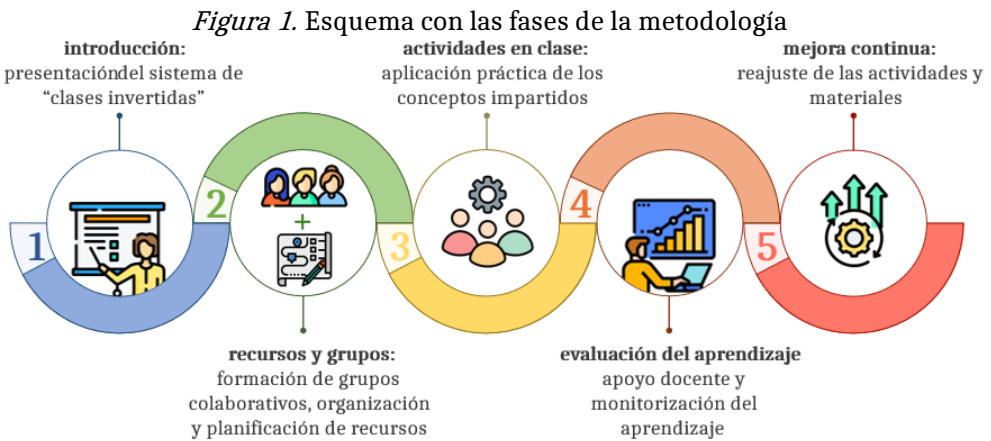
La ingeniería se caracteriza por ser una rama del conocimiento con una fuerte aplicación práctica. Esto conlleva que la evaluación se centre en exámenes que reflejan la realidad, resultando en muchos casos en ejercicios extensos y complejos. La preparación de estos exámenes implica, en gran medida, una dedicación individual muy elevada, lo que lleva a que los alumnos se desmotiven al no saber utilizar adecuadamente las “herramientas” proporcionadas por el docente. La propuesta plantea el aprendizaje y progreso del alumnado de ingeniería mediante la enseñanza invertida. La metodología propuesta se llevó a cabo durante el curso 2022/2023 en los Departamentos de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Cádiz y de Ingeniería Energética de la Universidad de Sevilla (Tabla 1). Los objetivos específicos son:

- Potenciar los conocimientos de la asignatura impartida y crear un hábito de estudio y trabajo autónomo (y en equipo) extrapolable al entorno laboral.
- Promover el aprendizaje colaborativo entre compañeros, la creatividad y la motivación de los estudiantes.
- Fomentar la divulgación científica de los conceptos y curiosidades impartidos en las aulas.
- Impulsar estrategias de motivación en compañeros a con dinámicas de resolución conjunta de ejercicios, compartiendo problemas tipo resueltos y el desarrollo de espacios virtuales de estudio.

Tabla 1. Asignaturas y alumnos matriculados

Institución	Titulación	Asignatura	Matrículas
Universidad de Sevilla (US) Escuela Superior Técnica de Ingeniería	Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales	Ingeniería de Procesos Térmicos	70
Universidad de Cádiz (UCA) Escuela Superior de Ingeniería	Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto	Ingeniería Energética y Fluidomecánica	114

La metodología desarrollada por el personal docente se basa en la motivación de un aprendizaje autónomo y colaborativo. El sistema de enseñanza invertida fue implementado utilizando la plataforma de enseñanza virtual donde se facilita los contenidos de la asignatura por tema. El profesorado les motiva a formar grupos de estudio dentro y fuera de clase para la discusión de los conceptos de la asignatura y monitoriza el grado de aprendizaje a través de pequeños cuestionarios que asegura que la consolidación de los contenidos sea eficiente. La Figura 1 muestra la metodología en detalle, la cual se divide en 5 fases:



Fase 1: Introducción al sistema de clases invertidas. Se explica la metodología de participación y cómo se procede a evaluar. El docente presenta como están organizados los contenidos de la asignatura, concretamente qué temas se imparten por el método tradicional y en cuales se aplican en método de enseñanza invertida. Además, se hace una "visita" guiada a la página de enseñanza virtual de la asignatura en que se presenta los recursos, las guías de estudio, como funcionan las cuestiones tipo test y como se colecta su feedback en relación con su satisfacción con la clase y el nivel de interés en los contenidos explorados.

Figura 2. Clase de introducción a la metodología de enseñanza invertida



Fase 2: Planificación de los recursos y grupos colaborativos. Después de la primera semana y de evaluado el conocimiento de los conceptos base necesarios a la asignatura el personal docente procede al ajuste de los recursos disponibles en la enseñanza virtual y al plan de clases “tradicionales” y “invertidas”. Los resultados de la evaluación preliminar permiten al docente formar los grupos con base a que los alumnos con un nivel de conocimiento más consolidado no se concentren en un único grupo. El número máximo de alumnos por grupo se fijó en cuatro. El objetivo de los grupos colaborativos es generar un entorno de aprendizaje interactiva y con motivación mutua. Hacen parte de la librería de recursos:

- guías de estudio – un listado de lectura recomendada de la bibliografía de la asignatura.

- diapositivas de clase – conjunto de presentaciones que sintetizan los temas y conceptos explorados en la asignatura.

- video clases – clases grabadas.

- ejercicios tipo – colección de ejercicios tipo resueltos paso a paso.

Fase 3: Actividades en clase. Las actividades en clase se dividen en dos tipos: “conceptual” y “análisis”. Las clases conceptuales son clases en el nivel de intervención del docente puede variar, o sea, de acuerdo con el grado de dificultad del tema la clase se imparte en modo tradicional o en formato repaso/revisión de conceptos clave. Las clases de análisis son las clases en que los alumnos tienen el timón y se dedican a resolver las tareas de seguimiento teniendo por base la librería de recursos. Además, el docente en clase de análisis actúa como un elemento de clarificación de dudas que vayan surgiendo y verifica si la aplicación del conocimiento es correcta. Dos días anteriores a cada clase se recuerda a los alumnos las clases que tienen que prepararse y qué tareas van a ser objeto en clase.

Fase 4: Evaluación del aprendizaje. Al inicio y al final de cada clase se habilita un pequeño cuestionario con tres cuestiones tipo test, exigiendo el cálculo de alguna variable en ciertas cuestiones. Las cuestiones son distintas entre alumnos, ya que la enseñanza virtual permite generar de forma aleatoria los cuestionarios gracias a un banco de cuestiones. Estas cuestiones de control que permiten verificar si los alumnos han preparado la clase y si al final de ella con la discusión de la resolución de las tareas concepto principales han quedado asimilados. Adicional a las cuestiones de control, al final de cada bloque temático, en el caso concreto dos, a los alumnos le era introducido un problema más complejo que requiere un análisis paramétrico. Este tipo de problema es introducido como “práctica” y representa un problema de contexto real que era resuelto por cada grupo colaborativo.

Fase 5: Mejora continua. El ciclo de mejora continua se basa en el feedback del alumnado y el análisis de resultados relativos de las cuestiones de control. Al final de cada clase se colecta el feedback de los alumnos a través de una pequeña encuesta

(Tabla 2). Se procede a ajustar en la metodología de enseñanza en función de la retroalimentación del alumnado, i.e., el plan y los recursos de clases “invertidas” es ajustado a la percepción de alumnado teniendo por las necesidades del alumnado y los resultados obtenidos en las cuestiones de control. Este ciclo de mejora continua permite identificar áreas de mejora, adaptar la metodología a las necesidades del alumnado y evaluar el progreso de forma constante. De esta manera, se asegura un proceso de aprendizaje efectivo y adaptado a las necesidades de cada estudiante.

Tabla 2. Encuesta tipo de control de calidad de la metodología de enseñanza

Cuestión	Respuesta
1. ¿Cómo evalúas la clase de hoy?	a. Profesor (1 a 5): “poco claro” a “esclarecedor” b. Compañeros (1 a 5). “no me han ayudado con mis dudas” a “me han ayudado mis dudas” c. Contenidos (1 a 5): “sin interés” a “muy interesantes”
2. ¿Crees que los recursos disponibles en enseñanza virtual te han ayudado para seguir la clase de hoy?	a. Si, son suficientes. b. Si, pero creo que podrían estar más completos.(*) c. No, no hay nada relativo al tema de hoy. d. No sé, no me ha dado tiempo a verlo.
3. ¿Cómo ves el método de clases invertidas?	a. Método de Enseñanza (1 a 5): “nada interesante” a “muy interesante” b. Dificultad de los contenidos (1 a 5): “muy complejos” a “fáciles”
4. ¿El profesor resolvió todas tus dudas?	a. Si b. No c. No he tenido dudas.
5. ¿Estás siendo capaz de seguir la asignatura?	a. Si, sin problemas. b. Si, pero con algunas dificultades en adaptarme. c. Si, pero solo con la ayuda de mis compañeros. d. No, me siento perdido.

El sistema convencional de evaluación de las asignaturas objeto de estudio se basa en sistema de enseñanza tradicional con la realización de un trabajo práctico y un examen a final del curso, con un peso de 10 y 90% respectivamente. Con la integración de la nueva metodología se introduce en una componente de evaluación continua que valora la participación en clase y la entrega de los ejercicios de seguimiento, considerando su calidad, dando una mayor relevancia al trabajo práctico (Tabla 3). Con el sistema de clases invertidas el examen final pasa a tener un peso de 50%.

Tabla 3. Método de evaluación continua del aplicado en las clases invertidas

Componente	Evaluación	Ponderación de la Nota Final
Tareas de seguimiento (2/semana)	2.0 puntos/tarea (hasta el máximo de 10 puntos)	15%
Prácticas (2/curso)	5.0 puntos/práctica (hasta el máximo de 10 puntos)	25%
Participación en las clases	0.1 puntos/intervención (hasta el máximo de 10 puntos)	10%

RESULTADOS

Una forma directa de medir la eficacia del nuevo método de enseñanza es evaluar su impacto en la tasa de aprobados. En el caso concreto se compara la tasa de aprobados del último curso (2023/2024) en cada institución en relación la situación promedia verificada en los últimos dos cursos (Tabla 4). Se ha verificado una mejora de la tasa de aprobación en torno a 22 p.p. en la asignatura de Ingeniería de Procesos Térmicos de la Universidad de Sevilla y ~30 p.p. en la asignatura de Ingeniería Energética y Fluidomecánica de la Universidad de Cádiz. En el nuevo método de enseñanza el trabajo de seguimiento de la asignatura tiene una relevancia equivalente al del examen final. Por un lado, se permite mejorar el seguimiento de la asignatura por parte del alumnado y por el otro lado quitarles la presión de tener un único elemento de evaluación.

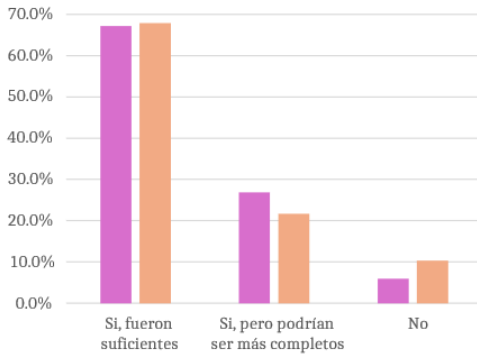
Tabla 4. Análisis de aprobados con el sistema tradicional y con las clases invertidas

	Promedio Cursos 2021/2022 – 2022-2023			Curso 2023-2024			Mejora con clases invertidas
	N.º matriculados	N.º aprobados	% aprobados	N.º matriculados	N.º aprobados	% aprobados	
US	68	49	72.1	70	66	94.3	22.2 p.p.
UCA	104	63	60.6	114	102	89.5	28.9 p.p.

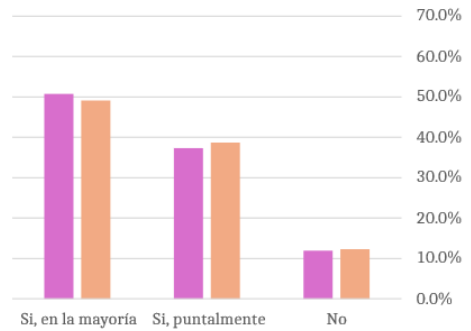
A lo largo del curso fue posible ir recogiendo la percepción de los alumnos a este nuevo sistema y ajustar el número de clases “tradicionales” y “invertidas”. Inicialmente estaban previstas 2 clases “tradicionales” por bloque, sin embargo, fueron extendidas a 3 en Sevilla y 4 en Cádiz en el primer bloque. Del total de 28 clases las clases “invertidas” se realizaron en 23 y 22 clases en Sevilla y Cádiz, respectivamente. Al inicio los docentes ofrecían apoyo iniciando la clase “invertida” con alguna que otra pregunta, pero a medida que los alumnos ya tenían la capacidad de discutir entre ellos, ya llevaban a cabo la resolución de los problemas propuestos y conocían qué conceptos aplicar. Al final del curso, en la última clase antes del examen final, se pidió a los alumnos que valorasen su el nuevo método de enseñanza y su experiencia. La Figura 3 resumen la percepción de los alumnos en relación a las clases “invertidas” y a los recursos proporcionados.

Figura 3. Valoración de las clases invertidas y recursos

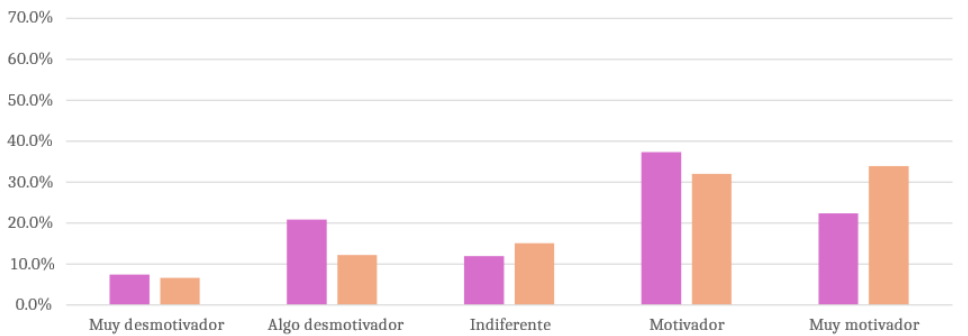
1. ¿Crees que los recursos disponibles en enseñanza virtual te han ayudado para seguir el curso?



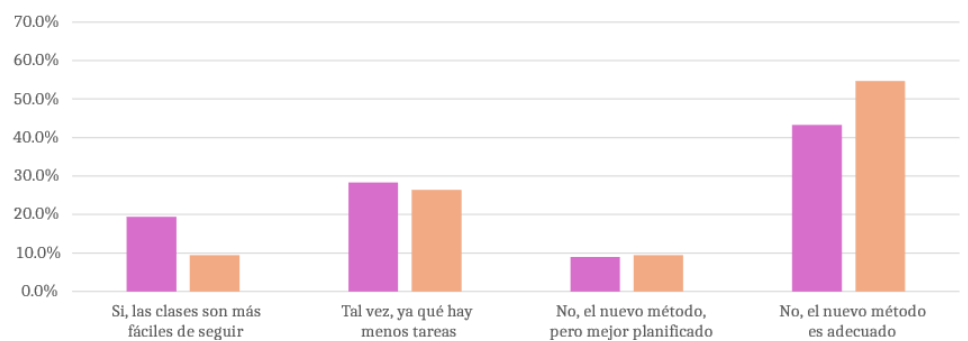
2. ¿Las discusiones en clase te han ayudado a clarificar los conceptos impartidos?



3. ¿Cómo ves el método de clases invertidas?



4. ¿Crees que el método tradicional sería más adecuado a esta asignatura?

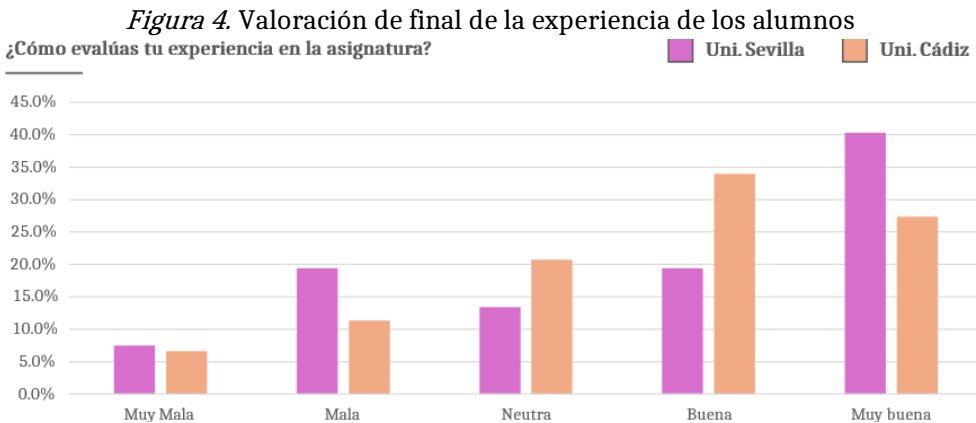


Cerca de 70% de los alumnos han indicado su satisfacción con materiales de estudio presentes en la enseñanza virtual, sin embargo, ~20% ha indicado que podrían ser más completos. Concretamente los alumnos demandaban mayoritariamente más ejercicios resueltos paso a paso. A lo largo del curso se

aumentó la colección de problemas con resolución para que los alumnos tuvieran más autonomía de estudio.

Las discusiones en clase han servido para el aclaramiento de dudas para la mayoría de los estudiantes (~60%, Figura 3), si bien que ~40% de los alumnos han indicado que las discusiones les han servido mayoritariamente como forma de esclarecer dudas puntuales indicando que la preparación cuidada del temario antes de clase es posible. La motivación en asignaturas muy prácticas es crucial, en general los alumnos se han sentido motivados a abrazar el nuevo método de enseñanza (~60%, Figura 3), sin embargo, entre el 10 y el 15% los alumnos se han posicionado como indiferente al método y entre el 18 y el 28% como desmotivados. Esto posiblemente se ha debido a que la asignatura demandase más autonomía y seguimiento de la asignatura más intenso. Cuando cuestionados si el método tradicional sería más adecuado, la mayoría entiende que no (>50%, Figura 3) pero los restantes no saben si sería mejor el método tradicional ya no hay tareas de seguimiento (26-28%, Figura 3) o simplemente por ser clases con un sistema que les permite seguir de forma más sencilla (9-19%, Figura 3).

En el ~60% de los alumnos (Figura 4) valoran su experiencia en la asignatura como buena o muy buena, siendo que entre el 15-20% no tiene una percepción clara, mostrando alguna indiferencia. Por otra parte hay claramente alumnos que no se han sentido confortables con el nuevo método (17-28%, Figura 4) ya que les demanda más trabajo en casa y un seguimiento de la asignatura más activa.



DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

Aproximar el sistema de enseñanza al contexto del mundo laboral es crucial para que los alumnos contacten con los desafíos que les esperan. Este trabajo tuvo como objetivo introducir el método de clases invertidas en dos asignaturas análogas de las Universidades de Sevilla y Cádiz. Las asignaturas objeto se basaban en un método de

enseñanza limitado a un elemento de evaluación. El nuevo método propuesto no solo ha introducido elementos de evaluación y seguimiento continuo de los alumnos como clases basadas en la enseñanza invertida. Los resultados del primer año indican que las clases “invertidas” han ayudado a mejorar la tasa de los aprobados, concretamente entre 22 y 30 p.p. El sistema propuesto no se basa únicamente en clases “invertidas” habiendo un ajuste continuo entre el papel más activo del docente y el papel de los alumnos atendiendo a sus necesidades. En torno al 80% de las clases impartidas a lo largo del curso han tenido como el método de enseñanza el “invertido”.

La aceptación en general de los alumnos del nuevo modelo llega a los 60% indicando que hay claramente aspectos a mejorar, concretamente, mejorar la librería de contenidos del curso. El programa de seguimiento indicó que hay alumnos que sin embargo vean interesante la nueva metodología el método convencional les permite seguir la asignatura por tener menos volumen de trabajo. Uno de los aspectos a mejorar es el diseño de las tareas de seguimiento para sean más cortas.

Como línea futura para la aplicación de esta nueva metodología se pretende generar una página de la asignatura independiente del sistema de enseñanza virtual para garantizar que el contenido de video clases y otro material no tenga que ser recompilado a cada año.

REFERENCIAS

- Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., y Wenderoth, M.P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. doi: 10.1073/pnas.1319030111
- Hood, K. (2017). Telling Active Learning Pedagogies Apart: from theory to practice. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 6(2), 144–152. doi: 10.7821/naer.2017.7.237
- Howell, R.A. (2021). Engaging students in education for sustainable development: The benefits of active learning, reflective practices and flipped classroom pedagogies. *Journal of Cleaner Production*, 325, 129318. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129318
- LIU, L., Hew, K.F., y Du, J. (2024). Design principles for supporting self-regulated learning in flipped classrooms: A systematic review. *International Journal of Educational Research*, 124, 102319. doi: 10.1016/j.ijer.2024.102319
- Ma, Y. (2023). Exploration of flipped classroom approach to enhance critical thinking skills. *Heliyon*, 9(11), e20895. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20895
- Theobald, E.J., Hill, M.J., Tran, E., Agrawal, S., Arroyo, E.N., Behling, S., ... Freeman, S. (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(12), 6476–6483. doi: 10.1073/pnas.1916903117
- Zakrajsek, T.D. y Nilson, L.B. (2023). *Teaching at Its Best: A Research-Based Resource for College Instructors* (5th ed.). Jossey-Bass.

CAPÍTULO 20

CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS DE ARTE URBANO: ESTRATEGIAS DE REGENERACIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO EN EL TIEMPO

JOSÉ JUAN VILA SAN JOSÉ
Universidad CEU San Pablo

INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación busca estudiar el efecto del tiempo en la capacidad de regeneración del espacio público que tienen los proyectos de arte urbano en una comunidad, desde un punto de vista estratégico, a lo largo de su vida útil y los posibles efectos que esto puede generar en el desarrollo urbano desde el punto de vista de innovación docente.

Existen multitud de estudios que vinculan el Arte urbano con materias como planificación, condiciones de vida, trabajo, relaciones sociales, salud, educación, medio ambiente, condiciones de vida y satisfacción en general. Pese a que esta relación es fundamental para establecer el impacto que el Arte Público Urbano (APU) tiene sobre la calidad de vida de la comunidad, pocos lo acometen desde un punto de vista planificado que englobe la vida útil de la obra. Esto contextualiza y acota drásticamente los casos de estudio objetivo, al tener que cumplir dos condiciones fundamentales: las obras de arte urbano no solo tienen que ser proyectos artísticos generados con una intención regenerativa social y urbana, sino que solo servirán casos que puedan ser valorados en un contexto temporal, que nos permita analizar la capacidad de éxito desde su implementación, hasta la concreción de los objetivos propuestos en un inicio. El objetivo final de la investigación es el de identificar los factores más relevantes que confieren al proyecto de arte urbano su capacidad de influenciar positivamente en la calidad de vida de la comunidad, en un marco temporal, previamente planificado, de tal forma que se pueda establecer una estrategia aplicable en lo relativo a la conservación o renovación de la pieza.

Este proyecto se asienta en la línea de investigación activa que el grupo de investigación de la Agenda Urbana y Retos Sociales (AURS) y específicamente en el trabajo del proyecto presentado con el título “La presencia del arte urbano en el espacio público de la ciudad como factor de influencia en la mejora de la calidad de vida de la población tras la pandemia de COVID-19” a la convocatoria nacional de ayudas a «Proyectos de Generación de Conocimiento» Ministerio De Ciencia e Innovación.

Introducción al APU

Hoy en día es imposible entender las ciudades sin el arte urbano que las ocupa. El arte urbano es una de las corrientes artísticas más recientes, y sin duda la más extendida globalmente (Study, Madrid, y Carrasco, 2024). Surgido como una evolución del grafiti, el arte público urbano ha ido adquiriendo protagonismo por su gran impacto en la comunidad. Desde su aparición en 1970, esta forma de expresión ha ido evolucionando, hasta llegar a crear su propio periodo artístico (Rafael Schacter, 2016). Por ello, y por su constante evolución, es importante definir y acotar que entendemos por Arte Público Urbano (APU). Juan Manuel Ros, en el libro “Arte público urbano y calidad de vida” (Ros, 2024) lo define como: “aquellas intervenciones planificadas, obras originales únicas, de expresión creativa diversa, de índole visual o plástica, sea tanto de iniciativa o promoción privada como de carácter institucional o mixta, que ocupa y opera, cualifica e interviene como soporte en el espacio de concurrencia a gran escala, en el dominio físico construido de la ciudad para todos y que tiene la capacidad de interactuar con ella facilitando políticas vinculadas con la regeneración urbana. Se tendrán en cuenta actuaciones coordinadas y de consenso, con vocación de expresión estética, orientadas a la mejora de los espacios compartidos abiertos de la ciudad, excluyendo intervenciones individuales de demarcación territorial no programada.”

Esta definición (Ros, 2024) tiene como particularidad que hace una mención especial sobre la interacción que facilita políticas vinculadas con la regeneración urbana. Y es que, además de la capacidad de alteración física del espacio público, es indudable que las obras de arte público urbano tienen profundos efectos en los individuos que interactúan con ellas.

El arte urbano ha demostrado ser una práctica común y efectiva a la hora de regenerar espacios deprimidos (Phillips, 2004), pero lejos de hacerlo de forma intuitiva o fortuita, este artículo forma parte de una investigación, que pretende encontrar factores de éxito que puedan ser aplicables y reproducibles, en función de unos objetivos concretos previos, que permitan mejorar la calidad de vida de la comunidad. Para ello debemos de entrar a distinguir entre los distintos tipos de APU que existen, para encontrar aquellos que son medibles, bajo los parámetros planteados. Dada la naturaleza de este estudio, y con el fin de entender el efecto del tiempo en la capacidad de regeneración social, nos centraremos en aquellos proyectos que tengan una intencionalidad regenerativa manifiesta y permita comprobar el cumplimiento de unos objetivos dilatados en el tiempo. Esa intencionalidad regenerativa estratégica es clave, ya que, a su vez, establece el marco temporal de vida útil del proyecto, para que se cumplan los objetivos de regeneración.

Figura 1. Obra Seis de Doce, en Los Realejos, Tenerife (2021) del artista Taquen



Fuente: <https://www.taquen.es/seis-de-doce-los-realejos-tenerife-2021->

Tipologías de APUs Tipos de APU

Una vez definido lo que entendemos por APU, podemos empezar a ver la complejidad que supone el clasificarlo, debido a la cantidad de parámetros que engloba. Como cabe esperar, hay una gran variedad de formas de agrupar o distinguir el arte urbano. Rafael Schacter propone clasificarlo en tres etapas en el tiempo, donde a su juicio las obras de cada etapa, coinciden unas con otras en aspectos como la temática, la situación jurídica, diferencias de concepto y ejecución. De esta forma, diferencia el arte público urbano en tres etapas:

- Proto Arte Urbano
- Arte Urbano
- Muralismo contemporaneo

Figura 2. Intervención de Suso33 en el proyecto de Renacer en Plaza de España (2020), comisionado por White Lab



Fuente: Producción propia

Por su parte Hilary Cuffie, en su artículo “Public Art and the impact it has on the society” (Cuffie, 2021) y Muhammad Falihin Jasmi y Nik Hanita en “Roles of Public Art in Malaysian Urban Landscape towards Improving Quality of Life: Between aesthetic and functional value” (Jasmi y Mohamad, 2016), se basan en la clasificación del Portland Public Art Committee, de 2009. Esta clasificación diferencia los distintos tipos de arte público urbano en,

- Obras de arte conmemorativas
- Obras de arte expresivas
- Obras de arte eficientes
- Obras de arte comunitarias
- Obras de arte relacionadas con la tecnología

Sin embargo, para este estudio, dentro de todas las distintas opciones de clasificación de arte público urbano, volveremos a utilizar la acuñada por Juan Manuel Ros, donde se consideran siete criterios de clasificación de acuerdo con distintas modalidades de manifestación y parejas de opuestos. En esta clasificación se establecen diferentes relaciones y posibilidades de conexión entre los diferentes criterios, de manera que cualquier manifestación de arte urbano puede ser definida conforme al grado de intensidad entre los mismos para obtener de cada obra analizada una mayor cualificación de sus atributos. Esto nos facilitará acotar la tipología objeto de este estudio, centrándonos en aquellas que se correspondan a una voluntad regeneradora, planificada y contrastable en el tiempo.

Tabla 1. Tipologías de Arte Público Urbano (APU) según diferentes criterios de clasificación

Siete Criterios de Clasificación del Arte Público Urbano (APU)						
A	B	C	D	E	F	G
Carácter de la iniciativa	Interés de la actuación	Espacio temporal	Modalidad del trabajo	Encuentro con el espectador	Según el discurso reivindicativo	Según el proceso de implicación:
A1 Privado	B1 Comercial	C1 Efímero	D1 Espontáneo	E1 Intencional	F1 Activo	G1 Participativo
A2 Institucional	B2 Social	C2 Permanente	D2 Programado	E2 Casual	F2 Pasivo	G2 Observación

Fuente: Ros (2024)

Según esta clasificación, el Arte Urbano que reúne las condiciones de estudio adecuadas, será el que se lleve a cabo, bajo una iniciativa predominantemente institucional (A2, actuando como tal en el raro caso de ser privado); de interés claramente social (B2), en una modalidad de trabajo programado (D2), en un encuentro intencional con el espectador (E1), con un discurso más o menos reivindicativo (F1/F2 en función del artista y el proyecto), pero buscando un proceso

de implicación participativo (G2). Esto respondería a 6 de las 7 modalidades de manifestación, siendo la séptima, la relativa al espacio temporal, la que queda como incógnita a resolver, como si de una ecuación se tratase. Y es que el factor temporal debe de ir ligado al cumplimiento de unos objetivos basados en un conjunto de parámetros y condiciones, que nos permitan saber el grado de aceptación de esa obra en la comunidad, así como la valoración de la comunidad artística, antes de poder decidir si esa pieza debe de ajustarse a un plan de conservación o, por el contrario, ser renovada periódicamente. Consideraremos que el resultado de esas condiciones y estrategias establecerá el periodo de tiempo que hemos denominado “Ciclo de vida útil” de la obra.

Intención regeneradora y tiempo

Ya sea con el concepto de Ciclo vida útil, ya sea con la erosión o el desgaste natural de una obra, la relación del tiempo con el Arte Público Urbano es un tema tan delicado como fundamental, para poder entender el proceso de la obra en su totalidad y arroja a la vez, un sinfín de cuestiones, no menores.

En la propia esencia del arte urbano está la necesidad de colonizar el espacio público. Incluso en esta época de muralismo contemporáneo, como esgrime Rafael Schacter, en la que el arte urbano ha dejado de lado la ilegalidad, y las obras son encargos, subvencionados por las mismas organizaciones que las comisarian, es imprescindible aclarar su situación jurídica y social, porque ambas van a influir en las posibilidades de conservación urbano (Gayo, 2016).

Una parte fundamental del arte urbano está en la elección de su emplazamiento, ya sea con o sin el permiso del dueño del soporte, su obra está expuesta de forma continua a espectadores casuales, por lo que de la misma forma que hay un control con la publicidad que se pone en marquesinas o vayas, los artistas urbanos son objeto de aceptación o de una censura, no estipulada en ningún manifiesto, por parte de la comunidad que la alberga. Isabel Carrasco en Madrid- Palimpsest: The City as an Experimental Art Laboratory (Carrasco, 2018), hace una metáfora, (basándose en la obra de Donald J Olsen, “The city as a work of art”), comparando la ciudad con un palimpsesto, donde los artistas están continuamente borrando y escribiendo de nuevo. Esto genera un debate sobre la propia naturaleza efímera del arte urbano, donde una obra de arte urbano, no solo se tiene que entender en la localización y el contexto donde se ubica, sino en un momento en el tiempo, que se produce, y con una duración finita. Cada vez que una obra de arte urbano ha sido descontextualizada, ya sea porque se ha movido o porque se ha conservado en el tiempo, se ha generado un debate entre artistas, público e instituciones y entidades locales.

Uno de los mejores ejemplos de estos intensos debates, es el de la East Side Gallery. En 1989, tras la caída del Muro, 118 artistas de 21 países crearon las obras que 7 años más tarde conformaría la East Side Gallery, en el lado este del Muro que había dividido Berlín. Sin embargo, el efecto del tiempo y la mala adecuación de la imprimación base del muro, generó una gran degradación de las obras durante toda la década de los 90. De los 118 artistas, 82 pintaron sus obras por segunda vez en el muro blanco renovado. La mayoría de ellos, pintaron obras fieles a su versión original; mientras que otros hicieron cambios para expresar algo diferente. A su vez, 17 obras fueron copiadas por otros artistas, debido a que los originales habían fallecido, no se pudieron encontrar o eligieron no participar, y otros 5 artistas negaron el permiso para que sus obras fueran copiadas al no estar de acuerdo con el proceso de renovación y sus obras fueron borradas y pintadas de un gris blanquecino tras la restauración del Muro.

Figura 3. Imagen del East Side Gallery en 2004



Fuente: <https://www.eastsidegalleryexhibition.com/topics/art-or-monument/preserving-the-east-side-gallery/>

Este ejemplo pretende mostrar la complicación que supone cualquier tipo de decisión que afecte a cualquier APU, incluso en un caso donde las obras eran programadas y comisariadas por instituciones locales, fuera de cualquier tipo de ilegalidad o de presión por parte de ningún grupo externo, y contando con todo el apoyo de la comunidad local y artística.

A su vez, Paola Mezzadri, en su artículo “Contemporary Murals in the Street and Urban Art Field: Critical Reflections between Preventive Conservation and Restoration of Public Art” (Mezzadri, Macchia, Masini, y Prestileo, 2021), se adentra en las cuestiones más relevantes sobre que hay que preservar dentro del arte urbano,

y quien tiene que tomar la decisión. En él, Paola, resume las dos principales razones por las que el arte urbano debe ser conservado: “Por un lado, la idea de proteger y preservar los murales de arte urbano y callejero surge de dos cuestiones principales: el (aún no) oficial, pero social, “reconocimiento de ellos como obras de arte” [7–10] e íconos queridos en las comunidades; por otro lado, y en consecuencia, la identificación de estas obras de arte como “testimonios que difunden los valores de la civilización” [11] y, por lo tanto, vinculadas a la definición de Patrimonio Cultural (véase el artículo 2, párrafos 1 y 2 del Decreto Legislativo 42/2004 de la normativa italiana) desde las últimas décadas del siglo XX hasta la actualidad. Por lo tanto, el reconocimiento social y la estrecha relación con la normativa establecen la necesidad de encontrar una forma de preservar sus mensajes artísticos en el contexto efímero al aire libre.”

En ellas, queda claro que el interés por el que una obra puede ser conservada, es por el reconocimiento como “ícono querido” de la comunidad (beloved icons, en el texto original), o por ser considerada Patrimonio Cultural al difundir los valores de la civilización (haciendo referencia a la normativa italiana al respecto). Esto nos muestra, que más allá de la belleza objetiva de la obra, el peso del reconocimiento por parte de la comunidad, y los valores que promueve, son los factores principales a la hora de decidir sobre la conservación de una obra de arte urbano.

Figura 5. Realización de la obra “Poseidón” en Helsinborg (Suecia), por parte de Pichiavo



Fuente: <https://www.pichiavo.com/wall-in-helsingborg-sweden/>

Esto tiene especial relevancia al entender de la capacidad de regeneración comunitaria que posé el arte urbano, y hace que nos preguntemos, hasta qué punto el APU tiene una “obligación” para con la comunidad donde se encuentra. Cualquier disciplina de arte, se sobreentiende que tiene una libertad formal y expresiva, que le

otorga un principio de creatividad. Los artistas urbanos, sin embargo, no terminan de poder ser libres en cuanto a la expresión artística se refiere. Como Elena García Gayo nos indica en su Aportaciones para un protocolo de conservación (Gayo, 2016): “El arte no siempre es agradable o decorativo y la libertad de no ser agredido en las vistas cotidianas depende de la sensibilidad, es una causa subjetiva. Esta es una de las paradojas insalvables y el problema no es baladí porque hace que las representaciones no puedan ser todo lo independientes que debieran. Si la acción publicitaria no se puede evitar y no existe defensa legal que respalde el derecho a las propias vistas desde una vivienda, consecuentemente tampoco estará legislada la temática en un mural artístico.”

Previamente hemos explicado, que el Ciclo de vida útil de la obra es el periodo de tiempo que una pieza debe de estar expuesta para lograr unos objetivos de regeneración, en base al estudio del conjunto de factores estratégicos que nos permitan saber el impacto y el grado de vinculación de la obra con la comunidad. Es importante, cuando hablamos del marco temporal del estudio, que se entienda que el ciclo de vida útil del proyecto artístico no hace referencia a la vida material de la obra, si no al tiempo en el que la obra tiene la capacidad de cumplir correctamente con el objetivo con el que se crea. Dicho objetivo tiene que estar reflejado en la estrategia, la cual, nos permitirá saber llegado el momento, si es preciso realizar un plan de conservación de la pieza, una intervención parcial, la renovación total o incluso, la terminación de la misma, mucho antes, de que el final de la vida material de la pieza llegue a su fin (La Nasa et al., 2021, pp. 129-140). Su temporalidad o su perpetuidad, dependerá por tanto del propósito inicial con la que se creó, y del cumplimiento o no de los objetivos marcados.

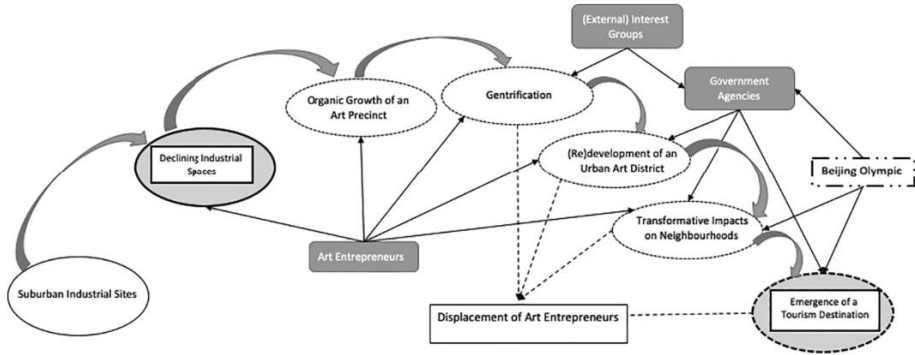
MÉTODO

Medición del éxito de la intervención en el tiempo. Metodología y análisis de resultados.

Uno de los puntos más importantes de este estudio es la capacidad de llevar a cabo una medición contrastada que nos permita contrastar el impacto de la obra. Siendo el APU una disciplina artística tan amplia y compleja, existen múltiples enfoques para medir su impacto, y es importante valorar cada uno de ellos en su justa medida.

Todos conocemos y ha sido objeto de muchos estudios, el efecto de la gentrificación artística en casi todas las grandes metrópolis del mundo. Algo que a priori podría ser beneficioso para una comunidad, acaba siendo la razón por la que esta se ve desplazada.

Figura 5. Esquema conceptual sobre el ciclo temporal de la gentrificación artística (Goh, Ryan, Faisal, y Qi, 2024)



Este apunte, lejos de querer entrar a valorar las políticas que podrían ayudar a mitigar los efectos negativos de la gentrificación, pretende hacer hincapié en la importancia que adquiere que la forma de medición del impacto del arte en una comunidad sea transversal, y que agrupe todos los factores que puedan influir en el individuo, incluyendo el tiempo. Por ello se vuelve crucial generar una metodología de trabajo que permita analizar el índice de éxito del APU con unos indicadores cuantitativos, que permita su medición y comparación, a la vez que unos datos cualitativos que nos hablen del nivel de la implicación lograda en la comunidad.

Entendiendo el potencial regenerador que tienen los APUs, y la necesidad de medir el éxito de una obra en una comunidad, es necesario buscar una forma de medir el impacto y el grado de vinculación que se ha generado en el tiempo. Por todo ello, es fundamental el poder recoger documentación del grado de impacto de los APUs a lo largo de los distintos momentos de su vida, de cara a poder saber si se cumplen los objetivos esperados o no. Esto debe de medirse, no solo en los residentes de la comunidad sino en los consumidores de arte que la disfruten, incluyendo a todo tipo de agentes culturales (Barrup, 2008). La unión de opiniones de público experto y de residentes de la zona, es algo que amplía aún más la transversalidad inherente a la naturaleza de este estudio, donde se junta arte, planificación urbana y sociología.

Figura 6. Imagen de la obra de Boa Mistura, basada en la frase de Eduardo Galeano



Fuente: Facebook de Boa Mistura.
https://www.facebook.com/photo/?fbid=2503206043038061yset=a.196832613675427ylocal=fr_FR

Más allá del segmento de población donde se haga el muestreo, es fundamental poder encontrar qué parámetros nos permiten medir el éxito de una intervención. La capacidad de regeneración de una comunidad puede ser percibida a nivel social, cultural, económico y emocional. Cada uno de estos enfoques ofrecen perspectivas únicas y pueden ser utilizados de manera complementaria para proporcionar una comprensión más completa del impacto del arte público urbano.

A grandes rasgos, creemos acertado adoptar un enfoque mixto, combinando la recopilación de datos tanto cuantitativos como cualitativos en función de su influencia, y dotando al estudio de la transversalidad que abarca. Con esto, cobra especial relevancia el enfoque participativo, siendo la involucración activa de la comunidad en la planificación, diseño, implementación y evaluación, uno de los factores de éxito más relevantes en la capacidad de regeneración urbana del APU.

Según estas consideraciones, la forma de medir el impacto del APU debe de evaluar la cohesión comunitaria, el sentido de pertenencia, la percepción de seguridad, la identidad cultural, la diversidad cultural, la promoción del patrimonio local, el aumento del turismo, el incremento de la actividad comercial en la zona, la generación de empleo en la industria cultural y creativa, el aumento del valor de la propiedad, y monitorear las conversaciones en redes sociales y plataformas en línea para medir el nivel de compromiso y discusión en torno al arte público urbano, lo cual nos dará una idea global de las capacidades de impacto en la comunidad.

Si analizamos todos los elementos anteriormente mencionados, observamos que se asemejan mucho a los indicadores usados para establecer los índices de calidad de vida. Estos indicadores varían según el índice de estudio en cuestión, y para este análisis, dada la transversalidad y el amplio espectro del tema a estudiar, nos

centraremos en los que se recogen en el Índice Multidimensional de Calidad de Vida (IMCV).

Estableciendo el IMCV como uno de los medidores de la capacidad de regeneración comunitaria de la obra, solo faltaría medir el grado de implicación logrado entre la obra y la comunidad (Hemphill, Berry, y McGreal, 2004). Estos dos campos cobran especial relevancia al permitirnos ver el vínculo que se establece entre la comunidad y el APU y su verdadero potencial (Novak-Leonard [2017]).

Esto abre un abanico de posibilidades en el campo de la innovación docente, pudiendo generar un nuevo área de estudio, donde se pueda formar a responsables de planeamiento, en las capacidades regenerativas sociales del arte. Pudiendo impartir estos nuevos conocimientos en las aulas, estamos vinculando transversalmente la sociología, el urbanismo y las bellas artes, a la vez que generamos políticas de integración social.

RESULTADOS

Gran parte del éxito de la investigación, pasa por conseguir validar de forma científica la manera en la que medimos el cumplimiento de los objetivos que se desean conseguir y como tal, una parte importante de la investigación está orientada en generar un sistema de ponderación (Hemphill, Berry, y McGreal, 2004), que permita jerarquizar la importancia de cada una de las dimensiones que establece el índice de calidad de vida, en base a la contribución e impacto que tiene el APU en la comunidad y generar un cumplimiento metodológico, que establezca los criterios de análisis de los proyectos de forma estratégica. En base a esto, se pretende implementar dos modelos de encuestas. El primero, dirigido a artistas urbanos, urbanistas, profesionales de la industria artística, comisarios, curadores y otros agentes culturales relevantes. El segundo, dirigido a los residentes de la comunidad y al público objetivo de arte urbano, se formulará mediante encuestas que nos permitan entender el grado de asimilación y conocimiento del espectador sobre el APU. Ese grado de asimilación es un aspecto fundamental, ya que muestra el vínculo que se establece entre obra y comunidad.

CONCLUSIONES

El APU, es a día de hoy, una de las corrientes artísticas con mayor capacidad de influencia social y comunitaria, a nivel global. Sin embargo, pese a su gran capacidad de impacto, no existen apenas directrices de valoración que nos permitan desarrollar una política de conservación. La falta de este protocolo de actuación que nos ayude a decidir sobre la conservación de las obras de arte, desde un punto de vista de mejora social, genera un vacío en el campo de actuación de nuestras ciudades.

Consideramos de vital importancia, responder a este vacío de protocolos por parte de las grandes instituciones y agencias patrimoniales y gubernamentales, desarrollando estudios sobre los efectos de los APUs con una perspectiva temporal, que nos ayuden a entender las influencias positivas que las obras pueden generar sobre determinadas comunidades, de tal forma que podamos generar un plan de actuación, que nos permita valorar el ciclo de vida de las obras en base a su capacidad de vinculación con la comunidad.

Este protocolo de actuación, puede suponer una innovación desde el punto de vista docente, pudiendo llegar a entender el verdadero potencial del arte urbano, pudiendo formar a las nuevas generaciones a usarlo como una herramienta de regeneración positiva para la sociedad.

Identificación oficial proyecto

Tipo de Ayuda: Proyectos de <<Generación de Conocimiento>>

Convocatoria: 2023

Texto: Proyecto PID2023-151204OB-I00 “La presencia del arte urbano en el espacio público de la ciudad como factor de influencia en la mejora de la calidad de vida de la población tras la pandemia de COVID-19” financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE

Figura 7. Agradecimientos



REFERENCIAS

Barrup, T. (2008). *The creative community builder's handbook: How to transform communities using local assets, arts, and culture*. Madison: Society for Nonprofit Organizations. Recuperado de <https://search.proquest.com/docview/221264514>

Cowick, C. (2015). Preserving street art: Uncovering the challenges and obstacles. *Art Documentation: Journal of the Art Libraries Society of North America*, 34(1). doi:10.1086/680563

Cuffie, H.A.T. (2021). Public art and the impact it has on the society.

Gayo, E.G. (2016). Etapas del arte urbano: Aportaciones para un protocolo de conservación. *Revista de Conservación y Restauración*, 10.

Goh, S., Ryan, C., Faisal, A., y Qi, H. (2024). Mega events, disruptions, and arts entrepreneurs: Reconceptualising the creative transformation of urban spaces. *Annals of Tourism Research*, 92. doi:10.1016/j.annals.2021.103274

Hemphill, L., Berry, J., y McGreal, S. (2004). An indicator-based approach to measuring sustainable urban regeneration performance: Part 1, conceptual foundations and methodological framework. *Urban Studies*, 41(4), 725–755.

<https://boamistura.com/proyectos/>

doi:10.3390/heritage4030142

<https://foundationblog.haring.com/topics/crack-is-wack>

<https://okudasanmiguel.com/project/infinite-/>

<https://www.eastsidegalleryexhibition.com/topics/art-or-monument/preserving-the-east-side-gallery/>

<https://www.elmundo.es/album/metropoli/arte/2019/>

<https://www.haring.com/>

<https://www.pichiavo.com/wall-in-helsingborg-sweden/>

<https://www.taquen.es/seis-de-doce-los-realejos-tenerife-2021->

Jasmi, M.F. y Mohamad, N.H.N. (2016). Roles of public art in Malaysian urban landscape towards improving quality of life: Between aesthetic and functional value. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 222. doi:10.1016/j.sbspro.2016.05.201

Mezzadri, P., Macchia, A., Masini, N., y Prestileo, F. (2021). Contemporary murals in the street and urban art field: Critical reflections between preventive conservation and restoration of public art. *Heritage*, 4(3). doi:10.3390/heritage4030142

Novak-Leonard, J. y Skaggs, R. (2017). Public perceptions of artists in communities: A sign of changing times. *Artivate*, 6(2), 5–22.

Phillips, R. (2004). *Artful business: Using the arts for community economic development*. Oxford University Press.

Ros, J. M. (2024). *Arte público urbano y calidad de vida*. Conarquitectura Ediciones.

Schacter, R. (2016). *Ornament and order: Graffiti, street art and the parergon* (2.^a ed.). Routledge.

Study, B.U., Madrid, A.M.I., y Carrasco, B. (2024). *Graffiti, street art, and independent interventions in public space in Madrid*. Boston University.

CAPÍTULO 21

EVALUACIÓN DE LAS PRUEBAS DE ACCESO A LA UNIVERSIDAD EN LA ASIGNATURA DE QUÍMICA EN EL MARCO DE LA TAXONOMÍA DE BLOOM

JOSÉ MANUEL VILA ABAD*, ANA ISABEL ARES PERNAS**,
JUAN MANUEL ORTIGUEIRA AMOR*, FÁTIMA LUCIO MARTÍNEZ*,
JESÚS JOSÉ FERNÁNDEZ SÁNCHEZ**, Y DIGNA VÁZQUEZ GARCÍA**
**Universidad Santiago de Compostela; **Universidad de A Coruña*

INTRODUCCIÓN

Es sabido que el diseño de las pruebas de evaluación influye de manera determinante en el currículo, métodos educativos empleados, la actitud de los docentes o los resultados obtenidos por los estudiantes (Spratt, 2005).

En general esta influencia tiende a verse como negativa, aunque esto no debería de ser así necesariamente, si el diseño de la prueba es adecuado (Baird, Andrich, Hopfenbeck, y Stobart, 2017; Barnes, 2017).

Este efecto del tipo de evaluación sobre el proceso de aprendizaje es especialmente notable cuando los exámenes tienen consecuencias notables sobre el futuro del estudiante (high-stake exams en nomenclatura inglesa). Se ha sugerido que un adecuado diseño de estas pruebas podría tener efectos positivos en el proceso educativo (Daly, Baird, Chamberlain, y Meadows, 2012; Kuhn, 2011). Aunque otros autores describen efectos negativos, como la reducción del currículo (Holme, Richards, Jimerson, y Cohen, 2010; Jager, Maag Merki, Oerke, y Holmeier, 2012; Kwon, Lee, y Shin, 2017; Rind, Mari, y Heidari-Shahreza, 2019).

Dentro de esta categoría se incluirían aquellos exámenes que habilitan para el acceso a la universidad. Por ejemplo, en España, al finalizar la enseñanza secundaria, los alumnos que desean ingresar en la universidad deben realizar una prueba conocida como Prueba de Acceso a la Universidad (PAU). La calificación de dicha prueba hace media con las notas obtenidas por los alumnos en los dos últimos cursos de enseñanza secundaria. Para la entrada en la universidad los alumnos deben conseguir una nota de 50% en la media. El porcentaje que alcanza dicha media es elevado, superando de manera repetida el 90% de los alumnos presentados a examen, por lo que su trascendencia como filtro de acceso es moderada (Ministerio de Ciencia Educación y Universidades, 2024).

Sin embargo, la calificación obtenida también ordena a los alumnos para el acceso a aquellos grados que tienen limitado el número de plazas de acceso. En aquellas titulaciones más demandadas, la calificación obtenida es clave para el acceso, por lo que la prueba adquiere una gran importancia.

En las PAU, los exámenes de Química son optativos, pero son elegidos por un elevado número de alumnos ya que puntúan para el acceso a un gran número de grados, entre los que se encuentran los muy demandados de ciencias de la salud, que incluyen medicina, odontología o enfermería.

Una reciente investigación demostró la relación entre el formato y los contenidos de las PAU de química en España y la forma en que los docentes de los últimos cursos de secundaria enseñan. Así, encontró una correlación entre los contenidos de los exámenes PAU y los enseñados en las aulas. Esto no siempre coincidía con la percepción que los profesores tenían sobre que sería más importante en el currículo, notándose una falta de contenidos más innovativos en las pruebas PAU. También la metodología empleada en las aulas parece influida por las pruebas PAU, como se demuestra por la correlación de la importancia de los contenidos experimentales en las PAU y el uso de estas actividades en las aulas. Finalmente, demostró que los profesores emplean masivamente pruebas PAU de años previos, tanto como material de clase, como para integrar en las pruebas de evaluación (De la Fuente y Calvo, 2022).

La actual generación de pruebas de acceso de Química parece bastante centrada en un modelo basado en contenidos y omitiendo cuestiones de carácter más competencial como las que incluían conceptos relacionados con el trabajo experimental o la relación de la química con aplicaciones relevantes por su importancia económica o social (De la Fuente, 2023).

Con estos antecedentes, parece lógico pensar que cualquier cambio legislativo que quiera ser exitoso, debe ir acompañado de una adaptación de las PAU a la nueva filosofía de este.

El último cambio legislativo en España, que afectó al diseño de la educación secundaria, presentó cambios notables. Entre ellos cabe destacar un diseño más competencial y menos basado en los contenidos. De hecho, se explicitan unos conocimientos destrezas y actitudes, denominadas saberes básicos, que deben permitir al alumno alcanzar las competencias buscadas, pero no se indica en que profundidad o extensión se deben tratar. Las competencias se deben evaluar mediante una serie de criterios de evaluación que se explicitan.

Dada la importancia de las Pruebas de Acceso y en este contexto de cambio, parece razonable, evaluar las actuales para determinar su tipología. Una de las maneras de conseguirlo es utilizar una de las taxonomías que permiten jerarquizar los procesos cognitivos. Entre las más conocidas está la denominada Taxonomía de Bloom (Bloom, Engelhart, Furst, Hill, y Krathwohl, 1956), que establece 6 niveles cognitivos:

Conocimiento: Este nivel implica la memoria de hechos, términos, conceptos básicos y respuestas. Es la capacidad de recordar información previamente aprendida.

Comprensión: Es la capacidad de entender el significado de la información. Implica traducir, interpretar y extrapolar ideas.

Aplicación: Este nivel se refiere a la habilidad de usar la información en situaciones nuevas y concretas.

Análisis: Implica descomponer información en sus componentes y entender la relación entre ellos. Incluye la identificación de causas, motivos y patrones.

Síntesis: En este nivel, se combinan elementos para formar un todo nuevo y coherente. Es la habilidad de poner juntos partes para formar un nuevo esquema o estructura.

Evaluación: Este es el nivel más alto y se refiere a la capacidad de emitir juicios basados en criterios y estándares. Incluye la evaluación de la validez de ideas, la calidad de trabajo, y la eficacia de procedimientos.

Cada uno de los seis niveles lleva asociados uno verbos cuya utilización o presencia indicaría la pertenencia de una pregunta a dicho nivel.

Posteriormente los niveles de la taxonomía se actualizaron para adaptarlos a situaciones más contemporáneas: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar, crear (Anderson et al., 2001).

Aunque en esta segunda clasificación pervive la idea original de Bloom, ya que la mayoría de los niveles son análogos, un cambio importante es que coloca la creatividad en lo alto de la pirámide cognitiva (síntesis en la taxonomía original), resaltando su importancia en el aprendizaje.

Esta taxonomía es ampliamente usada y, por tanto, bien conocida por la comunidad educativa lo que proporciona una base común para la comprensión de la clasificación. No obstante, el uso de esta taxonomía para clasificar preguntas de examen tiene sus dificultades. Por ejemplo, no ha sido tan ampliamente usada en el campo de la educación en química, por lo que no hay una base de ejemplos suficiente como para consensuar la catalogación de preguntas a diferencia de los que sucede en otras disciplinas. Es más, algunos estudios muestran una gran variabilidad a la hora de asignar niveles cognitivos incluso entre expertos que usan este sistema de clasificación habitualmente (Geye, 2022). Para este trabajo decidimos utilizar como referencia el trabajo de Talanquer y Dávila (Dávila y Talanquer, 2010) en el que examinó los problemas y cuestiones de tres de los libros de química general más utilizados en los Estados Unidos. En dicho trabajo aparecen criterios de clasificación, aunque parciales, en base a los cuales tratamos de catalogar las preguntas de las PAU.

Recientemente, los modelos de Inteligencia Artificial (IA) denominados modelos de lenguaje a gran escala (LLM por sus siglas en inglés) han demostrado gran capacidad para generar textos gramaticalmente correctos en una enorme variedad de temas, con unas sencillas instrucciones denominadas “prompt” en inglés (White, 2023). Uno de los más famosos el ChatGPT (OpenAI, 2024) que ha ocupado ingentes

páginas de la prensa. Su nivel de competencia en el campo de la química ha sido objeto de estudio en los últimos meses, constatando que comete frecuentemente errores llamados “alucinaciones” y que en ocasiones presenta algunos errores como correctos con gran convicción (Clark, 2023; Fergus, 2023; Talanquer, 2023; Tyson, 2023). Pese a ello resulta asombrosa la capacidad para comunicarse con los seres humanos en un lenguaje coloquial y dotes de “razonamiento” que en muchos casos supera a los seres humanos (OCED, 2023).

Dado que la clasificación de preguntas según la mencionada taxonomía puede resultar tediosa y consumir mucho tiempo de quienes elaboran las pruebas, decidimos comprobar hasta qué punto ChatGPT en su versión 4.0 era capaz de llevar a cabo esta tarea. Con anterioridad la menos desarrollada versión 3.5 había sido utilizada con este fin, con un éxito reducidos.

En este trabajo nos planteamos esencialmente dos preguntas.

¿A qué categorías de la Taxonomía de Bloom pertenecen las cuestiones de las PAU de Química en Galicia?

¿Es capaz el LLM ChatGPT de clasificar las cuestiones de las PAU de Química según la taxonomía de Bloom?

MÉTODO

Para la elaboración del presente trabajo utilizamos los ocho exámenes de Química de la Prueba de Acceso a la Universidad de la comunidad autónoma de Galicia entre los años 2020 y 2023 (dos convocatorias por año). Estos exámenes constan de ocho preguntas de respuesta corta y semiabierta, así como de problemas numéricos; cada una de las preguntas tiene dos apartados, cada uno de los cuales se han clasificado de forma independiente, haciendo 128 y a algunos de ellos se les han asignado más de un nivel en la escala de Bloom revisada, cuando se ha considerado necesario.

Para someter los exámenes a la clasificación de ChatGPT4.0 escogimos el siguiente prompt:

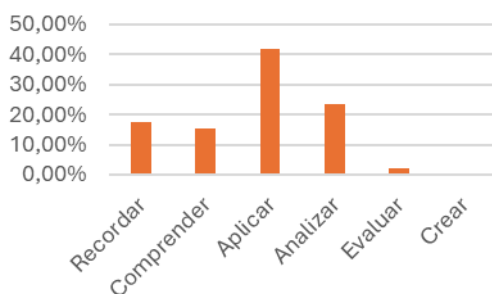
Hola, te voy a enviar un examen con ocho preguntas, cada una de ellas con dos apartados. Me gustaría que clasificases cada uno de esos apartados según la taxonomía de Bloom actualizada. No asignes más de dos categorías por cada apartado y puedes asignar una sola si lo consideras preciso. Si puedes, elabora una tabla al final con cada pregunta y la categoría de la taxonomía que le has asignado.

Tras el cual se copiaban al chat de ChatGPT directamente y de manera sucesiva los ocho exámenes de las pruebas PAU. Todos los exámenes se enviaron al chat en la misma sesión. Se empleó para la evaluación la versión más reciente de ChatGPT, la 4.0.

RESULTADOS

Como puede apreciarse en la Figura 1 la mayor frecuencia corresponde a las preguntas de la categoría de aplicar. Esto se debe a que un porcentaje importante corresponde a problemas numéricos que, según la clasificación de Talanquer corresponden a esta categoría ya que suponen la aplicación directa de una fórmula o de un procedimiento no numérico. Por ejemplo, la determinación de una constante de equilibrio o la aplicación de las teorías de Enlace Valencia o de Repulsión de Pares de Electrones de Valencia entrarían dentro de esta categoría. No obstante, cuando la aplicación de dichos conceptos requiere de una conceptualización previa, es decir, no se debe a una aplicación directa de la fórmula o modelo si no que requiere de elaboración previa de los datos o la modificación de la fórmula, se ha considerado que pertenecen a la categoría de análisis, la segunda más numerosa.

Figura 1. Clasificación de las preguntas de las Pruebas de Acceso a la Universidad de los años 2020 a 2023 según la taxonomía de Bloom



También se observa que las dos categorías de mayor complejidad cognitiva evaluar y crear, están prácticamente ausentes.

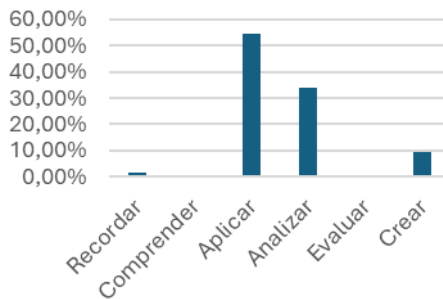
Estos datos concuerdan bastante bien con lo observado por Talanquer sobre las preguntas y problemas que aparecían en los libros más utilizados en EEUU, en los que las categorías más elevadas están también ausentes y la mayoría de las cuestiones se enmarcan en las dos categorías intermedias. Esto parece indicar que las pruebas del selectivo se basan en los libros habituales.

En el contexto definido por la ley educativa vigente, LOMLOE, que se basa en un modelo competencial, parece razonable pensar que las PAU deban cambiarse para adaptarse a dicho modelo, en el que se da más importancia a las destrezas o competencias que al conocimiento. Por ello es preciso dar más peso a aquellos procesos cognitivos de orden superior, es decir la evaluación y la creación en la escala de Bloom. Sin embargo, estos son precisamente los menos presentes en los exámenes PAU de Química. Y es aquí donde convendría hacer una reflexión.

Por su mayor complejidad, demostrar que se han alcanzado estos niveles requiere de más tiempo de trabajo del alumno. Además, y sobre todo en caso de la creatividad, la posibilidad de fallo se incrementa, incluso para alumnos brillantes. Estas dos dificultades pierden importancia cuando el proceso de evaluación se extiende en el tiempo, pero, en una PAU, con un tiempo muy limitado y unas consecuencias enormes para el alumno, esta incertidumbre no es deseable. Por ello, diseñar una prueba escrita con las limitaciones de las PAU en las que los alumnos puedan demostrar son capaces de emplear esos niveles de razonamiento superiores, es todo un reto.

Como se puede ver en la figura 2 la clasificación que ChatGPT 4.0 hace de las preguntas de estos ocho exámenes de las PAU de Galicia es ligeramente diferente a la efectuada por nosotros. Por un lado, apenas cataloga preguntas en las categorías más bajas de recordar y comprender cuando nosotros situábamos en estas casi el 33% de las preguntas. Aumenta un poco el porcentaje de preguntas asignadas a las dos categorías superiores hasta el 9.5% frente a nuestra asignación del 2.17%. En lo que si coincide es en la preponderancia de las categorías intermedias en las que ChatGPT sitúa casi el 90 % de las preguntas.

Figura 2. Clasificación de las preguntas de las Pruebas de Acceso a la Universidad de los años 2020 a 2023 según la taxonomía de Bloom. Clasificación efectuada por ChatGPT 4.0



Esta discrepancia puede deberse tanto a la incapacidad de ChatGPT, pero también se puede atribuir al hecho de que la asignación es muy dependiente del contexto del grupo de estudiantes, y una pregunta puede, por ejemplo, parecer a priori asignable a una categoría cognitiva alta, pero la misma pregunta puede también contestarse memorísticamente. Las habilidades que empleará el alumno en la respuesta requieren conocer las características del grupo de alumnos.

Limitaciones del estudio

Una de las principales dificultades a la hora de abordar el estudio radica en la subjetividad de la clasificación de las preguntas en las categorías de Bloom ya que no existe un marco común consensuado en la Comunidad Educativa Química.

Por otro lado, ChatGPT por su funcionamiento esta aquejado de un cierto grado de incertidumbre, es decir, puede dar diferentes respuestas a la misma solicitud, que pueden ser o no correctas. Esto hace que para poder sacar conclusiones estadísticamente significativas sea necesario repetir un número indeterminado de veces la misma solicitud. No obstante, esta limitación se compensa parcialmente por el relativamente alto número de ítems sometidos a su evaluación.

De cara a futuros trabajos resultaría interesante consensuar un marco común para catalogar los diversos tipos de preguntas, problemas y actividades existentes en el campo de la Educación Química, según la taxonomía de Bloom. De esta forma sería posible establecer comparaciones con una cierta fiabilidad. Esto podría resultar muy útil, por ejemplo, a la hora de elaborar exámenes para las PAU, ya que cada comunidad autónoma tiene libertad para establecer su modelo de examen, sin embargo, existe distrito único a la hora de escoger titulación, es decir un alumno puede utilizar la nota PAU de su comunidad para matricularse en cualquiera otra del sistema universitario español. Esto puede ocasionar agravios comparativos, en un asunto tan sensible como este. En este contexto disponer de herramientas para poder equiparar la dificultad de las pruebas en todo el estado, puede ser de gran utilidad.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que la gran mayoría de las preguntas de las Pruebas de Acceso a la Universidad de la comunidad autónoma de Galicia entre los años 2020 y 2023 se pueden catalogar en los niveles intermedios de la escala taxonómica de Bloom. Una comparación con la clasificación de las mismas preguntas hecha por ChatGPT 4.0 indica que el chatbot reconoce que la mayoría de las preguntas se encuentran en las categorías intermedias, pero no es capaz de replicar las cuestiones en los ámbitos de recordar y comprender.

REFERENCIAS

Anderson, L., Krathwohl, D., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., y Wittrock, M. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy*. Longman Publishing: New York.

Baird, J., Andrich, D., Hopfenbeck, T., y Stobart, G. (2017). Assessment and learning: Fields apart? *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*, 24(3), 317–350. doi:10.1080/0969594X.2017.1319337

Barnes, M. (2017). Washback: Exploring what constitutes “good” teaching practices. *Journal of English for Academic Purposes*, 30, 1–12. doi:10.1016/j.jeap.2017.10.003

Bloom, B. (Ed.), Engelhart, M., Furst, E., Hill, W., y Krathwohl, D. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain*. David McKay: New York.

Clark, T. (2023). Investigating the Use of an Artificial Intelligence Chatbot with General Chemistry Exam Questions. *J. Chem. Educ.*, 100(5), 1905-1916.

Daly, A., Baird, J., Chamberlain, S., y Meadows, M. (2012). Assessment reform: Students' and teachers' responses to the introduction of stretch and challenge at A-level. *Curriculum Journal*, 23(2), 139–155. doi:10.1080/09585176.2012.678683

Dávila, K. y Talanquer, V. (2010). Classifying End-of-Chapter Questions and Problems for Selected General Chemistry Textbooks Used in the United States. *J. Chem. Educ.*, 87(1), 97-101.

De la Fuente, A. y Calvo, M. (2022). Washback of Spanish university entrance examination on chemistry teaching in upper secondary education. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*, 29(4), 422-440.

De la Fuente, M. (2023). Hacia una evaluación competencial de la química en las pruebas de acceso a la universidad. *An. Quím.*, 119(3), 175-180.

Fergus, S., Botha, M., y Ostovar, M. (2023). Evaluating Academic Answers Generated Using ChatGPT. *J. Chem. Educ.*, 100(4), 1672-1675.

Geye, E. (2022). The Process of Establishing a Blooming Chemistry Tool for Use in Undergraduate Chemistry Education and Research. *Dissertations and Theses. Paper 6075*. doi:10.15760/etd.7945

Holme, J., Richards, M., Jimerson, J., y Cohen, R. (2010). Assessing the effects of high school exit examinations. *Review of Educational Research*, 80(4), 476–526.

Jager, D., Maag, K., Oerke, B., y Holmeier, M. (2012). Statewide low-stakes tests and a teaching to the test effect? An analysis of teacher survey data from two German states. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*, 19(4), 451–467.

Kuhn, S. (2011). Exploring the use of statewide exit exams to spread innovation – The example of Context in science tasks from an international comparative perspective. *Studies in Educational Evaluation*, 37(4), 189–195.

Kwon, S., Lee, M., y Shin, D. (2017). Educational assessment in the Republic of Korea: Lights and shadows of high-stake exam-based education system. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*, 24(1), 60–77.

Ministerio de Ciencia Educación y Universidades. Estadísticas de las Pruebas de Acceso a la Universidad (PAU). (Acceso marzo 2024). <https://www.universidades.gob.es/estadistica-de-las-pruebas-de-acceso-a-la-universidad-pau/>

OCDE. (2023). Putting AI to the test: How does the performance of GPT and 15-year-old students in PISA compare? *OECD Education Spotlights*, n.º 6. Éditions OCDE, Paris. doi:10.1787/2c297e0b-en

OpenAI. (2023). ChatGPT (versión de junio 2024) [Modelo de lenguaje de gran tamaño]. Recuperado de <https://chat.openai.com/chat>

Rind, I., Mari, M., y Heidari-Shahreza, M. (2019). Analysing the impact of external examination on teaching and learning of English at the secondary level education. *Cogent Education*, 6(1), 1574947. doi:10.1080/2331186X.2019.1574947

Spratt, M. (2005). Washback and the classroom: The implications for teaching and learning of studies of washback from exams. *Language Teaching Research*, 9(1), 5–29.

Talanquer, V. (2023). Interview with the Chatbot: How Does It Reason? *J. Chem. Educ.*, 100(8), 2821-2824.

Tyson, J. (2023). Shortcomings of ChatGPT. *J. Chem. Educ.*, 100(8), 3098-3101.

White, A. (2023). The Future of Chemistry Is Language. *Nat. Rev. Chem.*, 7(7), 457-458.

CAPÍTULO 22

DISPARIDADES DE GÉNERO EN INGENIERÍA DE SOFTWARE: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

MARLENE VALERIA NEGRIER SEGUEL, ANA DEL PILAR BUSTAMANTE MORA, Y
JORGE HOCHSTETTER
Universidad de La Frontera

INTRODUCCIÓN

La formación de mujeres en el contexto de la educación superior, especialmente en áreas STEM como la ingeniería de software, presenta desafíos cruciales en términos de equidad y calidad formativa (UNESCO, 2017). A pesar de las políticas públicas implementadas en diversos países para mejorar los índices de retención y empleabilidad de las mujeres, se ha observado que muchas de estas iniciativas no han logrado los resultados esperados (OECD, 2018).

Un estudio realizado para la Comisión Europea que tiene como objetivo identificar los factores clave y las tendencias sobre la participación de las mujeres en el sector digital y las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación), destaca cómo, a pesar de que el 57% de los graduados universitarios en los EE.UU. son mujeres, sólo el 24,9% de ellas lo hacen en áreas relacionadas con las TIC (European Commission, 2018).

En los últimos años, diferentes entidades han desarrollado programas para incentivar e involucrar a las mujeres en los campos de STEM (Vainer, 2021). Estas iniciativas buscan hacer visibles a las mujeres científicas y eliminar la visión androcentrista predominante en estas áreas, resaltando guías y estrategias para integrar la perspectiva de género en la enseñanza universitaria (Calvo-Iglesias, Epifanio, Estrade, y Mas, 2022).

En Chile, durante el año 2023, la diferencia de participación por género en el sistema de educación superior muestra un panorama mixto. Las mujeres constituyen el 52,5% de las matrículas de primer año, mientras que los hombres representan el 47,5%. Este incremento en la participación femenina es un aspecto positivo que refleja avances en la igualdad de oportunidades educativas. Sin embargo, la situación se torna preocupante en las áreas relacionadas con la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés), donde se evidencia la mayor brecha negativa. Solo un 19,7% de las estudiantes que se matriculan en primer año en estas disciplinas son mujeres, mientras que los hombres alcanzan un abrumador 80,3%. Este desbalance destaca la necesidad urgente de implementar estrategias que promuevan la inclusión y participación equitativa de mujeres en campos STEM

(MINEDUC, Servicio de Información de Educación Superior, y División de Información y Acceso, 2023).

Aunque se han implementado políticas para mejorar el ingreso y la permanencia, las mujeres siguen estando subrepresentadas en carreras como ingeniería. La elección de estas carreras por parte de las estudiantes mujeres está limitada por estereotipos y prejuicios sociales (Álvarez-Aguilar, 2019).

La ingeniería de software, al igual que muchos otros campos de STEM, ha enfrentado desafíos significativos en términos de diversidad de género. Esta desigualdad de género puede manifestarse en varios aspectos del proceso educativo, incluyendo las tasas de asistencia y los resultados de rendimiento académico. Comprender la relación entre la asistencia y el rendimiento académico, y cómo estos factores varían entre géneros, es crucial para desarrollar estrategias efectivas que promuevan la igualdad y la excelencia académica.

En este contexto, la asistencia a clases emerge como un componente esencial que puede influir significativamente en el aprendizaje y la retención de conocimientos. Estudios previos han sugerido que la asistencia regular está correlacionada con mejores calificaciones y una comprensión más profunda del material del curso (Credé, Roch, y Kieszczyńska, 2010).

Este trabajo propone explorar las tendencias de asistencia y rendimiento en un curso de ingeniería de software, analizando cómo estos factores difieren entre estudiantes masculinos y femeninos a lo largo de varios períodos académicos. A través de un análisis comparativo detallado, se busca identificar patrones que puedan informar el desarrollo de políticas educativas y prácticas pedagógicas que no sólo aborden las disparidades de género, sino que también mejoren el rendimiento académico y la experiencia educativa de todos los estudiantes.

Trabajos relacionados

A continuación, se mencionan algunos trabajos de la literatura previos que han abordado las disparidades de género en campos STEM algunos específicamente en ingeniería de software.

Perspectiva de género y fomento de la diversidad en la docencia de Ingeniería del Software (García-Holgado et al., 2020)

Se describe la incorporación de la perspectiva de género en el contexto de la Ingeniería Informática a través de una experiencia piloto implementada durante tres cursos académicos en la asignatura de Ingeniería del Software, con el fin de integrar la perspectiva de género en la enseñanza de la ingeniería, enfatizando que la brecha de género en los campos de STEM impacta tanto en la formación educativa de los estudiantes como en sus oportunidades laborales futuras. Esta iniciativa busca no solo

sensibilizar a los futuros profesionales sobre la desigualdad de género, sino también fomentar un entorno académico más inclusivo que contribuya a cerrar esta brecha en el sector tecnológico.

Se mencionan varias iniciativas nacionales e internacionales, como Women Techmakers y Adalab, enfocadas en aumentar la diversidad en el sector tecnológico.

Se discute la falta de materiales metodológicos prácticos para introducir la igualdad de género en la educación superior, lo que limita la formación en este ámbito.

Los resultados de un proyecto de innovación docente en la Universidad de Salamanca evidencian la necesidad de visibilizar más a las mujeres en carreras técnicas.

Inclusión de la perspectiva de género en la asignatura de Ingeniería de Software I (García-Holgado, 2017)

Describe las estrategias implementadas en la asignatura de Ingeniería de Software I de la Universidad de Salamanca, para promover la equidad de género.

Se promovió la formación de grupos mixtos, el uso de redes sociales para visibilizar el problema, y el diseño de soluciones tecnológicas con énfasis en la reducción de la brecha de género.

Se incluyeron actividades prácticas y un trabajo final donde los estudiantes desarrollan proyectos con una perspectiva de género, como portales de empleo para mujeres o aplicaciones para promover las STEM entre niñas.

La evaluación mostró un cambio en la percepción de los estudiantes respecto a la importancia de abordar el tema de género en la ingeniería de software, validando los instrumentos utilizados para futuras implementaciones.

Introducción de la Perspectiva de Género en la docencia de Ingeniería del software (García-Holgado et al., 2017)

Explora la integración de la perspectiva de género en la formación de estudiantes de ingeniería de software, subrayando la importancia de visibilizar la brecha de género en este campo.

Se mencionan actividades específicas diseñadas para crear conciencia sobre la igualdad de género y la brecha de representación en tecnología.

Se destaca la necesidad de actualizar el currículo de ingeniería para incluir estudios de género y fomentar un entorno inclusivo.

Los resultados preliminares muestran que los estudiantes reconocen la importancia de abordar estos problemas, aunque la recolección de datos enfrenta desafíos.

Women and engineering careers at the University Autónoma de Nuevo León, in Mexico: A view from the experiences of woman students. (Álvarez-Aguilar, González-Duñez, y Castillo-Elizondo, 2019)

Aborda la situación de las mujeres en las carreras de ingeniería en la Universidad Autónoma de Nuevo León, enfocándose en los factores que influyen en su elección de estudiar ingeniería, así como los desafíos que enfrentan a lo largo de su carrera académica y sus expectativas profesionales.

Se mencionan esfuerzos por parte de la universidad para fomentar la participación de mujeres en carreras de ingeniería, pero también se destacan los estereotipos de género y barreras sociales que siguen siendo un obstáculo para una mayor representación femenina.

El texto subraya la influencia de factores sociales, como la familia y la percepción del prestigio de la universidad, en la decisión de las mujeres de ingresar a carreras de ingeniería. A su vez, se enfatiza la falta de políticas educativas específicas que apoyen de manera efectiva a las mujeres durante sus estudios de ingeniería.

A pesar del aumento en la matrícula de mujeres en carreras de ingeniería, las estudiantes siguen enfrentando discriminación, acoso y barreras para acceder a roles de liderazgo en su futura carrera profesional. Aunque las mujeres expresan satisfacción con su elección de carrera, la subrepresentación femenina en las aulas de ingeniería sigue siendo significativa.

Women and engineering careers at the University Autónoma de Nuevo León, in Mexico: A view from the experiences of woman students (Bustamante-Mora, Diéguez-Rebolledo, Hormazábal, Valdés, y Cadena, 2023)

Analiza la brecha de género en el ámbito de la sostenibilidad y las ciencias tecnológicas, incluyendo la ingeniería de software. Destaca cómo esta desigualdad limita el acceso y participación de las mujeres en áreas clave dentro de la tecnología y la sostenibilidad.

Se mencionan proyectos e iniciativas globales, como el programa de la ONU Mujeres, que buscan aumentar la representación femenina en las ciencias tecnológicas y promover la equidad de género en la educación superior.

El texto destaca la falta de políticas educativas integrales que promuevan una participación equitativa de mujeres en la ingeniería, señalando que muchas de las iniciativas actuales no logran abordar el problema desde sus raíces.

A pesar de las iniciativas implementadas, las mujeres siguen estando subrepresentadas en las carreras de ingeniería de software, lo que refleja una persistente desigualdad de género, especialmente en niveles de liderazgo y roles técnicos avanzados.

La disparidad de género en las disciplinas STEM, especialmente en ingeniería y software, es un tema urgente que los cinco textos analizan con profundidad. Todos coinciden en que es imperativo realizar cambios institucionales que fomenten la inclusión y brinden apoyo a las estudiantes. Sin embargo, hay diferencias en sus enfoques, mientras que los artículos de García-Holgado se centran en implementaciones específicas dentro del aula, otros estudios adoptan una perspectiva más amplia, abogando por estrategias institucionales y cambios sistémicos necesarios para abordar esta problemática.

Sin embargo, todos los artículos subrayan la importancia de crear entornos educativos que ofrezcan apoyo a través de programas de mentoría, sensibilización y un rediseño curricular inclusivo. En conjunto, enfatizan la necesidad de integrar las perspectivas de género en la educación, lo cual es esencial para lograr mejores resultados para las mujeres en los campos STEM.

Este es el principal motivo de nuestro estudio, analizar el comportamiento de nuestros estudiantes de Ingeniería de Software con la finalidad de crear estrategias de aprendizaje que potencien la equidad de género.

MÉTODO

Este estudio utiliza un método científico cuantitativo, basado en un análisis comparativo de datos entre mujeres y hombres en relación con su rendimiento académico y asistencia a clases. El estudio se realizará en la asignatura de Ingeniería de Software, perteneciente al semestre 5 de la carrera de Ingeniería de Software de la Universidad de La Frontera.

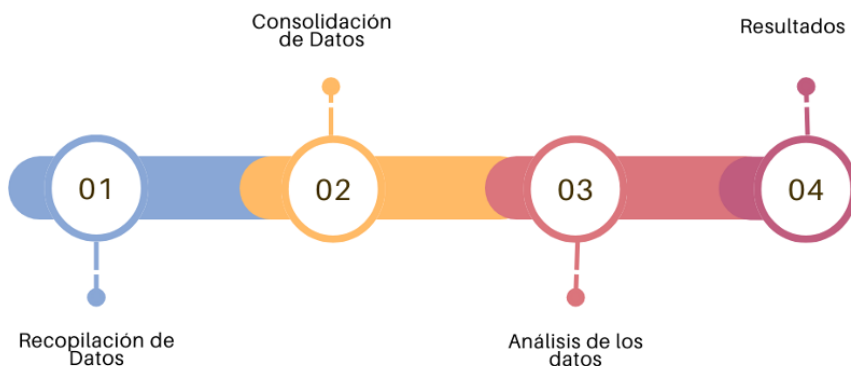
La población del estudio está compuesta por todos los estudiantes inscritos en esta asignatura durante los periodos comprendidos entre el primer semestre de 2021 y el primer semestre de 2024.

El análisis se centrará en la comparación de los datos de rendimiento académico y asistencia entre estudiantes de ambos géneros, evaluando si existen diferencias significativas en sus resultados.

La información será recolectada a partir de los registros de la intranet de la universidad, asegurando una muestra representativa y consistente a lo largo de los semestres considerados. El diseño del estudio es de tipo descriptivo y comparativo, con un enfoque en la identificación de patrones de rendimiento y asistencia que puedan estar relacionados con el género de los estudiantes.

Esta Metodología seguirá las etapas descritas en la Figura 1:

Figura 1. Etapas de la metodología aplicada



Fuente: Elaboración propia

Recopilación de Datos

El proceso de recopilación de datos se realiza a través de la intranet de la universidad, donde se extraen las calificaciones y los registros de asistencia de los estudiantes que cursaron la asignatura de Ingeniería de Software, en los periodos comprendidos entre el primer semestre de 2021 hasta el primer semestre de 2024.

La información que se recoge incluye datos demográficos básicos de los estudiantes, como su nombre y número de matrícula, además de sus calificaciones en las evaluaciones teóricas y prácticas, las notas finales que obtienen en el curso, si aprobaron o reprobó la asignatura y los porcentajes de asistencia a las clases. Este enfoque asegura que se obtenga una visión completa del rendimiento académico y la participación en clase, lo que permite llevar a cabo análisis detallados sobre cómo evoluciona el desempeño de los estudiantes a lo largo de varios semestres.

Consolidación de Datos

Los datos se estructuran en dos bases de datos principales, que se encuentran organizadas en hojas de cálculo de Excel para facilitar su manejo y análisis:

Base de Datos de Calificaciones

En esta base, se registran las notas de los estudiantes en las evaluaciones teóricas, prácticas y finales, clasificadas por semestre.

Base de Datos de Asistencia

Esta base se dedica a registrar el porcentaje de asistencia de cada estudiante, también organizados por semestre.

Contar con esta información es crucial para comprender la participación y rendimiento de los estudiantes en el proceso de aprendizaje, por género.

Análisis de los datos

Se llevan a cabo cálculos de estadísticas que facilitan una comprensión más profunda de las calificaciones y la asistencia de los estudiantes, organizadas por género y semestre. Este primer paso es crucial, ya que permite identificar tendencias y diferencias significativas entre hombres y mujeres en cada periodo académico. Al segmentar los datos de esta manera, podemos obtener una visión más clara de cómo se desempeñan los estudiantes en la asignatura y detectar cualquier disparidad que pueda existir.

RESULTADOS

Al analizar las bases de datos de estudiantes en la asignatura de Ingeniería de Software, la primera comparación realizada fue entre el número de mujeres y hombres inscritos en la asignatura durante el periodo analizado, y los resultados revelaron una preocupante baja participación femenina.

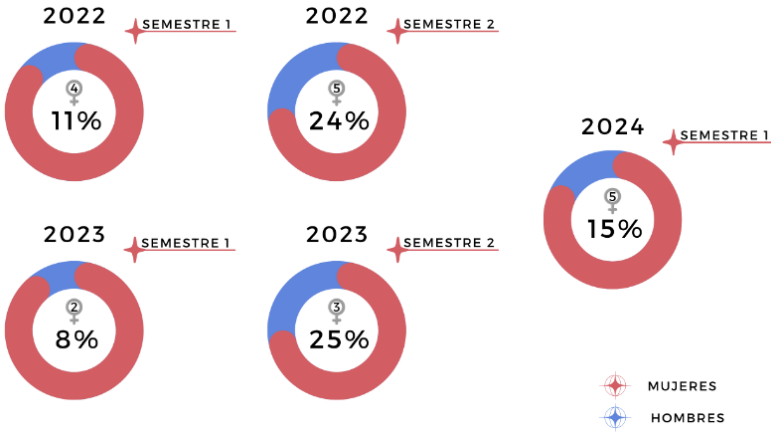
Tabla 1. Cantidad de estudiantes inscritos en la asignatura por semestre académico

Año - Semestre	Femenino	Masculino	Total general
2022-1	4	34	38
2022-2	5	16	21
2023-1	2	22	24
2023-2	3	9	12
2024-1	5	28	33
Total general	19	109	128

El total de estudiantes inscritos en este periodo son 128 estudiantes de los cuales solo 19 son mujeres (ver detalle en la Tabla 1). En total en ningún semestre, las mujeres no superan el 25% de las inscripciones.

Tal como se indica en la Figura 2, en el primer semestre de 2022, la representación femenina fue solo del 11%, mientras que en el segundo semestre alcanzó el 24%. Sin embargo, en 2023 se observó una caída significativa, con solo un 8% de mujeres en el primer semestre y un leve aumento al 25% en el segundo. Finalmente, en el primer semestre de 2024, la participación femenina se situó en un 15%.

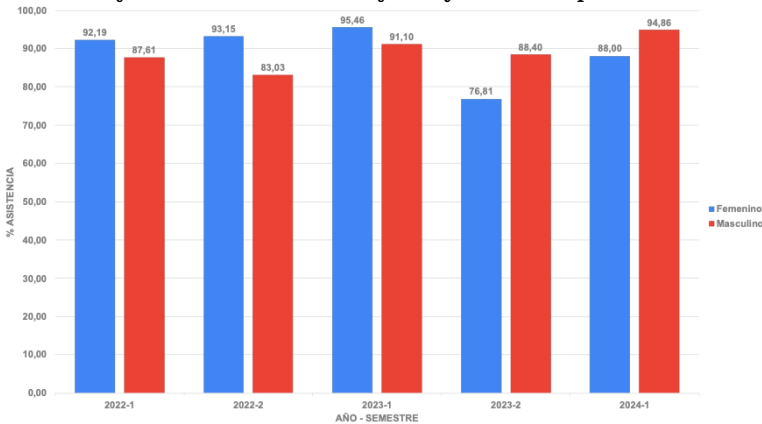
Figura 2. Porcentaje de mujeres y hombres por semestre académico



Asistencia

En el siguiente gráfico se detallan las asistencias de los estudiantes por género y por semestre académico.

Figura 3. Porcentaje de asistencia de mujeres y hombres por semestre académico

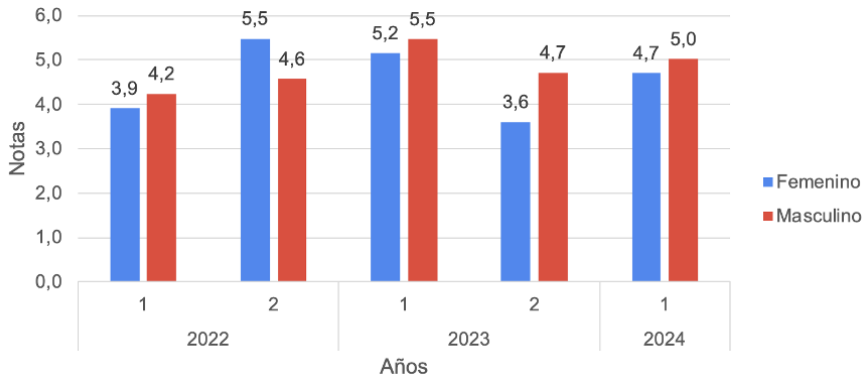


Analizando las asistencias en la Figura 3, podemos apreciar que, en tres de los cinco semestres analizados, la asistencia femenina fue la más alta. La diferencia más notable se registró en el segundo semestre de 2022, donde las mujeres superaron a los hombres en un 10,12%. Sin embargo, la caída abrupta en la asistencia femenina durante el segundo semestre de 2023 indica que existen factores que podrían estar influyendo en su participación.

Notas

En el siguiente gráfico se detallan las notas de los estudiantes por género y por semestre académico.

Figura 4. Promedio de notas de mujeres y hombres por semestre académico



En 2022, las mujeres superaron a los hombres en promedio, lo que sugiere un buen rendimiento en sus calificaciones.

En 2023, las mujeres experimentaron una caída significativa en su rendimiento, lo que resultó en un promedio inferior al de los hombres por 1,0 punto.

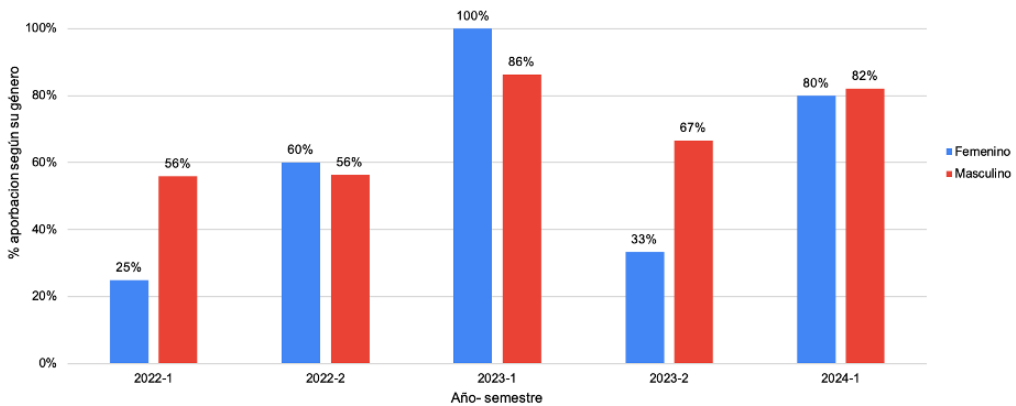
En 2024, aunque las calificaciones femeninas mejoraron, los hombres continuaron teniendo un promedio superior.

En general, las calificaciones de los hombres tienden a ser más consistentes y elevadas en comparación con las de las mujeres, quienes mostraron variaciones más marcadas en sus resultados a lo largo de los años. Esta información es fundamental para comprender la dinámica del rendimiento académico entre géneros y podría servir como base para implementar estrategias que mejoren la igualdad en el rendimiento académico.

Tasa de aprobación

En el siguiente gráfico se detalla el porcentaje de aprobación de los estudiantes por género y por semestre académico.

Figura 5. Porcentaje de aprobación de mujeres y hombres por semestre académico



Lo que se representa en esta figura 5, es el % de aprobación de mujeres y hombres a partir del total de mujeres y hombres respectivamente, por ejemplo, de las 4 mujeres que hubo el semestre 1 del 2022, aprobó una eso representa el 25% desplegado en el gráfico.

El análisis destaca la variabilidad en el rendimiento de las mujeres a lo largo de los semestres, con tasas de aprobación que fluctúan considerablemente entre el 25% al 100%. En contraste, los hombres mostraron un rendimiento más estable. Estos hallazgos sugieren la necesidad de estrategias específicas para apoyar el éxito académico de las mujeres y mejorar la equidad en el rendimiento.

Este análisis sugiere que, aunque las mujeres tienen una buena tasa de asistencia, enfrentan desafíos que afectan su participación en semestres posteriores. Las diferencias en el rendimiento y la asistencia entre géneros destacan la necesidad de estrategias que aborden estas disparidades y fomenten una mayor inclusión y apoyo para las mujeres en el ámbito educativo.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

El análisis cuantitativo realizado sobre la asistencia y el rendimiento académico en el curso de ingeniería de software ha revelado disparidades significativas entre estudiantes masculinos y femeninos, que persisten a lo largo de varios períodos académicos. Se visualiza una realidad compleja en cuanto a la participación y el desempeño académico de las mujeres dentro del programa. Se evidencia una baja considerable en la matrícula femenina, acompañada de una brecha significativa en las calificaciones y una inestabilidad en las tasas de aprobación. Estos patrones sugieren la existencia de barreras estructurales que limitan el éxito académico de los estudiantes.

Es fundamental, por tanto, diseñar e implementar estrategias que enfrenten estas desigualdades, con el fin de promover un entorno educativo más justo e inclusivo, donde todos los estudiantes puedan alcanzar su máximo potencial.

Basado en el análisis de las calificaciones y la asistencia con un enfoque de género en la asignatura de Ingeniería de Software, es posible implementar diversas estrategias extraídas de los artículos revisados para promover una mayor inclusión y mejorar el rendimiento académico de las mujeres. Algunas de estas actividades pueden ser:

Incorporación de la perspectiva de género en el currículo (García-Holgado, 2017; García-Holgado et al., 2020)

Incorporar la perspectiva de género en las actividades y contenidos del curso puede ayudar a sensibilizar a los estudiantes y a mitigar los estereotipos de género. Esto puede incluir discutir el papel de las mujeres en la ingeniería de software y resaltar modelos femeninos exitosos.

Mentoría y programas de apoyo (Bustamante-Mora et al., 2023; García-Holgado et al., 2020)

Implementar programas de mentoría específicos para las mujeres estudiantes puede ayudar a reducir la inseguridad y aumentar su confianza en sus habilidades para desempeñarse en un entorno mayoritariamente masculino.

Creación de espacios inclusivos (García Holgado, 2017; García-Holgado et al., 2020)

Crear un entorno de aprendizaje que fomente la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres es clave. Esto incluye la sensibilización sobre los estereotipos y sesgos implícitos que pueden afectar la participación de las mujeres en clase y en actividades prácticas.

Actividades prácticas que enfrenten la desigualdad (Álvarez-Aguilar et al., 2019; García Holgado, 2017; García-Holgado et al., 2017; García-Peñalvo et al., 2022)

Introducir actividades que fomenten la reflexión sobre las desigualdades de género en la industria tecnológica y cómo las mujeres pueden superar estos desafíos a través de la colaboración y la innovación podría tener un impacto positivo en el rendimiento y la participación femenina.

Aún queda un largo camino para recorrer en la búsqueda de la igualdad de género, especialmente en el ámbito de la ingeniería de software. Las estrategias presentadas ofrecen un enfoque prometedor para abordar las disparidades observadas en el análisis de notas y asistencia. Implementar estas iniciativas no solo

fortalecerá la participación femenina, sino que también contribuirá a crear un entorno académico más inclusivo y equitativo, donde todos los estudiantes puedan alcanzar su máximo potencial y donde la diversidad de perspectivas enriquezca el proceso educativo.

REFERENCIAS

Álvarez-Aguilar, N. T., González-Duéniz, V. P., y Castillo-Elizondo, J. A. (2019). Women and engineering careers at the University Autónoma de Nuevo León, in Mexico: A view from the experiences of woman students. *Formación Universitaria*, 12(4), 85–94. doi: 10.4067/S0718-50062019000400085

Bustamante-Mora, A., Diéguez-Rebolledo, M., Hormazábal, Y., Valdés, Y., y Cadena, R. (2023, September 1). Learning Models for Higher Education in Engineering: Motivation, Self-Determination, and the Role of Information and Communication Technologies. *Sustainability* (Switzerland, 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/su151712869

Calvo-Iglesias, E., Epifanio, I., Estrade, S., y Mas de les Valls, E. (2022). Gender perspective in STEM disciplines in Spain universities. In *Lecture Notes in Educational Technology* (pp. 165–179). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. doi: 10.1007/978-981-19-1552-9_9

Credé, M., Roch, S. G., y Kieszczyńska, U. M. (2010). Class attendance in college: A meta-analytic review of the relationship of class attendance with grades and student characteristics. *Review of Educational Research*, 80(2), 272–295. doi: 10.3102/0034654310362998

European Commission. (2018). *Women in the digital age – Executive summary*. Publications Office. doi: 10.2759/517222

García Holgado, A. (2017). *Inclusión de la perspectiva de género en la asignatura de Ingeniería de Software I*.

García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J., Mena, J., y González, C. (2017, September 26). *Introducción de la perspectiva de género en la docencia de Ingeniería del Software - [Introduction of the Gender Perspective in the Teaching of Software Engineering]*. Universidad de Zaragoza. doi: 10.26754/cinaic.2017.000001_134

García-Holgado, A., Vázquez-Ingelmo, A., García-Peñalvo, F. J., y González-González, C. S. (2020). *Perspectiva de género y fomento de la diversidad en la docencia de Ingeniería del Software*. Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/125061>

García-Peñalvo, F. J., García-Holgado, A., Dominguez, A., y Pascual, J. (2022). *Women in STEM in higher education - Good practices of attraction, access and retainment in higher education*. Recuperado de <https://link.springer.com/bookseries/11777>

MINEDUC, Servicio de Información de Educación Superior, y División de Información y Acceso. (2023). *Brechas de género en educación superior 2023*. Santiago, Chile.

OECD. (2018). *Bridging the digital gender divide - Include, upskill, innovate*.

UNESCO. (2017). *Cracking the code: Girls' and women's education in science, technology, engineering and mathematics (STEM)*. UNESCO. doi: 10.54675/qykh2407

Vainer, A. (2021). *5 consejos para promover la diversidad*. Recuperado de Think with Google.

CAPÍTULO 23

DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE FORMACIÓN PARA EL EJERCICIO PROFESIONAL EN EL CAMPO DE LA FISIOLÓGÍA VEGETAL

CAROLINA SÁNCHEZ ROMERO Y MIGUEL ÁNGEL QUESADA FELICE
Universidad de Málaga

INTRODUCCIÓN

El Espacio Europeo de Educación Superior da gran importancia a la formación profesional del estudiante y, de hecho, entre sus principios se recoge que “Los ciudadanos europeos podrán recibir una formación superior que les haga competentes en su profesión y, a su vez, les permita ser competitivos en el mercado laboral de un mundo globalizado”. De acuerdo con esto, en el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, se indica que “Las enseñanzas de Grado tienen como finalidad la obtención por parte del estudiante de una formación general, en una o varias disciplinas, orientada a la preparación para el ejercicio de actividades de carácter profesional.”

Sin embargo, frecuentemente, las asignaturas se imparten con un enfoque mayoritariamente teórico. Aunque en el contexto de las Ciencias Experimentales las prácticas constituyen una parte importante de la docencia impartida y algunas de las competencias que se recogen en los títulos solo se adquieren a través de la realización de las mismas, en muchos casos estas carecen de un enfoque profesional, estando más bien destinadas a ilustrar desde un punto de vista experimental los contenidos teóricos impartidos.

Las plantas son esenciales para la vida en la Tierra y tienen, desde distintas perspectivas, un papel fundamental para el ser humano. La Fisiología Vegetal estudia el funcionamiento de los vegetales y los procesos de desarrollo mediante los cuales estos organismos adquieren las formas que los caracterizan. Estos conocimientos tienen una gran utilidad práctica, ya que permiten optimizar y desarrollar más eficientemente diversas aplicaciones a nivel agronómico, forestal, medioambiental o biotecnológico.

El objetivo del Proyecto de Innovación Educativa “Desarrollo de actividades de formación para el ejercicio profesional en el campo de la Fisiología Vegetal” es que el estudiante adquiera competencias para la actividad profesional en el campo de la Fisiología Vegetal y otros relacionados con la misma. Además, la realización de las actividades recogidas en la propuesta pretende incentivar el aprendizaje autónomo y

colaborativo, aplicar estrategias de evaluación formativa, fomentar el trabajo en grupo y mejorar la comunicación oral y escrita.

MÉTODO

El proyecto se ha llevado a cabo en dos asignaturas de diferentes Grados de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga (Tabla 1):

Tabla 1. Asignaturas en las que se ha realizado el proyecto de innovación educativa

Asignatura	Grado	Tipo de materia	Curso
Cultivos Tisulares y Celulares (Cultivos de células vegetales)	Grado en Bioquímica	Optativa	4º
Tecnologías de Fitorremediación y Propagación Vegetal	Grado en Ciencias Ambientales	Optativa	4º

Con el fin de simular situaciones profesionales y realizar tareas del ámbito laboral al que puede acceder el estudiante, para cada una de ellas se planificaron acciones diferentes, ajustadas a sus características particulares:

Cultivos Tisulares y Celulares (Cultivos de células vegetales)

En el bloque de la asignatura “Cultivos de células vegetales”, a los estudiantes se les proporcionó un artículo de carácter metodológico centrado en la producción de un metabolito de interés en una especie determinada. A partir del mismo y de los contenidos impartidos en clases de teoría, los estudiantes debieron establecer un protocolo para su producción industrial. Además, debieron proponer modificaciones o diseñar experimentos alternativos que pudieran mejorar el rendimiento obtenido inicialmente.

Los estudiantes realizaron un informe escrito y una exposición en clase en la que presentaron al resto de compañeros el informe generado. A raíz de dicha exposición, los compañeros actuaron como revisores del trabajo, haciéndolo a dos niveles: 1) Valorando a través de una rúbrica los distintos aspectos trabajados. 2) Haciendo preguntas o comentarios sobre el trabajo presentado y/o planteando propuestas alternativas.

Las intervenciones realizadas por las distintas partes fueron evaluadas por el profesor atendiendo a la calidad de las mismas. Los informes realizados también fueron corregidos por el profesor, que hizo una revisión particular de cada uno de ellos.

Esta actividad se complementó con prácticas realizadas en el laboratorio, en las que se inició a los estudiantes en los métodos de cultivo *in vitro* utilizados para la producción de metabolitos. Se realizaron las siguientes actividades prácticas:

Práctica 1

- Establecimiento de cultivos de callo.
- Establecimiento de suspensiones celulares.

Práctica 2

- Obtención y cultivo de protoplastos.

Práctica 3

- Cultivo de brotes: Micropropagación de menta.
- Cultivo de ápices de raíces.
- Transformación con *Agrobacterium rhizogenes*.

Tecnologías de Fitorremediación y Propagación Vegetal

Esta asignatura en su parte de propagación se ocupa de introducir y aplicar técnicas de propagación sexual y vegetativa de plantas. En este caso se propusieron dos actividades prácticas profesionalizantes en la parte de propagación y una de fitorremediación.

Actividad 1 de Propagación

Entre los aspectos que tienen más relevancia a nivel profesional de esta parte de la asignatura se encuentra la caracterización de la calidad de lotes de semilla. Esta es una actividad regulada y desarrollada por todas las empresas de semillas ya que deben caracterizar la calidad de los lotes que llegan al mercado de este material de reproducción vegetal.

Se realizaron ensayos de tipo profesional de germinación, viabilidad (aplicando la guía de la AOSA) y de daño mecánico. La actividad se desarrolla como un juego de rol en el que un importante productor y exportador de trigo pedirá a expertos resolver una reclamación de un cliente. El entregable será un informe que muestre los resultados de los tres tipos de ensayos y un dictamen sobre lo que ha podido pasar con los lotes y recomendaciones de cómo proceder.

En segundo lugar, y no sólo circunscrito a la propagación de las plantas, cada vez es más frecuente a nivel profesional tener que enfrentarse a la obtención de cantidades ingentes de datos, su manejo y su procesamiento. Algo que requiere competencias que van más allá del manejo a nivel de usuario de una hoja de cálculo. Para trabajar esta competencia se propuso una actividad que incluía cuatro aspectos:

-Obtención de datos: para ello se emplea la toma automatizada de fotografías del proceso de germinación de semillas de rábano a dos potenciales hídricos. Para ello se utilizará infraestructura basada en Raspberry Pi que hemos desarrollado previamente. Esto permite obtener de manera desatendida miles de imágenes del proceso de germinación.

-Análisis de imagen: para ello se usa el programa Fiji (ImageJ2, <https://imagej.net/Fiji/Downloads>) Esto permite familiarizarse con un software con múltiples usos en Biología y otras disciplinas. En este caso estimaremos el hinchamiento de las semillas al germinar.

-Automatización del análisis mediante una Macro desarrollada por SCI UMA: Supone para los estudiantes enfrentarse a leer y modificar algo de código. Si no se automatiza el análisis es prácticamente imposible analizar los cientos de fotografías obtenidas.

-Presentación de los resultados: Calcular tiempo de Fase I y II de la germinación según tratamiento. Discutir el efecto del potencial hídrico en la duración de ambas fases I y II.

Para potenciar el aprendizaje se utilizará evaluación formativa. Tras un mes de la sesión en aula de informática se entrega un borrador de informe del que recibirán retroalimentación tanto individual, como en grupo. Se indicarán errores frecuentes y mejoras posibles, luego contarán con dos semanas adicionales para presentar el informe final rectificando errores. Este informe tiene un peso significativo en las prácticas y en la nota de la asignatura.

Actividad 2 de propagación

Además, los estudiantes realizaron propagación por semilla, acodos, esquejes e injertos de cotiledones en huerto docente.

Esta actividad se realiza en un huerto urbano docente que se mantiene en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga e implica distintas sesiones y un seguimiento de los resultados obtenidos al final de la asignatura. Algunos alumnos en ocasiones se llevan el material que ha propagado a sus casas. Las principales sesiones son:

-Esquejes con hiedra

Los objetivos de esta actividad son: aplicar la propagación mediante esquejes en hiedra y evaluar los efectos del estado ontogenético y la aplicación de auxinas en la propagación de esta especie.

Para la propagación por esqueje se usaron esquejes de yema axilar (una sola yema) de material presente en el huerto indicando las Recomendaciones para elegir y preparar el esqueje.

Para evaluar el efecto del estado ontogenético del material en la propagación se usó para propagar tanto material juvenil, como adulto. El comportamiento de este material, al que se enseña a distinguir a los alumnos difiere en su capacidad de enraizamiento. Esta capacidad de formar raíces se evalúa al final.

Para evaluar el efecto de un tratamiento hormonal ambos tipos de materiales se tratan con auxina en el enraizamiento para ello se mantienen la mitad los esquejes

obtenidos previamente sumergidos 1 minuto en una solución líquida de ácido indol - butírico (IBA) 1 gramo por litro (tratamiento profesional utilizado en viveros).

Evaluación de los resultados de enraizamiento. Transcurrido un tiempo, al menos un mes, el material se extrae del sustrato de cultivo y se documenta la presencia o no de raíces en cada tratamiento.

-Acodo aéreo

El principal objetivo es la realización de acodos aéreos en higuera. En general esta técnica funciona bien en el género *Ficus*.

Vamos a realizar acodos aéreos en las dos higueras que tenemos en el huerto. El método esencialmente es el que se explica en clase de teoría y se recuerda en la práctica).

Se inicia en primavera

Se usan tallos maduros preferentemente del año anterior, ya están lignificados.

Se descorteza. En la higuera hemos comprobado que se puede descortezar todo el perímetro del tallo o la mitad, observándose en ambos casos enraizamiento.

La zona descortezada se cubre con musgo, también sirve turba o sustrato de semillero que contenga una buena proporción de turba y todo, a su vez, se envuelve en plástico (mejor negro, por favorecer oscuridad).

Las raíces se forman durante la fase de crecimiento.

Finalmente hay que separar la rama del árbol y establecer en maceta o suelo. Esto se realizará con los acodos del año anterior, que normalmente están disponibles y es posible ver los resultados de grupos previos en la misma sesión.

-Semilleros de tomate, calabaza y sandía para realizar injertos

Se prepararán los semilleros durante la práctica. Las semillas de calabaza y sandía se ponen a hidratar previamente a la siembra durante al menos 5 horas. Este material es el que se usa posteriormente para injertar.

-Sesiones de realización de injertos

El momento de realización se debe ajustar al nivel de desarrollo de los germinados y se realizan distintos tipos: de aproximación o lengüeta, de cotiledón, de orificio de inserción, otros. Para el éxito es importante cuidar las condiciones ambientales después del injerto y eso también se trabaja. Los pasos son largos de describir y se ajustan esencialmente a lo descritos en manuales técnicos y artículos (de Miguel, 2011a/b; Oda, 1995).

Actividad de Fitorremediación

Con respecto a la actividad de fitorremediación, los contenidos abordados en clase se completan con una visita técnica profesional al Centro Experimental de Nuevas Tecnologías del Agua de la Junta de Andalucía. En ella pudieron comprobar, con técnicos especializados de la Junta de Andalucía y a “pie de depuración”, la

utilización en depuración de aguas de los distintos tipos de humedales artificiales discutidos en clase presentada.

Valoración y evaluación de las distintas actividades

La evaluación de las actividades descritas y su valor innovador, así como el grado de consecución de los objetivos propuestos se llevó a cabo a través de diferentes herramientas en las que participaron tanto los profesores implicados, como los estudiantes de las asignaturas objeto de innovación:

Se elaboró un cuestionario de consulta a los estudiantes para que evaluaran cada una de las actividades llevadas a cabo, así como el grado en el que cada una de ellas contribuía a la adquisición de competencias relacionadas con su futuro ejercicio laboral. Asimismo, se les pidió que valoraran la estrategia diseñada, indicando posibles deficiencias y propuestas de mejora.

Los documentos elaborados por los estudiantes y los registros obtenidos durante el desarrollo de las diferentes actividades (informes, exposiciones, ...) también constituyeron evidencias de la consecución de los objetivos.

Al final de la ejecución del proyecto, los profesores implicados analizaron los resultados y evidencias obtenidos a partir de las distintas actividades desarrolladas y llevaron a cabo un análisis de los mismos con el fin de optimizar la realización de las actividades en cursos siguientes. Estos mecanismos de autoevaluación se consideraron una parte esencial de este proyecto, ya que hacen posible una retroalimentación que asegure un impacto en la mejora de los procesos de aprendizaje propuestos.

RESULTADOS

Los resultados de la experiencia fueron valorados a través de encuestas realizadas a los alumnos tras la realización de las actividades.

Cultivos Tisulares y Celulares (Cultivos de células vegetales)

Las prácticas de laboratorio llevadas a cabo en la asignatura “Cultivos Tisulares y Celulares”, bloque “Cultivos de células vegetales”, del Grado en Bioquímica fueron valoradas de forma global con un 3,67 sobre 5. Las puntuaciones obtenidas variaron de forma importante dependiendo de las tareas ejecutadas, entre 3,75 para la actividad “Estimación de la densidad celular” y 4,64 para “Transformación con *Agrobacterium rhizogenes*”. Un factor determinante en la valoración de las actividades prácticas parece ser la novedad de las mismas. Uno de los aspectos negativos recogidos en los comentarios de los estudiantes fue la repetición de actividades ya vistas en asignaturas previas. De hecho, la tarea peor valorada fue la determinación de la densidad celular usando la cámara de Neubauer, instrumento

que, aunque aplicado a otros sistemas experimentales, ya había sido utilizado anteriormente. En esta línea, entre las actividades mejor valoradas se incluyen la “Obtención de protoplastos” y “Transformación con *Agrobacterium rhizogenes*”, relacionadas con tópicos específicos de la optativa.

El trabajo de optimización de la producción industrial de metabolitos secundarios obtuvo una valoración más baja que las prácticas de laboratorio. Dentro de esta actividad, lo que más valoraron fue la redacción del informe, y especialmente su aportación en cuanto a organización/estructuración de ideas (4). Sin embargo, y a pesar de ser un trabajo de aplicación de los conocimientos teóricos al ejercicio profesional, no consideraron que incrementara de forma importante sus competencias en la elaboración de este tipo de documentos (2,92). Solo algunos alumnos valoraron de forma explícita la realización de este tipo de trabajos como una vía para alcanzar este tipo de competencias.

La menor acogida del trabajo de optimización podría estar condicionada por el resto de las actividades programadas durante el semestre, tanto dentro como fuera de la asignatura. Así, en sus comentarios, los alumnos señalaron el exceso de trabajos de diferente tipo que se planifican en la mayoría de las asignaturas que cursan y la falta de coordinación entre ellas.

La evaluación por pares recibió una puntuación de 2,44. En general, no consideraron que esta tarea contribuyera a mejorar su competencia profesional en relación con la evaluación de documentos elaborados por otros (2,45), aunque le dan más valor como forma de detectar errores o deficiencias propias (3,27). Además, esta actividad no se llevó a cabo de forma objetiva y rigurosa. En general, las calificaciones entre compañeros fueron significativamente más altas que las otorgadas por el profesor, poniendo de manifiesto una capacidad reducida de discriminación entre trabajos de calidad muy diferente.

Tecnologías de Fitorremediación y Propagación Vegetal

Los estudiantes valoraron en general de forma muy positiva las actividades prácticas llevadas a cabo en la asignatura objeto de estudio en el Grado de Ciencias Ambientales. Entre las mejor valoradas se encontraban las prácticas de propagación vegetativa realizadas en el huerto docente y las actividades referidas a las tecnologías de la fitorremediación.

Las prácticas de propagación vegetativa realizados en huerto recibieron valoraciones positivas, por encima de 4,47 sobre 5. La valoración de los ensayos de germinación en el contexto del juego de roll y tareas relacionadas fueron valoradas por debajo. La “Realización de las curvas de germinación” obtuvo un 3,87, y la “Utilización del análisis de imagen, para la caracterización del comportamiento

germinativo”, un 3,33. Por último, La actividad menos valorada por los estudiantes fue “Redacción del informe”, con una puntuación media de 3,31.

En lo que se refiere a la actividad de Fitorremediación, los estudiantes consideraron la visita técnica y su imbricación con los contenidos trabajados en aula como novedosa. Indicaron que no se había trabajado esta temática en otras asignaturas durante su formación. Valoraron este aspecto entre 4,67 y 4,82. Hay que tener en cuenta que esta asignatura se imparte el segundo cuatrimestre del último año de formación y los estudiantes ya han cursado la mayoría de los créditos. También la consideraron aplicable a nivel profesional con valoraciones entre 4,42 y 4,75.

En general, manifestaron que estas actividades propiciaban la adquisición de competencias útiles para su ejercicio profesional.

Entre las propuestas de mejora, los estudiantes apuntaron a un aumento de las sesiones prácticas y, en especial, de las prácticas realizadas en el huerto docente, en contacto directo con las plantas. Ya hemos indicado que esta actividad se encuentra entre las mejores valoradas por el alumnado. En contraposición, mostraron falta de interés por el uso de aulas TIC para el procesamiento de datos.

DISCUSIÓN/CONCLUSIÓN

Un aspecto importante en la valoración de los alumnos de las actividades realizadas es el grado de novedad de las mismas. En la asignatura “Cultivos Tisulares y Celulares”, las prácticas que han recibido mejor puntuación han sido aquellas en las que se han aplicado metodologías específicas de la disciplina (Fisiología Vegetal), que no habían sido vistas en asignaturas previas. Del mismo modo ocurre en la asignatura “Tecnologías de Fitorremediación y Propagación Vegetal”, las prácticas relacionadas con las tecnologías de la fitorremediación, han sido altamente valoradas, siendo consideradas especialmente novedosas por los alumnos. En la misma línea, dentro de cada asignatura, las tareas que han recibido menor puntuación han sido aquellas que ya habían sido abordadas en otras asignaturas en cursos anteriores, como el uso de la cámara de Neubauer en “Cultivos Tisulares y Celulares” y la realización del informe de prácticas o el análisis de imagen en “Tecnologías de Fitorremediación y Propagación Vegetal”. Consideramos preocupante la baja valoración de la actividad “realización de informes técnicos”. Se trata de una competencia básica con alta aplicabilidad en el ejercicio profesional de los ambientólogos. Además, sabemos que es una competencia que está escasamente trabajada en el Grado. Algo que constatamos en la asignatura de “Trabajo Fin de Grado” (TFG). En esta asignatura no son pocos los estudiantes que muestran unas habilidades mediocres de redacción y expresión escrita. También con relativa frecuencia, poseen una baja competencia en el adquisición y procesamiento de datos. De cualquier modo, como docentes, debemos reconsiderar el diseño de la actividad limitando su complejidad y dilatación temporal.

Esto quizá facilite que los alumnos dispersen menos sus esfuerzos y se sientan menos perdidos en el trabajo autónomo que realizan en el semestre, que además suele incluir los TFGs y otras asignaturas.

Otro aspecto importante extraído de este trabajo ha sido el efecto de tareas planificadas en otras asignaturas sobre la acogida de las actividades por parte de los alumnos. Así, el trabajo de optimización había sido considerado una herramienta muy interesante para la aplicación de conocimientos teóricos a situaciones ante las que podrían enfrentarse los egresados del Grado en Bioquímica durante su ejercicio profesional. Sin embargo, este ha recibido una valoración menor que la esperada que, de acuerdo con los comentarios de los estudiantes podía estar motivada por el resto de actividades programadas durante el semestre, tanto dentro como fuera de la asignatura. Así, en sus comentarios, los alumnos señalaron el exceso de trabajos de diferente tipo que se planifican en la mayoría de las asignaturas que cursan y la falta de coordinación entre ellas.

Este hecho, junto con el indicado anteriormente de repetición de actividades prácticas, pone de manifiesto la necesidad de mejorar la coordinación vertical y horizontal dentro de los Grados, y en especial del de Bioquímica. Tanto para evitar la repetición de tareas, como para distribuir la entrega de actividades en las asignaturas del mismo semestre, evitando su acumulación y, con esto, el que se lleven a cabo sin el aprovechamiento esperado.

En conclusión:

- Los estudiantes valoraron el componente práctico de las asignaturas, y lo consideraron una forma de adquirir competencias profesionales.
- La coordinación dentro de los Grados se revela como un aspecto esencial dentro de los mismos.
- La realización de este tipo de trabajos es fundamental para detectar tanto las fortalezas como las debilidades de las actividades programadas, sirviendo de base para la reprogramación, si es necesario, de las mismas.

Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Innovación Educativa PIE 22-063, financiado por la Universidad de Málaga.

REFERENCIAS

De Miguel, A. (2011a). *El injerto de cucurbitáceas: Melón, sandía y pepino* (Serie Documentos). Poscosecha. Recuperado de https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/el_injerto_de_cucurbit_ceas

De Miguel, A. (2011b). *El injerto de plantas de tomate* (Serie Documentos). Poscosecha. Recuperado de <https://www.poscosecha.com/es/publicaciones/>

Oda, M. (1995). New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 29, 187-195.

CAPÍTULO 24

METODOLOGÍAS ÁGILES EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE UNIVERSITARIO DE LA ARQUITECTURA

AIDA NAVARRO REDÓN
Universidad Europea de Madrid

INTRODUCCIÓN

La enseñanza universitaria de la arquitectura es una de las formaciones académicas superiores donde más trabajos en equipo se realizan. Entre el 50% y el 70% de los docentes dicen incluirlo en sus asignaturas de forma fundamental (Pastor et al., 2013) en el desarrollo de proyectos que estructuran las asignaturas, lo que se conoce como una metodología project based-learning. No en vano, la línea de asignaturas troncales de mayor peso específico es Proyectos (Alba, 2016), donde se vuelca el conocimiento del resto de materias en forma de simulación de proyectos de arquitectura profesional. Simultáneamente, la enseñanza de la arquitectura es a su vez un área fuertemente impactada por el software (Kempff, 2023) de dibujo asistido - CAD - las herramientas de modelado poligonal, y el de información de construcción - BIM - hasta el punto de que muchas asignaturas basan su desarrollo en el uso de este software de forma central (Redondo et al., 2012).

Este dualismo entre un peso importante de la metodología basada en proyectos, muchos de ellos en equipos, y un uso intensivo de software en el desarrollo del trabajo, parece, a priori, un entorno muy similar a los que en el mundo laboral recurren a las denominadas metodologías ágiles como una manera de trabajo iterativa, colaborativa y flexible. De hecho, en 'El aprendizaje cooperativo aplicado a las asignaturas técnicas del 1r curso de Arquitectura' (Onecha et al., 2017), se apunta la necesidad de incursión de ciertos métodos ágiles en los estudios universitarios de arquitectura de primer curso (cursos académicos 2015-2016 y 2016-2017). Su aplicación al entorno laboral de la práctica arquitectónica ha sido también abordada por Baradaran (2022), pero no desde una perspectiva académica universitaria. Esta propuesta sigue la línea de Alemán y Quintana-Suárez (2023) en su propuesta de trazar una analogía de un proceso ágil en un entorno de enseñanza-aprendizaje, con sus semejanzas y equivalencias. Este planteamiento se centra en la enseñanza universitaria de la arquitectura como otros trabajos previos lo han hecho en la enseñanza de Organización Empresarial (Martín, 2020) y de Ingeniería del Software (Goñi et al., 2014)

En este sentido, es importante definir qué se entiende por metodologías ágiles. Éstas podrían definirse como un conjunto de enfoques para la gestión de proyectos que buscan desarrollarlos de manera más rápida y eficiente, adaptándose continuamente a los cambios y necesidades del cliente (real o ficticio en el caso de la enseñanza). A diferencia de los métodos tradicionales o pesados, que siguen un plan rígido y secuencial, las metodologías ágiles son más flexibles y colaborativas (Uribe y Ayala, 2007). Estas metodologías se basan en ciclos de trabajo cortos, llamados sprints o iteraciones, en los cuales los equipos trabajan en pequeñas partes del proyecto y presentan avances constantes. Estas metodologías se emplean principalmente en el área del desarrollo de software o producto y la ingeniería. Sus principales características, según el Manifiesto Ágil (<https://agilemanifesto.org/>) son:

- La iteración sucesiva fruto de que el trabajo se organiza en bloques - sprints - cortos. Al final de cada uno de los cuales se produce una entrega de parte del trabajo, incrementalmente.

- La colaboración entre todos los miembros implicados en el proceso. El equipo, los clientes y las partes interesadas trabajan juntos y se busca la comunicación frecuente.

- La flexibilidad ante cambios - que pueden darse incluso en etapas avanzadas del desarrollo - ya que se entiende que las necesidades pueden evolucionar.

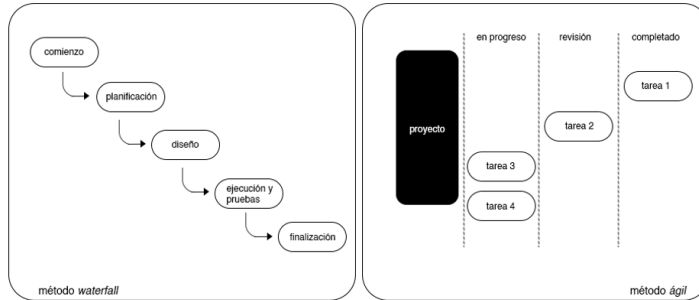
- El enfoque en las personas desarrolladoras del proyecto al poner en énfasis la comunicación y la motivación del equipo, en lugar de centrarse únicamente en procesos o herramientas.

- La retroalimentación constante, principalmente tras cada iteración. Tras cada sprint se revisan los resultados para ajustar el plan de trabajo y mejorar el siguiente ciclo.

- La entrega continuada y - en diferentes etapas - temprana al buscar que el resultado final se pueda ver y usar parcialmente desde el principio, sin esperar hasta que esté completamente terminado.

Frente a las metodologías ágiles encontramos las metodologías tradicionales que se asemejan más al sistema waterfall. Este enfoque pesado (Uribe y Ayala, 2007) sigue una secuencia lineal y rígida a través de sus fases. A diferencia de las metodologías ágiles, que son iterativas y flexibles, waterfall organiza el proyecto en una serie de etapas bien definidas que deben completarse de manera secuencial. Cada fase debe estar completamente terminada antes de pasar a la siguiente, y generalmente no se permite volver atrás a fases anteriores sin un gran esfuerzo o impacto en el proyecto (figura 1).

Figura 1. Métodos tradicionales o waterfall frente a métodos ágiles



Fuente: Una comparativa inspirada en Martín (2020), pero de elaboración propia

Esto presenta dos importantes desventajas que son especialmente relevantes en entornos educativos. Por una parte, la poca flexibilidad de un sistema que no maneja bien los cambios ya que, si los requisitos no están completamente claros al inicio, o si cambian a lo largo del proyecto (lo cual es común en entornos de aprendizaje), estas metodologías no permiten una fácil adaptación. Por otra parte, los retrasos acumulados generados al descubrir un posible error o un malentendido en una fase avanzada, algo de nuevo muy habitual en un proceso de aprendizaje, al ser más difícil y lento volver atrás para corregirlo.

La propuesta presentada propone la incursión y adaptación de metodologías ágiles en entornos educativos de la enseñanza universitaria de la arquitectura, escogiendo como caso idóneo las asignaturas basadas en proyectos grupales donde el software juegue un papel fundamental.

Objetivos

La propuesta se enfoca en proponer el uso de metodologías ágiles - comunes en entornos profesionales de desarrollo de software y producto - en entornos educativos universitarios. En este caso en la enseñanza de la arquitectura por su enfoque basado en proyectos estrechamente ligados a software de diseño, donde se buscan los siguientes objetivos:

- Permitir que el aprendizaje, de por sí iterativo y progresivo, pueda aplicarse de una forma más realista al desarrollo del trabajo.
- Construir una mejor adaptación a los cambios habituales del desarrollo de proyectos como estrategia pedagógica.
- Facilitar a los alumnos una planificación flexible organizada en ciclos cortos - sprints - con revisiones pautadas del trabajo al final de cada ciclo.

- Fomentar la colaboración y el trabajo en equipo, ya que en las metodologías ágiles la comunicación entre los miembros juega un papel fundamental en el desarrollo del proyecto.

- Poner de relieve la importancia del aprendizaje a través del proyecto sobre el aprendizaje teórico, que existe en otras asignaturas y al que no se propone una renuncia.

- Promover las habilidades críticas y adaptativas de los alumnos buscando que sean capaces de aplicar un conocimiento en proceso de adquisición a un proyecto en evolución continua.

- Familiarizar a los alumnos con una metodología, que, si bien no es la más habitual en el desarrollo laboral de la arquitectura, sí tiene el potencial de jugar un papel clave al incorporarse como estructura de trabajo académica en el futuro de la profesión.

Asimismo, cabe señalar que la incursión de metodologías ágiles en la enseñanza de la arquitectura es en sí mismo un reto por el cambio cultural que se propone frente a la metodología tradicional (La Cruz, 2004; Masdeu, 2016).

MÉTODO Y PLAN DE TRABAJO

Para desarrollar el plan propuesto es necesario tener en cuenta, previamente, una serie de consideraciones.

En primer lugar, la selección de las asignaturas donde estas metodologías pueden ser pertinentes. Principalmente son aquellas que cumplan los requisitos mencionados previamente; que su estructura se base en un aprendizaje a través del desarrollo de proyectos, que estos se elaboren en equipo y que en ellos el software juegue un papel importante. Esta propuesta contempla cuatro grandes grupos de asignaturas: las que pertenecen a la línea de Proyectos Arquitectónicos, las que pertenecen a la línea de Proyectos de Urbanismo, las que pertenecen a la línea de Proyectos de Restauración Arquitectónica y las que pertenecen a Proyectos de Estructuras o Instalaciones. Teniendo en cuenta que, en éstas últimas, la carga teórica es especialmente relevante y en ellas la incursión de metodologías ágiles puede ser especialmente interesante para promover un aprendizaje iterativo e incremental según se adquieren las competencias en el tiempo.

En segundo lugar, en esta propuesta se plantea el uso de Scrum, un subtipo de metodología ágil que se basa en ciclos cortos de trabajo llamados sprints (de 1 a 4 semanas, pero usualmente 2). En Scrum cada sprint tiene un objetivo claro y al final del proceso completo se entrega una versión funcional del producto, en este caso del proyecto. En Scrum aparecen roles específicos como el Scrum Master (facilitador del equipo) y el Product Owner (representante del cliente) que, en el caso propuesto, se adaptan al entorno educativo de la siguiente forma:

· El papel del Product Owner - que normalmente es una figura final que controla el proceso previo a la entrega al cliente - es jugado por el profesor docente de la materia.

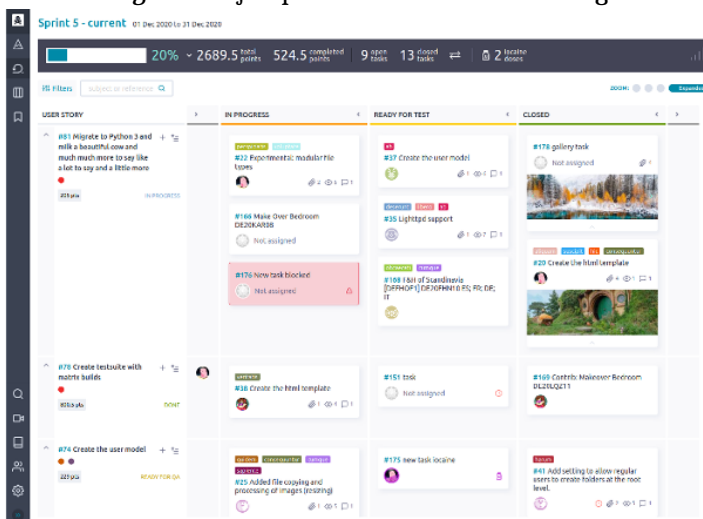
· El papel del cliente - que es de quien se recibe el encargo - es jugado por el profesor que elabora el enunciado, es decir, que plantea las bases del proyecto simulando la vida profesional. Esto supone que, si el profesor docente y el profesor autor del contenido de la materia es el mismo, Product Owner y cliente serán posiciones convergentes, mientras que, si el docente y el autor del contenido académico no son el mismo, no lo serán.

· El papel del Scrum Master - que es quien organiza y facilita las tareas entre miembros - es rotatorio entre los alumnos que forman el equipo, de forma que todos ellos ocuparán el puesto durante cierto periodo de tiempo o sprints. Esta propuesta de Scrum Master rotativo es tomada del texto de Martín (2020).

· El equipo de desarrollo o Scrum Team está formado por los propios alumnos miembros del equipo que asumen el rol de desarrolladores del proyecto.

Una vez definidos los roles de trabajo se propone la elección de un software de ayuda al desarrollo de proyectos ágiles en Scrum como puede ser Trello o Taiga, siendo este último open source. En el se constituirán 4 bloques de trabajo: tareas propuestas pero no empezadas (backlog), tareas para hacer (to do), tareas en proceso (in progress) y tareas hechas (done). Puede incluirse un último grupo bajo el epígrafe tareas revisadas (verified). Todas estas categorías organizadas - bien en una estructura material como una pizarra o bien en un software asistido como los mencionados - constituye el board de Scrum (figura 2).

Figura 2. Ejemplo de board Scrum en Taiga



Posteriormente debe redactarse la Product Backlog o, dicho de otra forma, la lista de trabajo por prioridades. El Product Owner (profesor docente) y el equipo de desarrollo (estudiantes) trabajarán juntos para definir y desglosar las tareas necesarias para realizar el proyecto arquitectónico.

Estos elementos del backlog pueden incluir:

- Requisitos generales del proyecto (objetivos del curso, características específicas del diseño, normativas urbanísticas, etc.).
- Estudios previos (análisis del sitio, estudios climáticos, estudios del usuario, etc.).
- Referencias de otros proyectos que es necesario buscar y catalogar.
- Esquemas conceptuales y bocetos (ideas iniciales y planteamientos).
- Planos preliminares (distribución, circulaciones, plantas, secciones).
- Detalles constructivos (materiales, acabados, estructuras).
- Modelos y maquetas físicas o digitales.
- Presentaciones y renders finales.

Cada uno de estos elementos del backlog se debe desglosar en tareas – también conocidas como historias de usuario - describiendo qué se necesita y cuál es el valor que aporta. Todas ellas forman parte, inicialmente, de la lista de backlog. De esta forma los estudiantes pueden prever la cantidad de trabajo a la que se enfrentarán y segmentarla en partes abarcables, produciendo una aproximación tentativa de organización.

A continuación, se llevará a cabo una planificación en sprints, que – en este caso propuesto – se sugieren de dos semanas por la duración académica de los cuatrimestres y por ser lo más común en el uso profesional de Scrum. Así en cada sprint:

- Los equipos seleccionarán un conjunto de tareas del Product Backlog (al que en este contexto se denominará Sprint Backlog) que se puedan completar dentro del sprint y pasan a ser tareas to do.

- Cada equipo definirá – idealmente con ayuda del docente - un objetivo del sprint, como, por ejemplo: diseñar una primera aproximación al diseño estructural o elaborar una lista de referencias.

Durante cada sprint, el equipo de desarrollo trabajará en las tareas asignadas del Sprint Backlog y se apoyará en una serie de estrategias para la consecución final del objetivo del mismo, siendo las dos más importantes:

- La daily Scrum, o reunión diaria – idealmente de no más de 15 minutos - en la que cada miembro del equipo explica en qué está trabajando, en qué va a trabajar ese día y mencionará posibles impedimentos en su proceso de trabajo. El objetivo final es discutir el progreso del sprint y su planificación.

· La retro Scrum, o reunión de retrospectiva que sucede al final de cada sprint y en la que el equipo se reúne para reflexionar sobre el proceso y responder a preguntas sobre qué ha salido bien, qué ha salido mal, qué se puede mejorar y qué problemas se han tenido que resolver y cómo pueden evitarse en la siguiente iteración. Esta reunión responde a la idea de ser una especie de ajuste con él que se puede ir mejorando la dinámica de trabajo.

Después de varios sprints, el proyecto debería estar completado o cercano a completarse. Entonces cada equipo presentará la entrega final (planos, modelos, maquetas, etc.) durante una Revisión Final en la que el profesor (Product Owner y cliente) evaluará el proyecto basado en los criterios definidos al inicio de la asignatura.

Idealmente, al usar Scrum, el equipo habrá producido versiones intermedias o incrementos del proyecto a lo largo del curso, permitiendo iterar y refinar continuamente el diseño. Esto debería llevar a una entrega final más sólida y bien pensada, a la vez que, a mostrar el proceso de trabajo de cara a un aprendizaje conjunto entre equipos, al ver detallados y registrados los procesos del resto de compañeros.

RESULTADOS PREVISTOS Y DISCUSIÓN

Esta propuesta de innovación educativa se reconoce en una fase teórica, por tanto, sus resultados son todavía hipotéticos. Si bien es cierto que estas metodologías ágiles se emplean ya de forma recurrente en entornos educativos muy similares a la enseñanza de la arquitectura por proyectos, como la enseñanza de la producción y diseño de entornos virtuales en grados universitarios de videojuegos. Como así lo mencionan por ejemplo Saza et al. (2022) o Aedo (2021), entre otros muchos.

En esta fase teórica se aprecia que, la aplicación de metodologías ágiles como Scrum en asignaturas universitarias de arquitectura basadas en proyectos grupales, podría generar varias conclusiones y enseñanzas valiosas, tanto para los estudiantes como para los profesores. Principalmente porque integrar una metodología ágil en un entorno académico fomenta una forma de trabajar que combina estructura, flexibilidad y colaboración, lo que puede tener importantes implicaciones en el aprendizaje y el desarrollo de competencias y ayudar a la asimilación del conocimiento teórico. En la enseñanza de la arquitectura se destaca especialmente ciertas áreas propias de dicho campo de trabajo.

La iteración constante mejora la calidad del proyecto. Tanto en el mundo académico como profesional los proyectos arquitectónicos tienen un fuerte componente iterativo, realizándose pruebas o aproximaciones diferentes buscando una solución que – en su mayoría – no es única. Un enfoque iterativo como Scrum permite una mejora continua del proyecto arquitectónico. A través de ciclos cortos de

trabajo y la entrega frecuente de avances, los estudiantes tienen la oportunidad de obtener retroalimentación temprana, valoraciones intermedias por parte del profesor docente y oportunidades de ajustar su trabajo. Este proceso fomenta un enfoque progresivo del diseño, donde las ideas evolucionan y se refinan a lo largo del tiempo.

Muy ligada a la ya mencionada, se encuentra la flexibilidad de la metodología que es clave en el diseño arquitectónico. Scrum fomenta la capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios en los requisitos o las ideas durante el desarrollo de un proyecto. En la arquitectura, los proyectos rara vez siguen un camino lineal; las restricciones pueden cambiar, los clientes cambiar de ideas y las nuevas aproximaciones pueden surgir en cualquier momento. Scrum enseña a los estudiantes a aceptar estos cambios como parte natural del proceso y a ajustar sus proyectos sin perder el rumbo y sin olvidar el objetivo final.

La continua colaboración y comunicación en equipo que implica Scrum mejora los resultados y promueve un entorno altamente colaborativo donde los estudiantes trabajan juntos en todas las etapas del proyecto, desde la planificación hasta la ejecución y revisión. Al hacerlo, aprenden a trabajar en equipo, a valorar las opiniones de los demás y a aprovechar las fortalezas de cada miembro, así como a hacer autocrítica al final de cada proceso. Esto refleja las dinámicas de trabajo en estudios de arquitectura profesionales, donde la colaboración interdisciplinaria es esencial.

Asimismo, la gestión del tiempo y entrega continua, que se plantea en las metodologías ágiles, enseña a los estudiantes a gestionar el tiempo de manera eficiente a través de la planificación previa, la estructura de tareas, el establecimiento de metas claras y la revisión continua del progreso. Los plazos definidos de cada sprint ayudan a los estudiantes a dividir el proyecto en partes manejables, evitando la procrastinación o el trabajo apresurado al final del curso. Facilitando también la materialización de avances paulatinos e incrementales para la entrega final.

Finalmente, toda posible mejora de la calidad de vida de los estudiantes durante el periodo universitario es significativa, especialmente en una carrera universitaria como la arquitectónica donde los estudios muestran que:

“[...]los niveles de malestar psicológico que sienten los alumnos de Arquitectura aumentan al entrar en la carrera, manteniéndose constantes y elevados durante los años sucesivos” (Rivas, 2016).

Es por ello que la reducción de la ansiedad por la entrega final, que en métodos tradicionales o waterfall, sin análisis retrospectivos parciales puede ser muy elevada por la acumulación de tareas y la falta de claridad sobre la calidad del trabajo, puede tener un papel fundamental. Las metodologías ágiles permiten, como hemos visto, entregas parciales y continuas, lo que reduce la presión sobre la entrega final y permite que el proyecto progrese de manera más natural.

Como última consideración, mencionar que las metodologías ágiles son muy habituales en determinados entornos profesionales (Canós et al., 2003) donde la presencia de arquitectos es mayor, como el desarrollo de videojuegos donde son necesarios en el diseño de escenarios. En este sentido existe un componente de preparación para el mundo laboral pero no sólo hacia entornos donde se apliquen metodologías ágiles, si no en todos aquellos donde primen entre sus características: el trabajo en equipo, la importancia de la comunicación, la crítica constructiva, el análisis de los procesos y la iteración en búsqueda de soluciones complejas. Bajo dicha definición, muchos de ellos, puramente arquitectónicos (Masdéu, 2016).

REFERENCIAS

- Alba, M. I. (2016). La enseñanza de la arquitectura: Iniciación al aprendizaje del proyecto arquitectónico. *Revista Española de Pedagogía*, 445–460.
- Alemán, E., y Quintana-Suárez, M. Á. (16–17 de noviembre de 2023). Propuesta de adopción de la metodología Scrum en el proceso de enseñanza aprendizaje en entornos universitarios. En *X Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el ámbito de las TIC y las TAC*. Las Palmas de Gran Canaria.
- Baradaran, F. (2022). Project Relay: A practice-driven method for learning agile architectural design. En L. Tan y B. Kim (Eds.), *Design Praxiology and Phenomenology* (pp. 1–18). Springer, Singapore.
- Canós, J. H., Letelier, P., y Penadés, M. C. (2003). Metodologías ágiles en el desarrollo de software. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1–8.
- Goñi, A., Ibáñez, J., Iturrioz, J., y Vadillo, J. Á. (2014). Aprendizaje basado en proyectos usando metodologías ágiles para una asignatura básica de ingeniería del software. *Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*. Oviedo.
- Kempff, J. I. (2023). *La arquitectura y su contexto gráfico: procesos de digitalización* (Trabajo Fin de Grado). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.
- La Cruz, F. M. (2004). Arquitectura, AutoCAD y trabajo en equipo. *Autocad Magazine*, (90), 16–19.
- Martín, S. (2020). Aplicación de las metodologías ágiles al proceso de enseñanza aprendizaje universitario. *Revista de Innovación Docente Universitaria: RIDU*, 12, 62–73.
- Masdéu, M. (2016). La enseñanza de la arquitectura en la sociedad actual: La integración de las nuevas formas de práctica profesional en el Taller de Arquitectura. *Rita: Revista Indexada de Textos Académicos*, 1(05), 72–79.
- Onieva, J. L. (2016). Scrum como estrategia para el aprendizaje colaborativo a través de proyectos: Propuesta didáctica para su implementación en el aula universitaria. *Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 22(2), 509–527.
- Pastor, R., Moreno, S., García, E., y Sarriá, B. (2013). ¿Cómo percibe el estudiante de arquitectura la competencia trabajo en equipo? En *UNIVEST 2013: IV Congreso Internacional Estrategias hacia el aprendizaje colaborativo*. Universitat de Girona.

Pérez, B. O., Marcos, A. C., Valdés, D. L., y Prat, J. S. (2017). El aprendizaje cooperativo aplicado a las asignaturas técnicas del 1r curso de arquitectura. *Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura*. UPC, Barcelona.

Redondo, E., Fonseca, D., Giménez, L., Santana, G., y Navarro, I. (2012). Alfabetización digital para la enseñanza de la arquitectura: Un estudio de caso. *Arquitectura Revista*, 8(1), 1–12.

Rivas, M. M. (2016). *Factores psicosociales de riesgo en el entorno académico: La carrera de arquitectura en la Universidad Politécnica de Madrid* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid.

Saza, I. D., Pérez, J. M., Gorrón, N. F., Reina, J. G., García, J. J., Páez, J. C., y Para, E. (2022). Metodología SCRUM para el diseño de los videojuegos serios: TUTELAGANAS. *Publicaciones e Investigación*, 16(4).

Uribe, E. H., y Ayala, L. E. V. (2007). Del manifiesto ágil: Sus valores y principios. *Scientia et Technica*, 13(34), 381–386.

VV.AA. *Manifiesto for Agile Development*. Consultado en <https://agilemanifesto.org/> el 19 de octubre de 2024.

CAPÍTULO 25

BOTÁNICA PRÁCTICA: UN ENFOQUE DE APRENDIZAJE SERVICIO A TRAVÉS DE LAS PRÁCTICAS CURRICULARES

ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI*, CLARA RUBIO REINARES**,
ESTRELLA ALFARO SAIZ*, RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ*,
ANA PAULA MELERO CASTELLOT**, RAÚL LOIS MADERA*,
SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ*, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ*,
ANA MARÍA VEGA MARAY*, Y CARMEN ACEDO*
**Universidad de León; **Estudiante Biología (León)*

INTRODUCCIÓN

El aprendizaje-servicio (ApS) es una metodología educativa que combina la adquisición de conocimientos con la realización de un servicio a la comunidad. A través de esta estrategia, los estudiantes integran sus habilidades académicas y competencias personales en la resolución de problemas reales, promoviendo una formación más integral y comprometida socialmente (Razquin, 2017; Red de Aprendizaje-servicio de las Universidades Catalanas, 2019). Muchos países están promoviendo prácticas de ApS en el sistema educativo desde hace bastante tiempo y, cada vez son más los que lo hacen de forma obligatoria en educación superior (Castillo, Chira, Zuñiga, López, y Regalado, 2021; Opazo, Aramburuzabala, y Cerrillo, 2016; Rodríguez, 2014). En el ámbito universitario, el ApS ha cobrado especial relevancia, ya que permite que los estudiantes apliquen sus conocimientos en contextos profesionales, al mismo tiempo que generan un impacto positivo no sólo académico, sino también social (Esparza, Morín y Rubio 2018). En España, el ApS se recoge oficialmente en el Real Decreto 1791/2010, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el estatuto del estudiante universitario (España, Ministerio de la Presidencia, 2010) y posteriormente en el documento CRUE/Comisión de Sostenibilidad (2015).

En este sentido, la asignatura de prácticas curriculares se presenta como un espacio ideal para implementar esta metodología, de forma que el estudiante pueda realizar una mejora evidenciable en el centro en el que realiza las prácticas mientras desarrolla las competencias y alcanza los resultados de aprendizaje propios de la asignatura de forma significativa (Edo y Blanch, 2016). En los planes docentes de la universidad española, los estudiantes tienen la posibilidad de cursar prácticas externas como una asignatura reglada y tutelada, formando parte de su plan de estudios, como queda recogido en el Real Decreto 592/2014, de 11 de julio, por el que se regulan las prácticas académicas externas de los estudiantes universitarios (España, Ministerio de la Presidencia, 2014). Concretamente, en la Facultad de

Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, en los grados en Biología, Ciencias Ambientales y Biotecnología, las asignaturas de prácticas externas curriculares y extracurriculares, I y II, son asignaturas optativas de 6 ECTS cada una (Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, 2021). Estas prácticas curriculares ofrecen la oportunidad de integración en entornos profesionales, poniendo en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera. La finalidad principal de las prácticas curriculares es que el alumnado desarrolle competencias específicas de su área de estudio, al tiempo que adquiere una experiencia directa en el ámbito profesional. Así, no solo se les brinda un espacio para aplicar la teoría, sino también para desarrollar habilidades transversales como el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la responsabilidad social. En este sentido, es importante que el alumno entienda y sienta la importancia de su participación en el proceso de diseño y desarrollo del ApS (Caspersz y Olaru, 2017), y que tenga autonomía suficiente en el proceso de forma que se garantice la participación reflexiva y crítica (Gozálvez y García-García, 2017).

Por otro lado, los museos cumplen una función clave en la sociedad al preservar, investigar y difundir el patrimonio cultural y natural. Estos espacios no solo son centros de conservación, sino también de educación, reflexión y conexión entre el pasado y el presente. A través de las colecciones expuestas y los programas educativos, los museos juegan un papel fundamental en la formación de una ciudadanía consciente de su entorno y comprometida con su conservación (Hernández, 2006; Palomera-García, Rivera-Cervantes, García-Real, Guzmán-Hernández, y Ruan-Tejeda, 2015; Ramírez y Ussa, 2021). En el caso de las universidades, los museos se convierten en un servicio a la comunidad que permite conectar con la sociedad. Además, son espacios idóneos para que los estudiantes realicen sus prácticas curriculares, integrando sus conocimientos científicos en proyectos que benefician al público y fomentan la cultura científica, como parte de un ApS.

El Museo de colecciones de la Universidad de León (MULE) desempeña un papel crucial en la promoción de la educación ambiental y el fomento del ocio sostenible. A través de sus actividades, se busca no solo sensibilizar sobre la conservación del medio ambiente, sino también promover la cooperación entre la ciudadanía, fortalecer las relaciones sociales y facilitar un mayor contacto con la naturaleza. De este modo, no solo buscan crear conciencia sobre la sostenibilidad, sino también construir una comunidad más conectada con el entorno, capaz de asumir un papel activo en su protección. Parte de la exposición del MULE está centrada principalmente en la diversidad zoológica de diferentes ecosistemas. Sin embargo, carece de la parte botánica representativa del hábitat en que viven las especies de fauna de los

ecosistemas representados. Además, los talleres que se realizan en el museo se centran únicamente en el mundo animal.

Lo anterior muestra un ejemplo de la problemática centrada en la falta de atención al mundo botánico, lo que se conoce como "ceguera botánica" o plant blindness (Wandersee y Schussler, 1999), que hace referencia a la falta de reconocimiento y valoración de las plantas que nos rodean. A pesar de su enorme importancia como fuente de recursos, desde alimentos y medicinas hasta materiales de construcción, muchas plantas pasan desapercibidas, incluso las que crecen en nuestro entorno más cercano. Esta desconexión con el mundo vegetal es especialmente preocupante en un contexto de crisis ambiental y pérdida de biodiversidad. En este sentido, los proyectos educativos desarrollados en el museo, como la introducción de pliegos de plantas representativas de distintos ecosistemas y la organización de talleres para estudiantes de primaria y secundaria, tienen como objetivo sensibilizar al público sobre el papel crucial de las plantas y reavivar el interés por la botánica, destacando su relevancia.

En este trabajo, se describe la experiencia de una alumna del Grado en Biología de la Universidad de León, quien ha realizado sus prácticas curriculares en el Museo de Colecciones de la ULE en el curso 2023-24, siguiendo la metodología ApS. Para ello se plantean como objetivos: facilitar la construcción de un aprendizaje reflexivo, teniendo en cuenta los conocimientos y las habilidades adquiridas, haciendo partícipes a los estudiantes de su formación; contribuir a la necesidad social de hacer visible la botánica de forma que se combata la "ceguera botánica". Para ello, los alumnos deben aprender y poner en práctica conocimientos botánicos sobre biodiversidad y conservación, demostrando autonomía y capacidad para trabajar y preparar materiales de origen biológico. Y todo ello en el contexto de los objetivos de desarrollo sostenible, para alcanzar una educación de calidad (ODS4) con base en la vida de ecosistemas terrestres (ODS15).

Este trabajo forma parte del proyecto Aprendizaje-Servicio como herramienta básica en Biología- Colecciones Científicas y aprendizaje, que el grupo de innovación docente ACBoSCo (GID ULE 39 para la Adquisición de Competencias en Botánica Sistemática, Conservación y Gestión) desarrolla a distintos niveles dentro de la Universidad de León.

MÉTODO

Este proyecto se enmarca en la metodología ApS, según las directrices de Puig, Martín y Batlle (2008). La elección del aprendizaje-servicio permite conectar el aprendizaje académico con la realidad social, así como desarrollar competencias prácticas y transversales, mientras ofrece un servicio a la comunidad. En la figura 1 se

pueden observar los pasos seguidos para la realización de las prácticas externas curriculares en el MULE.

Figura 1. Momentos clave en el desarrollo de las prácticas externas



Desde hace tiempo, investigadores del grupo de investigación Taxonomía y Conservación de la Biodiversidad (TaCoBi) de la Universidad de León, han detectado la escasa o nula presencia de material botánico e información del mismo en la zona de la exposición de las colecciones zoológicas del MULE y en los talleres que allí se desarrollan. Por esa razón, se ha llegado a un acuerdo con el coordinador y conservador de las colecciones, para corregir dichas carencias. Es por ello que se emite una propuesta de prácticas curriculares a través de los conductos establecidos (Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, 2021), donde se establece un contenido amplio que permita la adecuación y concreción posterior. Sólo de este modo el estudiante que solicite la práctica podrá participar plenamente en la propuesta dentro de la metodología de ApS.

Como se observa en la figura 1, se realizan varias reuniones de coordinación entre los agentes implicados: estudiante, tutora de empresa (grupo de investigación TaCoBi) y coordinador-conservador del museo. De este modo se ajusta la propuesta para ofrecer un servicio adecuado a la necesidad observada y se atiende al aprendizaje del estudiante que llevará a cabo dicho servicio, atendiendo a las competencias y resultados de aprendizaje de la guía docente de la asignatura Prácticas Externas (Universidad de León, 2023). Analizadas las opciones, se decide que las actuaciones que se realizarán son la inclusión de material vegetal en formato pliego en la sala de exposiciones de la colección zoológica denominada "caminos de biodiversidad" y la elaboración de un taller de reconocimiento de especies arbóreas de la ciudad de León.

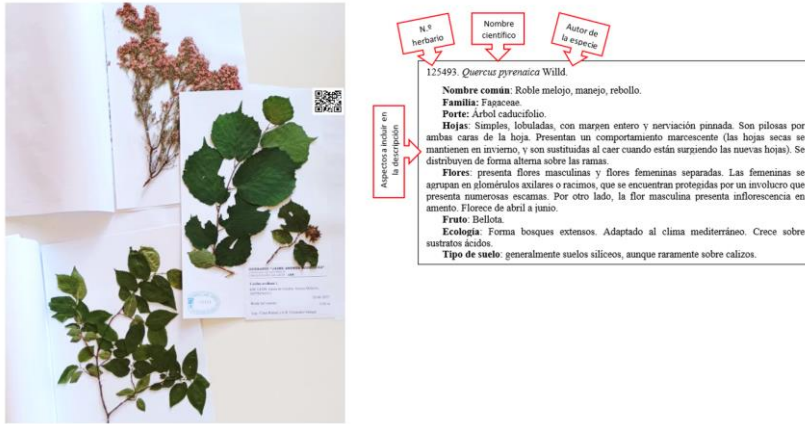
Para conseguir los objetivos marcados, se deben aplicar los conocimientos adquiridos en el grado sobre técnicas de recolección, prensado y preparación de material vegetal, específicamente en la elaboración de pliegos botánicos.

Finalmente, y como recoge la normativa (Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, 2021), la alumna elabora una memoria exponiendo las actividades realizadas y la valoración de las prácticas donde reflexiona sobre su experiencia. La tutora de empresa valora mediante la complementación de un cuestionario el trabajo de la alumna durante la realización de las prácticas, teniendo en cuenta no sólo el resultado obtenido, sino también la autonomía y grado de desempeño. A lo largo de las diferentes sesiones la alumna ha demostrado capacidad para recolectar y preparar diferentes materiales vegetales, ha identificado los ejemplares a nivel de especie poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas de su grado, y ha adaptado la información para ser mostrada al público en general. Finalmente, la tutora académica valora la memoria de la alumna (Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, s.f.) y las respuestas ofrecidas por la tutora de empresa. Si bien, quedaría una última valoración de las prácticas, correspondiente a la opinión de los usuarios del MULE. La evaluación del impacto del proyecto se realizará mediante la retroalimentación de los visitantes del museo una vez que el material esté disponible. Este enfoque permite medir tanto el aprendizaje individual como la efectividad del proyecto en términos de sensibilización ambiental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La realización de las prácticas ha permitido obtener material preparado para su inclusión en el museo. Por un lado, se ha preparado material de 48 especies representativas de diferentes ecosistemas presentes en la sala de exposiciones “camino de diversidad”. De cada especie se elaboran dos pliegos, uno que quedará recogido dentro de la colección del herbario LEB de la Universidad de León y otro que será mostrado al público en el MULE (Figura 2). Se incluyen especies de zonas urbanas y periurbanas, de bosques mediterráneos y de bosques templados. Para ello se han realizado varias sesiones de campo con el fin de recolectar ejemplares de aquellas especies más representativas de las zonas mediterránea y eurosiberiana. Este material busca ofrecer al público una visión más completa de los ecosistemas al incluir elementos vegetales y no solo animales, contribuyendo a una mejor comprensión del entorno natural. En esta actividad se ponen en práctica los conocimientos y actitudes adquiridas a lo largo del grado en diversas asignaturas en las que se realizan herbarios con fines educativos (Alfaro-Saiz, Fernández-Salegui, y Acedo, 2019).

Figura 2. Imagen de varios pliegos, cada uno de los cuales tendrá asociado un código QR con la Información elaborada sobre las características de cada especie



Por otro lado, para la realización de las claves dicotómicas de identificación se han recopilado hojas de 12 especies distribuidas por la ciudad (Figura 3). Con todo ello, se muestra la variabilidad en lo que a la morfología de las hojas se refiere. Las claves elaboradas presentan una parte explicativa de los aspectos tratados con imágenes claras y de fácil interpretación. En cada paso de la clave, se introducen esquemas ilustrativos, para facilitar el proceso de identificación. Las claves se han elaborado analizando los caracteres diagnósticos: entera o compuesta, forma, tipo de nerviación, margen, ápice, zona basal y disposición sobre las ramas, que permiten la separación y correcta identificación de las especies arbóreas elegidas (Ramos y Martínez, 2022).

Figura 3. Imagen donde se muestra la clave con la información complementaria y alguna de las hojas preparadas de las especies incluidas



Este material se empleó para la realización de un taller educativo titulado "Diversidad de árboles en la ciudad de León", cuya finalidad es enseñar a los participantes a identificar diferentes especies de árboles. Para la realización del taller, centrado en la diversidad vegetal en el entorno urbano, se propone que se aborden temas relacionados con la conservación, la importancia de las especies autóctonas y alóctonas, así como sus diversas utilidades ecológicas y culturales. La creación de una clave dicotómica de hojas se ajusta a la necesidad de proporcionar herramientas prácticas para la identificación de especies, facilitando la enseñanza de la diversidad vegetal en el entorno urbano (Fernández-Salegui, Alfaro-Sáiz, y Fernández, 2023).

De este modo, a lo largo de las prácticas externas, el alumnado se involucra en el proceso desde el inicio y participa aplicando los conocimientos teóricos adquiridos en el aula y trasladándolos a un contexto práctico y comunitario. Para ello, es necesario que el estudiante cuente con cierto grado de libertad, aprendiendo por otro lado a gestionar dicha libertad y adquiriendo habilidades para la colaboración (Gozálvez y García-García, 2017). Además, se incluyeron momentos de reflexión en los que la estudiante analizó el proceso, su aprendizaje y los resultados obtenidos. Estos momentos reflexivos le permitieron identificar sus avances, tanto a nivel personal como académico, y ajustar sus prácticas en función de los desafíos encontrados (Red de Aprendizaje-servicio de las Universidades Catalanas, 2019). Si bien es cierto que es necesaria una formación teórica previa, por lo que se debe tener en cuenta el nivel de formación del alumnado, priorizando los últimos cursos (Gozálvez y García-García, 2017).

Con la consecución del proyecto de ApS, se busca no solo combatir la "ceguera botánica", sino también fomentar un sentido de responsabilidad social del alumnado, alineando los objetivos del proyecto con las necesidades de sensibilización ambiental de la sociedad.

La rúbrica utilizada para valorar al alumnado se centra en aspectos como el cumplimiento de plazos y normativa, la contextualización e identificación de los objetivos, la calidad de la información en la descripción de las actividades y finalmente en la reflexión y valoración personal. El tutor en empresa valora la implicación y responsabilidad del estudiante, así como la calidad de las prácticas, informando de posibles acciones de mejora. En la metodología ApS se deberían establecer herramientas que permitan la valoración de los resultados obtenidos por el alumnado a todos los niveles: personal, interpersonal, profesional y de compromiso de los estudiantes con la actividad desarrollada (de Castro y Flórez, 2018). Pero también deben tenerse en cuenta las valoraciones de los usuarios finales del servicio, que no tienen por qué coincidir con la empresa, como en nuestro caso. Por todo ello parecen pertinentes diferentes evaluaciones: Inicial, en la implementación, de los resultados y del seguimiento o impacto (Lorenzo, Mella, García, y Varela, 2017).

Uno de los problemas con los que nos encontramos a la hora de realizar una propuesta de ApS en la Universidad es la rigidez en cuanto a los tiempos de realización. Las asignaturas de prácticas externas I y II tienen un tiempo asignado de 135 horas y la propuesta debe quedar cerrada antes de la adjudicación de la plaza. Esto limita la participación del alumnado desde el principio. Sólo en aquellos casos en los que el alumno contacta previamente con la empresa y participa en la redacción de los objetivos puede decirse que participa desde el principio en el proceso de ApS, pero este hecho no siempre puede ser posible. Es fundamental institucionalizar la metodología de ApS para asegurar la sostenibilidad de estos proyectos a largo plazo y aumentar su impacto a todos los niveles (Castillo et al., 2021; Chang, 2016). El establecimiento de un soporte institucional para la inclusión del ApS en la universidad parece necesario (Gozálvez y García-García, 2017; Lorenzo et al., 2017), con el fin de apoyar y adaptarse a los cambios y necesidades de la sociedad (Castillo et al., 2021), lo que permitiría dar soporte a las actividades de ApS dando visibilidad y coordinando acuerdos y convenios donde se atiende a las diferentes entidades interesadas (Lorenzo et al., 2017).

CONCLUSIONES

La realización de estas prácticas externas al amparo del ApS, nos ha permitido establecer el punto de partida para futuras propuestas en la asignatura de Prácticas Externas, donde la creatividad del alumnado brille al ser quien decida cómo combatir la ceguera botánica. De este modo, se contribuye a fomentar la concienciación sobre la diversidad botánica, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 4 y ODS 15).

Esta metodología del ApS permite la formación integral de los alumnos, aplicando sus conocimientos y habilidades en un contexto real, realizando un servicio a la comunidad y avanzando en su propio aprendizaje. Todo ello les permite alcanzar una serie de competencias propias de su titulación que se completan con las competencias transversales relacionadas con el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la responsabilidad social.

Para garantizar la sostenibilidad de estos proyectos y maximizar su impacto a largo plazo, se considera fundamental que las universidades adopten formalmente el ApS como una metodología educativa dentro de su estructura, con apoyo y coordinación entre las instituciones académicas y los socios comunitarios. Para mejorar la metodología ApS, se propone una mayor flexibilidad y una integración más temprana de los estudiantes en el diseño de los proyectos.

La evaluación del ApS debe abarcar no solo el rendimiento académico del alumnado, sino también el impacto social de las actividades desarrolladas, tomando

en cuenta a todos los agentes implicados. En ese sentido, la evaluación a lo largo de todo el proceso facilita la toma de decisiones y reajustes.

REFERENCIAS

Alfaro-Saiz, E. A., Fernández-Salegui, A. B., y Acedo, C. (2019). Activaleb herbario digital vivo: herramienta de aprendizaje activo y de servicio. En *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura* (pp. 445–456). Dykinson.

Caspersz, D., y Olaru, D. (2017). The value of service-learning: The student perspective. *Studies in Higher Education*, 42(4), 685–700.

Castillo, S. M. V., Chira, R. C., Zuñiga, S. A. R., López, P. E. B., y Regalado, O. L. (2021). Aprendizaje-servicio en los estudiantes de educación universitaria. *PAIAN*, 12(2), 68–81.

Chang, E. (2016). Aprendizaje/Servicio (Learning Services) como oportunidad de innovación. *Universidad Don Bosco*, San Salvador, El Salvador. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11715/1217>

CRUE/Comisión de Sostenibilidad. (2015). *Institucionalización del aprendizaje-servicio como estrategia docente dentro del marco de la responsabilidad social universitaria para la promoción de la sostenibilidad en la universidad*. Documento técnico aprobado por el Comité Ejecutivo y el Plenario de la Comisión de Sostenibilidad (Grupo CADEP), celebrado en León el 29 de mayo de 2015.

de Castro, A., y Flórez, D. G. (2018). Estimaciones sobre los beneficios del aprendizaje-servicio en la Universidad del Norte. En A. de Castro y E. Domínguez (Eds.), *Transformar para educar* (Vol. 6, pp. 104–116). Barranquilla, Colombia: Centro para la Excelencia Docente, Universidad del Norte.

Edo, M., y Blanch, S. (2016). El patio de los deseos. Un proyecto de aprendizaje y servicio. *Manual de Educación Infantil. Orientaciones y Recursos (0-6 años)*, 1, 1–11.

España, Ministerio de la Presidencia. (2010). *Real Decreto 1791/2010, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Estatuto del Estudiante Universitario*. Boletín Oficial del Estado, núm. 318, de 31 de diciembre de 2010, pp. 109353-109370.

España, Ministerio de la Presidencia. (2014). *Real Decreto 592/2014, de 11 de julio, por el que se regulan las prácticas académicas externas de los estudiantes universitarios*. Boletín Oficial del Estado, núm. 184, de 30 de julio de 2014, pp. 61535-61543.

Esparza, M., Morín, V., y Rubio, L. (2018). La incorporación del aprendizaje-servicio en la universidad: La experiencia de la Universidad de Barcelona. *RIDAS. Revista Iberoamericana de Aprendizaje-Servicio*, 6, 103–114. <https://doi.org/10.1344/RIDAS2018.6.10>

Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. (2021). *Normativa para el desarrollo de las Prácticas Externas Curriculares en los Estudios de Grado de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León*. Universidad de León. Recuperado de <https://centros.unileon.es/biologia/practicas-de-empresas/>

Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. (s. f.). *Rúbrica evaluación Memoria Prácticas Externas*. Universidad de León. Recuperado de <https://centros.unileon.es/biologia/practicas-de-empresas/>

Fernández-Salegui, A. B., Alfaro-Sáiz, E. A., y Fernández, S. R. (2023). El uso del entorno inmediato en Educación Superior. *Cuadernos de Pedagogía*, 546.

Gozálvez, V., y García-García, F. J. (2017). Aprendizaje crítico unido al servicio. En R. Mínguez Vallejos y E. Romero Sánchez (Coords.), *XIV Congreso Internacional de Teoría de la Educación* (pp. 90–97).

Hernández, F. (2006). *Planteamientos teóricos de la museología*. Gijón: Ediciones Trea.

Lorenzo, M., Mella, Í., García, J., y Varela, C. (2017). Investigar para institucionalizar el aprendizaje-servicio en la universidad española. *RIDAS. Revista Iberoamericana de Aprendizaje-Servicio*, 3, 118–130.

Opazo, H., Aramburuzabala, P., y Cerrillo, R. (2016). A review of the situation of service-learning in higher education in Spain. *Asia-Pacific Journal of Cooperative Education*, 17(1), 75–91.

Palomera-García, C., Rivera-Cervantes, L. E., García-Real, E., Guzmán-Hernández, L., y Ruan-Tejeda, I. (2015). Las colecciones biológicas “itinerantes” como instrumentos de educación ambiental. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 6(11), 109–119.

Puig, J. M., Martín, X., y Batlle, R. (2008). *Cómo iniciar un proyecto de aprendizaje y servicio solidario. Guías prácticas Zerbikas Fundazioa*. Recuperado de <http://www.zerbikas.es/guias-practicas/>

Ramírez, D. M. Q., y Ussa, É. O. V. (2021). Análisis documental de las colecciones biológicas como espacios no convencionales en la educación en biodiversidad. Resultados preliminares. En *Memorias de las Jornadas Nacionales y Congreso Internacional en Enseñanza de la Biología* (Vol. 3, Número Extraordinario, pp. 660–662).

Ramos, C. M. B., y Martínez, M. A. C. (2022). Claves dicotómicas: Herramientas básicas para la identificación biológica. *Kuxulkab'*, 28(61), 33–39.

Razquin, B. (2017). El aprendizaje-servicio como respuesta a la responsabilidad social de la Universidad. *AmbioCiencias*, 15, 63–69.

Red de Aprendizaje-servicio de las Universidades Catalanas. (2019). *Hacer aprendizaje-servicio en la universidad*. Barcelona: Red de Aprendizaje-servicio de las Universidades Catalanas.

Rodríguez, M. R. (2014). El aprendizaje-servicio como estrategia metodológica en la universidad. *Revista Complutense de Educación*, 25(1), 95–113.

Universidad de León. (2023). *Guía docente: Asignatura de Prácticas Externas. Grado en Biología*. Universidad de León. Recuperado de https://guiadocente.unileon.es/docencia/guia_docent/doc/asignatura.php?assignatura=0206042yany_academic=2024_25yidioma=castydoc=N

Wandersee, J. H., y Schussler, E. E. (1999). Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 82–86.

CAPÍTULO 26

URBANKEA: HERRAMIENTA DIDÁCTICA EN INGENIERÍA PARA LA ADAPTACIÓN CLIMÁTICA DE ENTORNOS URBANOS

MARÍA DE LA PAZ MONTERO GUTIÉRREZ*, TERESA PALOMO AMORES*,
RAFAEL MONGE PALMA*, DANIEL CASTRO MEDINA**, Y
MARÍA DEL CARMEN GUERRERO DELGADO*
**Universidad de Sevilla; **Universidad de Cádiz*

INTRODUCCIÓN

Contexto

El cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos representan uno de los mayores desafíos para la humanidad, con consecuencias cada vez más visibles a nivel global (Garshasbi et al. 2020; Santamouris 2023). La Organización Meteorológica Mundial (Organización Meteorológica Mundial 2024) ha advertido sobre los riesgos que las olas de calor imponen a la salud, el suministro de energía y agua, y la agricultura, especialmente en zonas cálidas como el sur de Europa. La alta densidad de población, actividades económicas y recursos en áreas urbanas las hacen especialmente vulnerables, convirtiéndolas en focos prioritarios para evaluar y mitigar los efectos del cambio climático.

Uno de los fenómenos más relevantes en este contexto es el de la "Isla de Calor" (Arnfield y Grimmond 1998; Oke 1973; Yang et al. 2023), que se refiere a áreas urbanas que experimentan temperaturas más elevadas que sus alrededores debido a técnicas constructivas insostenibles y no resilientes. Esto se debe principalmente al uso de materiales como hormigón y asfalto, que absorben y emiten más calor en comparación con zonas naturales con vegetación (Li et al. 2017; Oke et al. 2017). Los eventos climáticos extremos, como las olas de calor, están ocurriendo con mayor frecuencia y severidad, y se espera que se intensifiquen con el incremento de la temperatura global (Marando et al. 2022).

En respuesta a estos desafíos, se vuelve imprescindible implementar estrategias de adaptación y mitigación en entornos urbanos. Estas estrategias buscan reducir el Efecto Isla de Calor y mejorar el confort térmico en las ciudades mediante técnicas activas y pasivas, desde infraestructura verde hasta tecnologías avanzadas (He 2022; Heidarinejad y Esmaili 2015; Palomo et al. 2023). Estos enfoques permiten combatir el calor urbano y optimizar el bienestar de los habitantes durante los meses de verano.

Formación actual del personal técnico

El personal técnico enfrenta el reto de adaptarse a las nuevas exigencias profesionales, que demandan una actualización constante en temas relacionados con el cambio climático, la Isla de Calor y la adaptación urbana. A pesar de su relevancia, estos conceptos no ocupan un lugar central en la formación académica actual. Además, el enfoque tradicional en las aulas, que se caracteriza por una enseñanza unidireccional, está siendo revisado a favor de métodos más dinámicos y participativos (Brockliss 1996; Freeman et al. 2014). Esto es particularmente importante en áreas CTIM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), donde las prácticas de campo enfrentan limitaciones logísticas.

La falta de herramientas educativas específicas para apoyar estos conceptos crea una brecha entre la formación académica y las necesidades del mundo real (Adams et al. 2010; Anunpattana et al. 2021). Los métodos tradicionales de enseñanza ya no son suficientes para preparar a los futuros técnicos, quienes deben enfrentarse a desafíos complejos y dinámicos, como la habitabilidad urbana y la adaptación al cambio climático. El aprendizaje activo se ha propuesto como una solución para superar estas limitaciones. Este enfoque promueve el desarrollo de habilidades como el pensamiento crítico, la creatividad y la innovación a través de la resolución de problemas y la toma de decisiones en ejercicios prácticos. La implementación del aprendizaje activo ha demostrado mejorar en un 6% las calificaciones de los estudiantes, facilitando la consolidación de conocimientos de manera más efectiva que los métodos convencionales (Freeman et al. 2014).

Proyecto Cartuja Qanat

En este contexto, surge el proyecto europeo UIA03-301-CartujaQanat, dentro de la iniciativa Urban Innovative Action (UIA), en colaboración con el Ayuntamiento de Sevilla y el Departamento de Ingeniería Energética de la Universidad de Sevilla (Ayuntamiento de Sevilla 2022; Urban Innovative Actions (UIA) 2022). Este proyecto tiene como objetivo la transformación urbana, promoviendo el uso de la calle como dinamizador social y contando con la participación activa de toda la comunidad.

El proyecto CartujaQanat se enfoca principalmente en el acondicionamiento natural de un nuevo espacio abierto de 750 m² semienterrado y en la mejora de un espacio ya existente: el anfiteatro. Para garantizar el confort térmico en ambos espacios, es fundamental controlar la temperatura de las superficies circundantes mediante técnicas de enfriamiento natural. La combinación de estas técnicas con la experiencia obtenida por el departamento durante la Exposición Universal de Sevilla de 1992 (Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos - Universidad de Sevilla 1994) resalta la necesidad de integrar nuevos bloques educativos en la

Escuela Técnica Superior de Ingeniería, donde se incorporen las últimas tecnologías y herramientas de diseño.

Objetivos

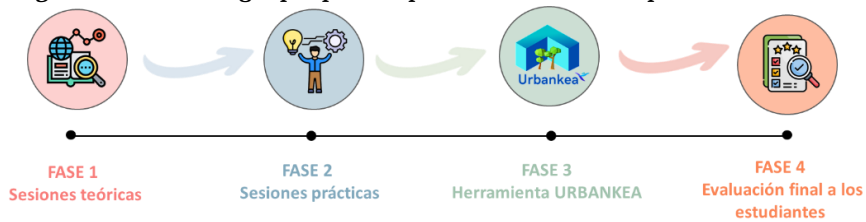
El objetivo principal es capacitar a los alumnos mediante herramientas y conocimientos que les permitan identificar y combatir estos problemas desde una perspectiva técnica y sostenible. A través de este nuevo bloque educativo, se les ofrece una experiencia teórico-práctica que fomenta la implementación de soluciones innovadoras en proyectos reales. Como pieza clave de este enfoque, el departamento ha desarrollado una herramienta informática que integra los conceptos teóricos y prácticos del nuevo bloque, facilitando el aprendizaje activo del alumnado y permitiendo la aplicación directa de los conocimientos adquiridos en contextos urbanos reales.

El proyecto también tiene como objetivo general fortalecer la capacidad de los futuros ingenieros para evaluar de manera crítica los impactos ambientales en los entornos urbanos, utilizando la simulación de situaciones reales como parte de su formación. Esta experiencia les permitirá diseñar soluciones innovadoras que no solo mitiguen los efectos negativos del calentamiento urbano, sino que también contribuyan al desarrollo de ciudades más sostenibles y resilientes. Con la implementación de esta metodología, se espera que los futuros ingenieros no solo adquieran conocimientos técnicos especializados, sino que también desarrollen una conciencia crítica sobre la importancia de su rol en la mitigación del cambio climático, siendo capaces de proponer y ejecutar soluciones sostenibles que mejoren la habitabilidad y el confort térmico en las ciudades.

MÉTODO

Considerando el carácter innovador del trabajo y la escasez de experiencias previas que traten los objetivos mencionados, se establece un proceso metodológico que permita dar validez y replicabilidad a un nuevo plan de estudio. Las etapas básicas en las que se basa esta metodología son la investigación, implementación y desarrollo de conceptos sobre adaptación urbana, su docencia y evaluación del alumnado, las cuales quedan detalladas en la Figura 1. Dichas etapas se centran en el uso de una novedosa herramienta para asegurar que los nuevos conceptos son afianzados gracias al diseño y adaptación de casos reales.

Figura 1. Metodología propuesta para la creación del plan de estudios



Nueva organización de la enseñanza

La reorganización del programa educativo para responder a las necesidades de las nuevas ciudades requiere una investigación sobre el confort urbano y su aplicación en grados técnicos. Este estudio ha sido esencial para identificar las demandas de la industria, urbanistas y ciudadanos, y planificar la formación de futuros ingenieros.

La experiencia del departamento de Ingeniería Energética ha sido clave, especialmente el legado de la Exposición Universal de 1992, que ayudó a definir los objetivos y contenidos del nuevo programa. Este se imparte en asignaturas del cuarto curso del Grado en Ingeniería de la Energía de la Universidad de Sevilla, como Reglamentación y Certificación Energética (RYCE) y Ahorro en Demanda Energética (ADE).

El temario abarca temas como modelos matemáticos de instalaciones urbanas, estudio de elementos urbanos, propiedades térmicas de materiales y evaluación de índices de confort. Así, se garantiza que los ingenieros comprendan y apliquen estos conocimientos en un contexto teórico-práctico, participando en proyectos innovadores que contribuyan a mejorar la calidad de vida en entornos urbanos.

Cada asignatura incluye 4 sesiones teóricas de 1,5 horas para abordar conceptos básicos y avanzados sobre confort y adaptación al clima urbano. Estas sesiones combinan métodos didácticos y visitas a espacios urbanos. Se utilizan presentaciones y cuestionarios semanales para evaluación continua. Los temas incluyen:

- Primera sesión: Introducción al confort urbano y su importancia en la edificación.
- Segunda sesión: Factores térmicos y operacionales que afectan al confort.
- Tercera sesión: Elementos urbanos y modelización térmica utilizando el catálogo del departamento y la herramienta URBANKEA.
- Cuarta sesión: Índices de confort como Carga Térmica (Q) y Physiological Equivalent Temperature (PET).

Adicionalmente se realizan 3 sesiones prácticas de hora y media tal y como indica la Figura 2. Las dos primeras se llevan a cabo en Cartuja Qanat y la tercera en un aula de la ETSI.

- Primera sesión práctica: Medición de variables climáticas como temperatura, humedad y radiación solar.
- Segunda sesión práctica: Encuestas de satisfacción térmica y monitorización de la temperatura radiante.
- Tercera sesión práctica: Uso de URBANKEA para adaptar un espacio urbano, como parte de la evaluación final.

Figura 2. Instalaciones de Cartuja Qanat y organización de prácticas realizadas

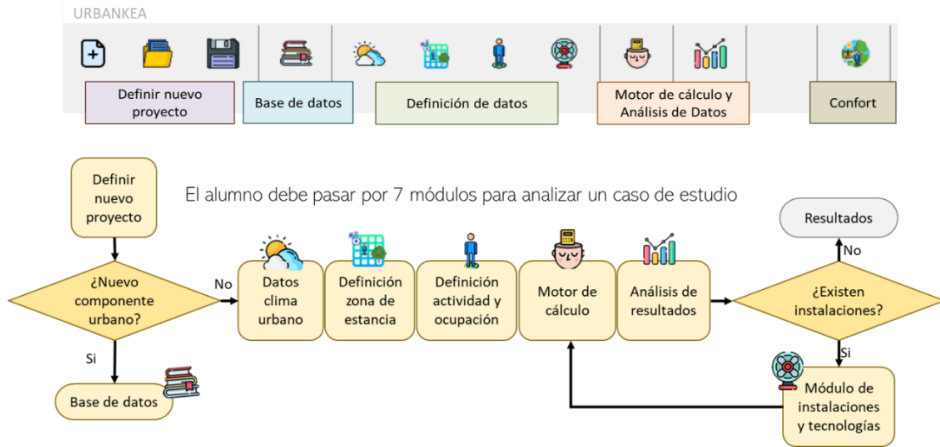


Herramienta URBANKEA

URBANKEA es una herramienta creada por el Departamento de Ingeniería Energética de la Universidad de Sevilla. Es un sistema integral con la capacidad de modelar el clima urbano gracias a la interacción de los elementos del paisaje. Gracias a sus resultados es posible analizar parámetros como la temperatura ambiental, la radiación solar y diferentes índices de confort urbano. A continuación se detalla el proceso de diseño y simulación de un escenario de estudio mediante el acceso a los llamados módulos de trabajo. Los módulos permiten establecer las variables de estudio paso a paso para finalmente obtener los resultados mencionados.

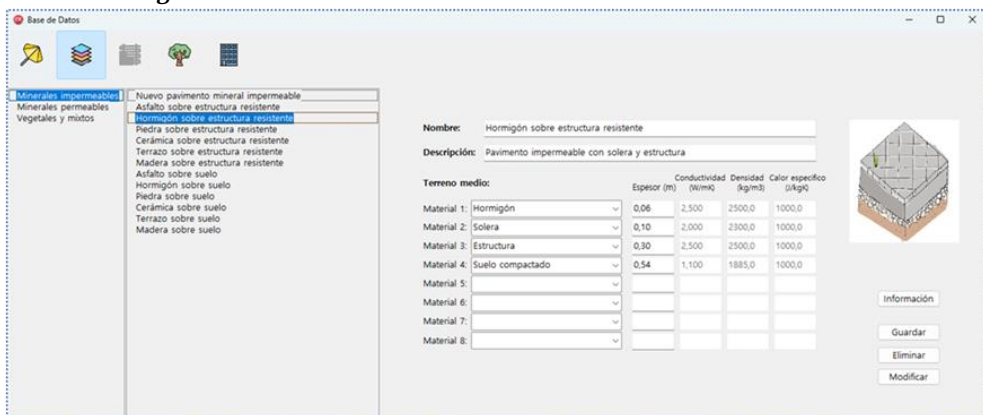
La Figura 3 muestra la pantalla de inicio de la herramienta y el diagrama de flujo para el correcto desempeño del análisis. En total, el alumno debe hacer uso de 7 módulos para estudiar un caso de estudio completo. La herramienta calcula un caso de estudio dado un clima, una geometría, datos de ocupación y la presencia de instalaciones de tratamiento de aire exterior. Estos cuatro módulos de entrada definen los datos necesarios para que el motor de cálculo genere los resultados de salida. El motor de cálculo auna modelos matemáticos para el correcto cálculo del clima, índices de confort y elementos urbanos como coberturas solares, pavimentos y árboles.

Figura 3. Barra de inicio y clasificación de módulos de trabajo de URBANKEA



URBANKEA se basa en una extensa base de datos del entorno urbano (Figura 4), que clasifica cubiertas solares, pavimentos, vegetación y fachadas, elementos clave para reducir el calor y mejorar el confort urbano. Esta clasificación detalla las propiedades de cada elemento, facilitando el cálculo y análisis de resultados. Una sombra efectiva bloquea la radiación solar directa, y la elección adecuada de estos elementos influye en el confort en zonas soleadas. El alumno debe seleccionar los elementos urbanos según su caso de estudio. En las cubiertas, se evalúa la transmisividad (bloqueo solar) y en los pavimentos, el albedo (reflejo de radiación solar).

Figura 4. Base de datos de elementos urbanos de URBANKEA



Los datos climáticos son el punto de partida para definir el caso de estudio. La herramienta permite establecer el clima para cualquier día del año ingresando latitud,

longitud, fecha, temperaturas máxima y mínima, humedad y velocidad del viento. A partir de estos datos, el alumno obtendrá información horaria sobre radiación solar, temperatura, humedad, y posición solar, necesarios para calcular las temperaturas superficiales y los índices de confort térmico, como el índice de Carga Térmica (Q) y el Physiological Equivalent Temperature (PET), estudiados previamente.

La correcta ubicación de los elementos urbanos es crucial para obtener resultados precisos. A través del segundo módulo de URBANKEA, el alumno diseña su propio caso de estudio utilizando una cuadrícula de celdas generada con Google Maps (Figura 5). Puede añadir elementos urbanos como coberturas solares, pavimentos, vegetación y fachadas, los cuales están detallados en la base de datos de la herramienta con sus propiedades físicas y térmicas, permitiendo adaptar el espacio para reducir el estrés térmico.

Figura 5. Módulo de diseño de estancias de URBANKEA



El tercer módulo permite establecer los datos relacionados con la persona, como altura, peso, actividad metabólica, vestimenta, absortividad y horarios de ocupación de la zona de estancia. Por su parte, el módulo de tecnologías permite definir sistemas activos que reducen el estrés térmico, como unidades de tratamiento de aire exterior (enfriamiento sensible) o superficies frías (enfriamiento radiante). El alumno especifica parámetros como el flujo de aire, flujo de agua, eficiencia del sistema de refrigeración y horas de funcionamiento. Se recomienda integrar estos sistemas en áreas exteriores que requieran cierto nivel de confinamiento.

2.3. Evaluación de los estudiantes

La metodología ha sido impartida en las asignaturas de especialidad del grado de Ingeniería de la Energía durante el año 2023/2024. Se lleva a cabo una evaluación

continua para que los alumnos asienten las bases de forma paulatina. La Tabla 1 muestra el número de alumnos matriculados y evaluados en estas asignaturas.

Tabla 1. Alumnos matriculados y evaluados mediante la metodología

Asignatura	Titulación	Promedio Matriculados	Matriculados Curso 2023/2024
Reglamentación Y Certificación Energética	Grado En Ingeniería De La Energía	20	26
Ahorro En Demanda Energética	Grado En Ingeniería De La Energía	20	27

Los alumnos son evaluados con tests teórico-prácticos bisemanales que incluyen cálculos sobre índices de confort e incrementos de temperatura en diferentes zonas y climas. Además, participan en un proyecto grupal basado en un caso real, utilizando la herramienta URBANKEA para proponer mejoras en un espacio urbano adaptado al cambio climático. Se realizan varios cálculos con la herramienta para analizar las mejoras en las variables estudiadas, especialmente en los índices de confort. Cada grupo propone un caso base de estudio con necesidades y objetivos de adaptabilidad al cambio climático. Los alumnos deben proponer propuestas de mejora sobre el espacio urbano, calculando con la herramienta tantos casos de estudio como sean necesarios.

El correcto desarrollo del caso práctico toma gran relevancia en la evaluación de las asignaturas, tomando un 80% de la nota final del nuevo bloque de confort urbano. Se programan diferentes entregas relacionadas con el desarrollo de la herramienta, asegurando que el alumno desarrolla de forma correcta el caso práctico. En la primera entrega se establece el clima de estudio, asegurando que la medición o cálculo de las variables involucradas sean correctas. En la segunda entrega se propone el caso base de estudio con sus respectivas mejoras, evaluando principalmente la creatividad del alumnado y su desempeño para realizar la geometría. Por último, se evalúan los resultados finales, valorando la calidad del análisis y toma de decisiones.

Además de la evaluación final de los estudiantes, el profesorado opta por realizar encuestas de satisfacción para evaluar el rendimiento de los alumnos y su nivel de comodidad y satisfacción con los nuevos conceptos impartidos mediante URBANKEA. El alumnado tan solo debe responder dos preguntas cualitativas sobre su experiencia en este nuevo bloque:

1. ¿Crees que esta experiencia te ayudó a comprender mejor los conceptos impartidos?. Respuesta: Sí/No.

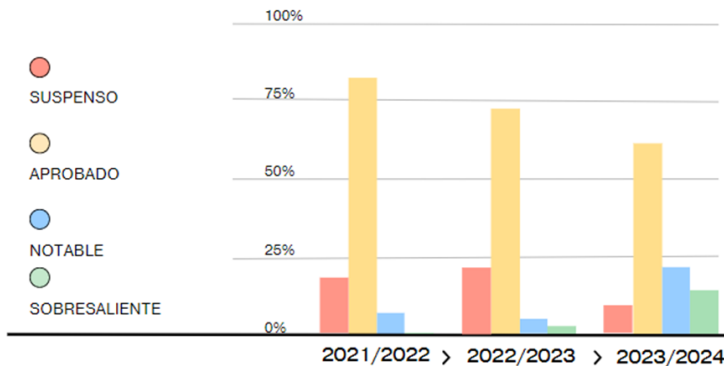
2. ¿Cómo evalúas tu experiencia? Respuesta: Muy Favorable/Favorable/Neutral/Poco favorable/Sin interés.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados tras la implementación de la nueva metodología, tanto a nivel académico como educativo. En primer lugar, se ha observado una evolución notable en la capacidad de análisis de los estudiantes. A medida que avanzaban las entregas periódicas, la profundidad y calidad de los análisis mejoraron significativamente. Si en la primera entrega los análisis eran breves y superficiales, en las últimas los alumnos no solo abordaban los resultados, sino que también incluían reflexiones críticas sobre posibles mejoras. Este progreso refleja un desarrollo en sus habilidades de pensamiento crítico y analítico, lo cual se ha visto reflejado en un aumento del 50% en las calificaciones de las últimas entregas comparado con la primera.

Además, las calificaciones generales han mejorado en comparación con años anteriores. En la asignatura de Reglamentación y Certificación Energética (Figura 6), el porcentaje de suspensos en el curso 2023/2024 fue de solo 3.8% (un alumno), frente al 23.1% y 29.2% de los cursos 2022/2023 y 2021/2022, respectivamente. También se redujo el número de aprobados con calificaciones menores de 7, debido al incremento de alumnos con notas notables y sobresalientes. En 2023/2024, el 11.5% de los estudiantes obtuvo una nota sobresaliente (entre 9 y 10), la cifra más alta comparada con el 1% y 0% de los años anteriores.

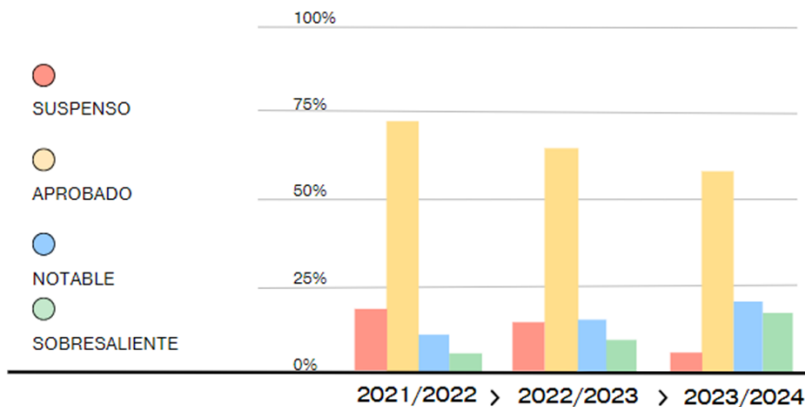
Figura 6. Calificaciones asignatura de Reglamentación y Certificación Energética



La Figura 7 muestra las calificaciones obtenidas por el alumnado para la asignatura de Ahorro en Demanda Energética. Se puede observar una clara reducción del porcentaje de personas suspensas, pasando de 18.5% y 14.8% en los cursos 2021/2022 y 2022/2023 respectivamente, a un 3.7% en el curso de implantación de la metodología. Entre los alumnos aprobados, se distingue un cambio en la distribución de las calificaciones. En los cursos 2021/2022 y 2022/2023, más del 80% de los alumnos con calificaciones superiores a 5, obtenían notas entre 5 y 6, y solo un

pequeño porcentaje lograba notas sobresalientes (9-10). Sin embargo, con la implementación de la metodología, el porcentaje de alumnos con calificaciones de aprobado (5-6) se ha reducido, mientras que el porcentaje de alumnos que obtienen calificaciones notables y sobresalientes (7-10) ha ascendido al 35.3%. Estos resultados son notables, indicando no solo una disminución en el número de suspensos, sino también una mejora en la calidad de las calificaciones globales.

Figura 7. Calificaciones asignatura de Ahorro en Demanda Energética

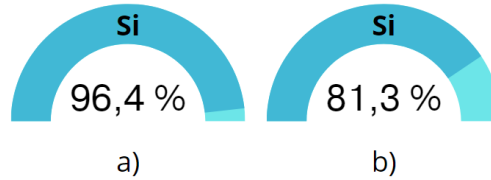


Un aspecto interesante es el aumento de alumnos interesados en la realización de Trabajos Fin de Grado (TFG), un indicador claro del interés y la motivación generada entre los estudiantes. Estos TFG se han centrado en casos de estudio reales, aplicando conocimientos adquiridos en la asignatura y participando en procedimientos más complejos y detallados llevados a cabo por el grupo de investigación. Este interés en profundizar más allá de los contenidos básicos del curso refleja un compromiso más profundo con el aprendizaje y un deseo de aplicar los conocimientos en contextos reales.

La implementación de la metodología ha tenido un impacto muy positivo en los estudiantes, según lo reflejado en las evaluaciones de los cuestionarios realizados. La Figura 8 muestra los resultados de las encuestas relativas a la ayuda en la mejora de la comprensión de los conceptos a través la metodología aplicada.

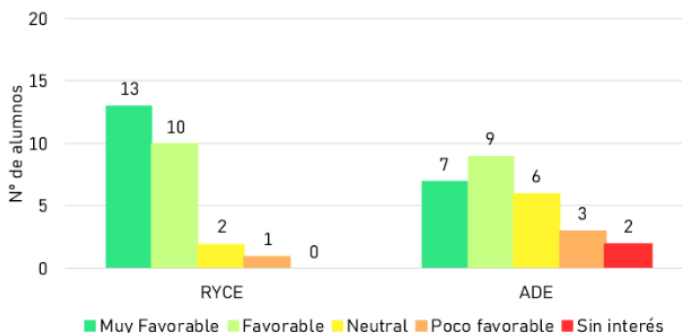
Figura 8. Resultados encuestas sobre conceptos impartidos en las asignaturas: a) Reglamentación y Certificación Energética; b) Ahorro en Demanda Energética

¿Crees que esta experiencia te ha ayudado a comprender mejor los conceptos impartidos?



El 96.4% de los alumnos de la asignatura de Reglamentación y Certificación Energética manifiestan que esta experiencia ha sido de ayuda para mejorar la comprensión de los conceptos impartidos. En la asignatura de Ahorro en Demanda Energética, aunque el porcentaje es menor, sigue siendo elevado, con un 81.3% de los alumnos afirmando lo mismo. En ambas asignaturas, los estudiantes destacan la relevancia y aplicabilidad de los contenidos en casos reales, lo cual ha mejorado su visión técnica y práctica del aprendizaje. El análisis de estos resultados sugiere que la metodología empleada ha tenido un impacto positivo considerable en la comprensión y aplicación de los conceptos. La alta tasa de satisfacción en Reglamentación y Certificación Energética indica que los estudiantes encuentran esta metodología particularmente efectiva. Aunque el porcentaje es ligeramente menor en Ahorro en Demanda Energética, sigue siendo significativo, lo que demuestra una aceptación generalizada de la metodología.

Figura 9. Resultados encuesta experiencia global
¿Cómo evalúas tu experiencia?



En ambas asignaturas, más del 70% de los alumnos consideran la metodología muy favorable o favorable (Figura 9). Este alto nivel de aceptación sugiere que los enfoques pedagógicos implementados están alineados con las necesidades y expectativas de los estudiantes. Sin embargo, se observa que en Ahorro en Demanda Energética, un 2% de los alumnos muestran desinterés por la metodología. Aunque este porcentaje es pequeño, el profesorado ha decidido analizar el seguimiento de la metodología en esta asignatura para identificar áreas de mejora y así optimizar la experiencia de aprendizaje para el próximo curso.

En resumen, los resultados propuestos reflejan una percepción mayoritariamente positiva de la metodología empleada, con altos niveles de satisfacción y mejoras en la comprensión y aplicación de los conceptos enseñados. La continua evaluación y ajuste de las estrategias pedagógicas garantizan que se aborden las áreas de mejora, asegurando un aprendizaje efectivo y relevante para todos los estudiantes.

Cabe destacar que la motivación de los alumnos ha aumentado de manera significativa, ya que el enfoque práctico y real de la asignatura requiere que los conocimientos teóricos sean aplicados directamente, lo que ha resultado en una preparación más intensa y efectiva de estos conocimientos. La autoconfianza de los estudiantes también ha mejorado, ya que se sienten útiles y valiosos al ver que sus aportes generan beneficios reales. Esto les ha permitido sentir que son capaces de realizar proyectos reales utilizando los conocimientos adquiridos en clase. La implicación en las clases ha aumentado notablemente en comparación con años anteriores, lo cual se refleja en un incremento del 120% en la asistencia a tutorías respecto al año anterior, así como un aumento de la participación en las clases. Esta motivación y la creencia en sus trabajos se han manifestado en los sólidos argumentos presentados durante la entrega final de sus proyectos.

CONCLUSIONES

Gracias a la implementación de esta metodología, los estudiantes no solo adquieren conocimientos específicos del temario impartido, sino que desarrollan competencias técnicas en un contexto actual en auge. La implementación de la metodología ha resultado en mejoras significativas en la capacidad de análisis, en las calificaciones globales, la motivación y el compromiso de los alumnos, así como en su interés por continuar sus estudios y aplicar lo aprendido en contextos reales. Esta metodología, ha permitido promover las siguientes habilidades:

- **Creatividad:** Los estudiantes tienen la oportunidad de explorar nuevas ideas y enfoques al enfrentarse a escenarios reales, desarrollando capacidad para pensar y desarrollar nuevos diseños.

- Capacidad crítica de los estudiantes: Mediante este nuevo bloque se les proporciona un nuevo entorno para evaluar y comparar distintas estrategias de mitigación del efecto Isla de Calor Urbana, identificando las más efectivas y eficientes. Este proceso es fundamental en la toma de decisiones informadas y en la mejora continua en procesos de adaptación urbana.

- Capacidad de análisis: Al medir, recopilar e interpretar datos mediante las sesiones prácticas presenciales, los estudiantes aprenden a manejar información real y compleja. Es de gran utilidad para derivar en conclusiones basadas en la evidencia científica, asegurando que el caso práctico no solo es innovador, sino que también es funcional y sostenible.

Los resultados académicos muestran que las calificaciones globales han mejorado notablemente en comparación con años anteriores. En la asignatura de Reglamentación y Certificación Energética, el porcentaje de suspensos disminuyó al 3.8%, y los alumnos con calificaciones sobresalientes aumentaron al 11.5%. En Ahorro en Demanda Energética, los suspensos se redujeron al 3.7%, mientras que las calificaciones notables y sobresalientes ascendieron al 35.3%. Por otro lado, el aumento de alumnos interesadas en realizar Trabajos Fin de Grado refleja un mayor compromiso y motivación por aplicar conocimientos en contextos reales.

Las encuestas realizadas al alumnado ponen de manifiesto que el 96.4% de los alumnos de Reglamentación y Certificación Energética y el 81.3% de Ahorro en Demanda Energética consideran que la metodología ha mejorado su comprensión de los conceptos, destacando la relevancia y aplicabilidad de los contenidos en casos reales. El análisis de estos resultados sugiere que la metodología empleada ha tenido un impacto positivo significativo en la comprensión y aplicación de los conceptos. La alta tasa de satisfacción demuestra que los estudiantes consideran esta metodología especialmente efectiva.

REFERENCIAS

Adams, A., Davies, S., Collins, T., y Rogers, Y. (2010). "Out There and in Here: Design for Blended Scientific Inquiry Learning." En *17th Association for Learning Technology Conference ALT-C 2010*, editado por L. Creanor, D. Hawkrigde, K. Ng y F. Rennie. Nottingham, UK: University of Nottingham.

Arnfield, A.J. y Grimmond, C.S.B. (1998). "An Urban Canyon Energy Budget Model and Its Application to Urban Storage Heat Flux Modeling." *Energy and Buildings*, 27(1), 61–68. doi: 10.1016/S0378-7788(97)00026-1.

Ayuntamiento de Sevilla. (2022). "El Ayuntamiento Inaugura Cartuja Qanat, Un Proyecto de Transformación Urbana Basado En Tecnologías Bioclimáticas Innovadoras Con Un Modelo Que Se Enmarcar En La Estrategia Municipal de Lucha Contra El Cambio Climático y Que Aspira a Ser Replicado En Otros Puntos de La Ciudad."

Brockliss, L. (1996). "A History of the University in Europe." *Curricula*, 2, 565–620.

Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos - Universidad de Sevilla. (1994). *Control Climático En Espacios Abiertos: Evaluación Del Proyecto Expo '92*. Editado por CIEMAT.

Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., y Wenderoth, M.P. (2014). "Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering, and Mathematics." *PNAS*, *111*(23), 8410–8415.

Garshasbi, S., Haddad, S., Paolini, R., Santamouris, M., Papangelis, G., Dandou, A., Methymaki, G., Portalakis, P., y Tombrou, M. (2020). "Urban Mitigation and Building Adaptation to Minimize the Future Cooling Energy Needs." *Solar Energy*, *204*, 708–719. doi: 10.1016/j.solener.2020.04.089.

He, B.J. (2022). "Green Building: A Comprehensive Solution to Urban Heat." *Energy and Buildings*, *271*, 112306. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112306.

Heidarinejad, G. y Esmaili, A. (2015). "Numerical Simulation of the Dual Effect of Green Roof Thermal Performance." *Energy Conversion and Management*, *106*, 1418–1425. doi: 10.1016/j.enconman.2015.10.020.

Li, W., Cao, Q., Lang, K., y Wu, J. (2017). "Linking Potential Heat Source and Sink to Urban Heat Island: Heterogeneous Effects of Landscape Pattern on Land Surface Temperature." *Science of The Total Environment*, *586*, 457–465. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.191.

Marando, F., Heris, M.P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., y Maes, J. (2022). "Urban Heat Island Mitigation by Green Infrastructure in European Functional Urban Areas." *Sustainable Cities and Society*, *77*, 103564. doi: 10.1016/j.scs.2021.103564.

Oke, T.R. (1973). "City Size and the Urban Heat Island." *Atmospheric Environment (1967)*, *7*(8), 769–779. doi: 10.1016/0004-6981(73)90140-6.

Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., y Voogt, J.A. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press.

Organización Meteorológica Mundial. (2024). "Europa Sufrió Inundaciones Generalizadas y Graves Olas de Calor En 2023." Recuperado de <https://Wmo.Int/Es/Media/News/Europa-Sufrio-Inundaciones-Generalizadas-y-Graves-Olas-de-Calor-En-2023>, 22 de abril.

Palomo, T.R., Sánchez, J., Guerrero, M.C., Castro, D., Cerezo-Narvaéz, A., y Álvarez, S. (2023). "Effect of Green Infrastructures Supported by Adaptative Solar Shading Systems on Livability in Open Spaces." *Urban Forestry & Urban Greening*, *82*, 127886. doi: 10.1016/j.ufug.2023.127886.

Santamouris, M. (2023). "Urban Climate Change: Reasons, Magnitude, Impact, and Mitigation." En *Urban Climate Change and Heat Islands* (pp. 1–27). Elsevier.

Urban Innovative Actions (UIA). (2022). "CartujaQanat - Recovering the Street Life in a Climate Changing World." Recuperado de <https://Uia-Initiative.Eu/En/Uia-Cities/Sevilla>.

Yang, S. y Wang, L. (Leon), Stathopoulos, T., y Moustafa Marey, A. (2023). "Urban Microclimate and Its Impact on Built Environment – A Review." *Building and Environment*, *238*, 110334. doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110334.

CAPÍTULO 27

FICHAS BOTÁNICAS: REVELANDO LA BIODIVERSIDAD DE NUESTRO ENTORNO

SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ESTRELLA ALFARO SAIZ,
CLARA RUBIO REINARES, RAUL LOIS MADERA, ANA PAULA MELERO CASTELLOT,
RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ,
ANA MARÍA VEGA MARAY, CARMEN ACEDO, Y ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI
Universidad de León

INTRODUCCIÓN

En el momento actual el cambio climático y la pérdida de biodiversidad es uno de los mayores retos a los que nos enfrentamos. En concreto, en la península ibérica y, más particularmente en la cuenca mediterránea, este problema puede agravarse como consecuencia de sus condiciones climatológicas (Arribas et al., 2012). Por otro lado, no debemos perder de vista que la biodiversidad está relacionada de forma directa con otros procesos naturales como los ciclos de nutrientes o la regulación del clima y también con la producción primaria y la economía (Wudu, Abegaz, Ayele, y Mussie, 2023). Sin embargo, a pesar de que la crisis de biodiversidad es conocida por gran parte de la comunidad científica, la mayoría de las personas probablemente no están dispuestas a participar activamente en la conservación de las plantas ni a apoyar la investigación en este ámbito (Allen, 2003). Muchas personas ni siquiera son conscientes de esta situación. En este escenario, otros factores como la educación también pueden jugar un papel clave (Balding y Williams, 2016). En 1999 un grupo de profesores publicaron un artículo en el que utilizaban el término “Plant Blindness” para hacer referencia al desconocimiento que tienen los alumnos sobre la biodiversidad vegetal (Wandersee y Schussler, 1999). Este término, que podemos traducir como “Ceguera Botánica” es aplicable no solo a los estudiantes sino también al resto de la sociedad. Además, otros grupos de organismos, objeto de estudio en las disciplinas botánicas, son incluso menos conocidos que las plantas angiospermas. Este es el caso de hongos, líquenes, musgos, helechos o algas por nombrar algunos de los grupos más invisibles para la población. Este desconocimiento de la biodiversidad resulta preocupante ya que se ha demostrado que existe una relación directa entre el aprecio que tienen los humanos a una especie o ecosistema y su implicación en la conservación de los mismos (Balding y Williams, 2016). Es por ello que la población en general debe conocer los organismos que los rodean para poder ser partícipes de su conservación (Fernández-Salegui, Rodríguez-Fernández, Alfaro-Saiz, Vega-Maray, y Acedo, 2023; Wandersee y Schussler, 1999). Con la finalidad de transmitir

conocimiento sobre la biodiversidad de nuestro entorno, se desarrollaron las “Fichas Botánicas”. Con esta iniciativa se pretende crear una herramienta útil, sencilla y muy visual en la que se muestre a las personas las especies presentes a su alrededor. Incluso en zonas urbanizadas la diversidad botánica suele ser muy elevada (Fernández-Salegui, Rodríguez-Fernández, Alfaro-Saiz, Vega-Maray, y Acedo, 2023) pudiendo ser empleada con fines botánicos. El primer volumen (Fig. 1.) versa sobre las orquídeas silvestres de la ciudad de León y alrededores. Estas plantas sirven de pretexto para ahondar en conceptos más complejos como es la conservación y el papel de los ciudadanos en el cuidado del entorno. La familia de las orquídeas (Orchidaceae) es una de las más grandes extensas dentro del reino de las plantas con aproximadamente 30.000 especies conocidas (Rodríguez-Fernández, Alfaro, y Argüelles, 2023). Sus llamativas flores y su peculiar biología reproductiva, hace de ellas el gancho perfecto para atraer tanto a los aficionados a la botánica como a personas interesadas en introducirse en este campo. En este volumen se habla de cómo extraer individuos de la naturaleza supone un problema para el ecosistema en general, además es muy complejo llegar a poder cultivar estas especies de orquídeas ex situ, por lo que si una persona intenta arrancarlas acabará por dañar o matar al ejemplar (Rodríguez-Fernández, Alfaro, y Argüelles, 2023). Pese a que la guía en sí no ahonda en conceptos teóricos por ser una herramienta eminentemente visual, sí que se ha trabajado en temas de conservación a través de los talleres y actividades que se han realizado.

Figura 1. Selección de imágenes del primer volumen de las Fichas Botánicas. De izquierda a derecha: Portada, fragmento de las claves dicotómicas y fragmento de las ilustraciones de especies



Consideramos que el aprendizaje-servicio (ApS) puede ser de ayuda a la hora de abordar el seguimiento de las orquídeas silvestres ya que puede ayudar a implicar a las personas del territorio en su localización y conservación. El ApS es una propuesta educativa en la que se combinan el servicio a la comunidad con procesos de aprendizaje en un único proyecto bien articulado a través del cual los participantes adquieren una formación al colaborar en la resolución de problemáticas reales del entorno (Palos y Puig, 2006), Es conveniente que en el ApS colaboren distintas entidades y que se incida en una necesidad social detectada en el entorno inmediato (Palos y Puig, 2006) con el fin de mejorarlo (Batlle, 2011). Las razones por las que el ApS podría ser de utilidad para la conservación de las plantas de su entorno son varias. En primer lugar, tenemos en cuenta que el ApS es apropiado tanto para la educación formal como para la no formal y es apto para personas de todas las edades (Palos y Puig, 2006), lo que facilita adaptar las actividades a distintos contextos. Además, el ApS tiene como uno de sus elementos clave dar respuesta a las necesidades sociales o llevar a cabo acciones que conlleven el beneficio de la comunidad (Ruiz, 2022). Sin duda, la conservación de la biodiversidad es uno de los grandes retos a los que se enfrenta la sociedad actual tal y como se recoge en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Gamez, 2024). Es por esto que el ApS puede servir como herramienta didáctica para trasladar el conocimiento botánico del entorno inmediato a los habitantes de la zona, con el objetivo de conocer y preservarla flora y en este caso concreto, las orquídeas de León.

Una vez definida la problemática, se plantea generar una serie de actividades de ApS con el objetivo de divulgar sobre la biodiversidad y las problemáticas asociadas a su conservación. Para ello se emplea el primer volumen de Fichas botánicas. Para conocer los efectos que tienen las actividades sobre la implicación de alumnos y población general en la conservación del entorno se establecieron los siguientes objetivos:

Evaluar las Fichas Botánicas como una herramienta que suscita interés a la hora de abordar el estudio de la biodiversidad.

Estudiar si los participantes muestran un mayor interés en la conservación de plantas y otros organismos de su entorno después de la actividad.

Comprobar si la realización de la actividad influye en la adquisición de los conocimientos del alumnado.

Comprobar si la metodología ApS resulta más motivadora para el alumnado que el modelo tradicional de aprendizaje-enseñanza.

MÉTODO

Material y métodos

El desarrollo de la actividad tuvo lugar en dos fases, en las que los alumnos, procedentes los grados en Biología, Ciencias Ambientales y los Másteres de Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas y en Investigación de la diversidad Botánica y Zoológica de la Universidad de León, se encargaron de la toma de decisiones y la comunicación con los participantes. A lo largo de las sesiones pusieron en práctica los conocimientos adquiridos en las clases para detectar ellos mismos las problemáticas que afectan a estas plantas. En la primera fase se visitaron zonas con alta diversidad de especies de orquídeas para localizarlas y aprender a reconocerlas. Posteriormente, planificaron e impartieron actividades abiertas al público general (Fig. 2). En cada actividad participaron al menos un profesor del GID ACBoSCo, (Grupo de Innovación docente para la Adquisición de Competencias mediante aprendizaje activo en Botánica Sistemática y Conservación de la Universidad de León y tres alumnos). Estas actividades consistían en un recorrido por zonas verdes de la ciudad de León. Los estudiantes fueron los encargados de enseñar a los participantes a identificar las orquídeas silvestres que se fueron encontrando. Además se compartieron una serie de herramientas digitales como iNaturalist con el objetivo de generar una red de información sobre donde hay orquídeas y así poder mantenerlas controladas. Al terminar la actividad se facilitó un cuestionario a los participantes y dos a los alumnos (Tabla 1, 2 y 3).

Figura 2. Taller de divulgación realizado en los alrededores de León



El cuestionario de los participantes (Tabla 1) pretendía evaluar la utilidad y el interés que generaban las Fichas Botánicas y la realización de actividades de ApS. Este cuestionario contaba con preguntas cerradas y abiertas.

Tabla 1. Selección de preguntas del cuestionario realizado a los participantes

Cuestiones personales				
¿A qué te dedicas profesionalmente?				
Respuesta abierta				
¿Cuál es tu relación con la botánica?				
Profesional	Dedico tiempo libre a aprender	Tengo conocimientos básicos	Ninguna	
Opinión				
¿Consideras que el Aprendizaje-servicio es una metodología adecuada para dar a conocer la biodiversidad?				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
¿Consideras que las fichas botánicas son una buena herramienta para conocer la biodiversidad?				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
¿Consideras que las fichas botánicas son fáciles de entender?				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
¿Qué temáticas relacionadas con la botánica te gustaría que se tratarán en próximos volúmenes de Fichas Botánicas?				
Respuesta abierta				

Los alumnos que desarrollaron y participaron en la experiencia de ApS cumplimentaron dos cuestionarios. El primero evaluaba los conocimientos de los alumnos (Tabla 2). Este cuestionario constaba de seis preguntas tipo test y se pasó antes y después de la actividad para comprobar el grado de consecución de los contenidos abordados en esta actividad.

Tabla 2. Selección de preguntas del cuestionario realizado a los estudiantes antes y después de para comprobar si mejoran su conocimiento de los contenidos

1. ¿Qué son las orquídeas?	
Una familia de angiospermas	Una familia de briófitas
Una familia de gimnospermas	Un tipo de flor
3. Las orquídeas silvestres de León:	
Son principalmente epífitas, es decir, crecen sobre árboles	Son parásitas estrictas
Son diversas con más de 15 especies conocidas	Crecen exclusivamente en zonas de rivera
6. Por qué no se pueden cultivar fácilmente orquídeas	
Las raíces viven asociadas con un insecto	Las raíces viven asociadas con una bacteria
Las raíces viven asociadas con un hongo	Las raíces viven asociadas con un protozoo
7. ¿Qué ocurre si arrancas la/s inflorescencia/s de una orquídea silvestre?	
Ya no podrán ser polinizadas por insectos	La flor se marchitará rápidamente
No producirá semillas ese año	Todas son ciertas

El segundo cuestionario que realizaron los alumnos tenía como objetivo evaluar cómo habían percibido la actividad (Tabla 3). Para ello se valoraron tres aspectos del mismo, la utilidad, la metodología y la motivación.

Tabla 3. Selección de preguntas del cuestionario realizado a los estudiantes para comprobar si la actividad les ha resultado útil y motivadora

Utilidad				
Se han cubierto las expectativas en cuanto a la utilidad de las actividades realizadas				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Los conocimientos adquiridos son aplicables				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Metodología				
La metodología ApS ha servido para alcanzar los objetivos				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
La metodología ApS ha permitido adquirir un mayor grado de adquisición de conocimientos y competencias que el modelo tradicional de enseñanza-aprendizaje.				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Motivación y aprendizaje				
Me ha motivado la realización de esta actividad				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
El ApS me ha parecido más estimulante que una sesión de enseñanza-aprendizaje al uso				
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el test que se realizó a los participantes se obtuvieron los siguientes resultados:

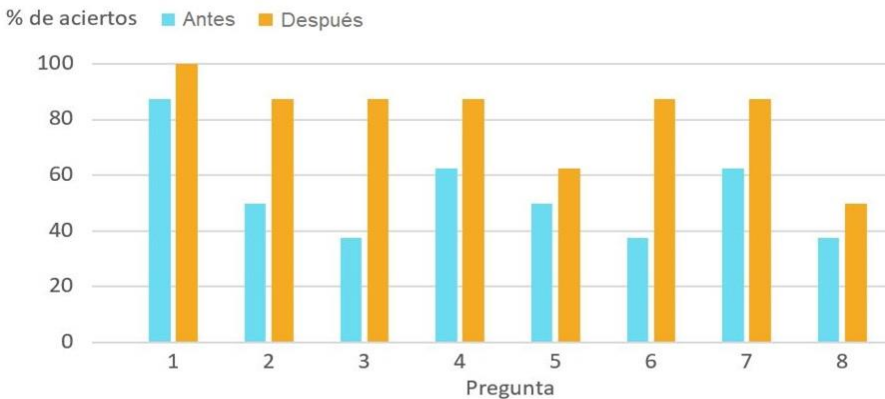
El 74,4% de los participantes están totalmente de acuerdo con que las fichas botánicas son una buena herramienta para dar a conocer la biodiversidad, ayudando así a combatir la ceguera botánica. No obstante, el 18,6% considera que pueden ser una buena herramienta pero es mejorable y el 7% restante prefiere utilizar otros medios. Entre los medios alternativos que mencionaron los participantes destacan aplicaciones móviles, páginas web o libros de texto. Además, el 90,7% de los participantes afirmaron estar interesados en participar en próximas actividades relacionadas con la biodiversidad del entorno y nuestro papel en su conservación. Esto es especialmente relevante ya que el 69,8% no habían participado en actividades de estas características antes. Es interesante que los participantes muestren interés por participar en la actividad porque como afirma Zedda (2023) la biodiversidad es un concepto complejo, que requiere ser abordado desde un punto de vista multidisciplinar. En este sentido, cuantas más actividades se realicen más probable es que se entienda la biodiversidad desde un punto de vista global. Los participantes afirmaron que no eran conscientes de la existencia de orquídeas silvestres en la ciudad de León. Sin embargo, al terminar la actividad, eran perfectamente capaces de distinguir estas plantas. Es por esto que las actividades relacionadas con la conservación ayudan a luchar contra la ceguera botánica (Balding y Williams, 2016). Por otro lado, se pidió a los participantes, que resumiera en una o pocas palabras lo que les había parecido la actividad, los resultados mostraron en general una visión positiva de la sesión (Fig. 3).

Figura 3. Nube de palabras generada a partir de las respuestas de los participantes a resumir en pocas palabras lo que les había parecido la actividad



En el cuestionario de evaluación de la adquisición de contenidos, se apreció una mejora general en los resultados obtenidos antes y después de la realización de la actividad. Todos los estudiantes, a excepción de dos, mejoraron sus resultados. En la figura 4 se recoge el porcentaje de aciertos antes y después de la actividad en varias de las preguntas del cuestionario.

Figura 4. Porcentaje de aciertos en el cuestionario de evaluación de la adquisición de contenidos antes y después de la actividad



En cuanto al cuestionario que evaluaba la utilidad, la metodología y la motivación, los resultados muestran que la mayoría de los estudiantes consideran que la metodología ApS es más útil que la metodología clásica de aprendizaje-enseñanza para abordar estos contenidos. Además, la metodología ha resultado motivadora para la mayoría de los participantes. Sin embargo, el 37,5% del alumnado que participó

considera que los conocimientos adquiridos en la actividad no son aplicables en el día a día. Esto puede deberse a que se trata de contenidos muy concretos que solo se pueden usar en ciertos contextos. No obstante, no podemos perder de vista que actividades como esta permiten hablar de desarrollo sostenible y, como se indica en Zedda (2023), ponen sobre la mesa cómo nuestras acciones pueden modelar el futuro. Cabe destacar que el ApS ha permitido que el alumnado haya puesto en práctica sus conocimientos, adquiriendo nuevas habilidades como la de ser capaz de adaptar al nivel de los participantes los conocimientos transmitidos. También es interesante entender el ApS como una experiencia que fomenta la cohesión social tal y como se indica en Opazo, Aramburuzabala, y Mcilrath (2019). Estas actividades permitieron que se generase un diálogo entre el alumnado y los asistentes. Estos intercambios dieron lugar a reflexiones sobre el impacto de nuestras acciones en la conservación de las orquídeas y otros organismos del entorno.

Además, la propuesta es flexible en cuanto a las posibles mejoras propuestas y a la adaptabilidad a los participantes. Una de las mejoras que se podrían llevar a cabo es replicar esta actividad con diferentes grupos para obtener resultados más representativos de la sociedad en general. Más de un tercio de los participantes se dedicaban al mundo de la docencia profesionalmente y muchos de ellos mostraban interés por la botánica antes de realizar la actividad.

CONCLUSIÓN

Es necesario abordar la pérdida de biodiversidad desde todos los ángulos posibles. La educación y, más concretamente las actividades destinadas a formar a la población en temas relacionados con la conservación vegetal, puede ayudar a afrontar este problema. La aplicación de la metodología de aprendizaje-servicio para trabajar temas asociados a la diversidad botánica a través de Fichas Botánicas ha fomentado el interés del alumnado y los participantes en colaborar en iniciativas como esta. Por tratarse de una actividad motivadora para todos los actores implicados, creemos que puede contribuir de forma global combatir la ceguera botánica. La inclusión de actividades como esta en la docencia universitaria podría ser de utilidad a la hora de complementar el aprendizaje puramente curricular, promoviendo que los alumnos desarrollen una mayor autonomía y pensamiento crítico. Nuestros resultados abren la puerta a seguir investigando en propuestas que permitan comprender y poner en el punto de mira la conservación de la biodiversidad a través de metodologías como el ApS.

Agradecimientos

A todos los profesores, alumnos y participantes de la actividad que se aventuraron con una sonrisa a conocer un poco mejor el maravilloso entorno natural que nos rodea. A Ángel Argüelles Longo que participó en la elaboración de la guía y en el desarrollo de las actividades, aportando su entusiasmo y conocimiento sobre las orquídeas silvestres.

REFERENCIAS

- Allen, W. (2003). Plant blindness. *BioScience*, 53(10), 926. doi: 10.1641/0006-3568(2003)053[0926:PB]2.0.CO;2
- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D., Lobo, J., Millán, A., y Sánchez-Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3), 79-84. doi: 10.7818/ECOS.2012.21-3.10
- Balding, M. y Williams, K.J.H. (2016). Plant blindness and the implications for plant conservation. *Conservation Biology*, 30(6), 1192-1199. doi: 10.1111/cobi.12738
- Battle, R. (2011). ¿De qué hablamos cuando hablamos de aprendizaje-servicio? *Revista Crítica*, 61(972), 49-54.
- Fernández-Salegui, A.B., Rodríguez-Fernández, S., Alfaro-Saiz, E., Vega-Maray, A.M., y Acedo, C. (2023). El uso del entorno inmediato en educación superior. *Cuadernos de Pedagogía*, 546.
- Gamez, M.J. (2024). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. *Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. Recuperado el 12 de septiembre de 2024 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- iNaturalist. (2023). Acerca de iNaturalist. *iNaturalist*. Recuperado el 16 de septiembre de 2024 de <https://www.inaturalist.org/pages/about>
- Opazo, H., Aramburuzabala, P., y McIlrath, L. (2019). Aprendizaje-servicio en la educación superior. *Revista de Pedagogía*, 71(3), 151-167.
- Palos, J. y Puig, J.M. (2006). Rasgos pedagógicos del aprendizaje-servicio. *Cuadernos de Pedagogía*, 357, 60-63.
- Rodríguez-Fernández, S., Alfaro, E., y Argüelles, A. (2023). *Orquídeas de la ciudad de León y alrededores*. León: Servicio de Publicaciones de la Universidad de León.
- Ruiz, J.V. (2022). El aprendizaje servicio. En *Pedagogía y didáctica en la formación del educador físico* (pp. 75-110). Qartuppi.
- Wandersee, J.H. y Schussler, E.E. (1999). Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 82-86. doi: 10.2307/4450624
- Wudu, K., Abegaz, A., Ayele, L., y Mussie, Y. (2023). The impacts of climate change on biodiversity loss and its remedial measures using nature-based conservation approach: A global perspective. *Biodiversity and Conservation*, 32, 1-21. doi: 10.1007/s10531-023-02656-1
- Zedda, L. (2023). The importance of a transformative biodiversity education for perceiving, appreciating, and supporting lichen diversity in German urban environments. *The Lichenologist*, 55(5), 161-168. doi: 10.1017/S0024282923000312

CAPÍTULO 28

BOTÁNICA Y SALUD: UN PROYECTO DE APRENDIZAJE-SERVICIO EN LA PREVENCIÓN DE LAS ALERGIAS RESPIRATORIAS

ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ANA MARÍA VEGA MARAY,
RAUL LOIS MADERA, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, ESTRELLA ALFARO SAIZ,
RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ, ANA PAULA MELERO CASTELLOT,
CLARA RUBIO REINARES, CARMEN ACEDO, Y ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI
Universidad de León

INTRODUCCIÓN

La aplicación de proyectos de Aprendizaje-Servicio (ApS) en el ámbito de los estudios universitarios ha demostrado ser una buena herramienta para que el alumnado aprenda a contextualizar los conocimientos adquiridos en el mundo que le rodea, fortaleciendo el aprendizaje práctico y activando su compromiso social mediante un proceso de reflexión (Ibarrola-García y Artuch, 2016). De hecho, la implementación de proyectos de este tipo, en alumnos de segundo y tercer ciclo, cobra un mayor interés ya que estos estudiantes cuentan con una formación académica más especializada, la cual les permitirá conectar los conceptos teóricos con los prácticos con mayor facilidad y profundidad, mejorando así sus capacidades para la resolución de problemas, la gestión de proyectos y la comunicación entre las diferentes entidades sociales colaboradoras, siendo éstas competencias fundamentales para su futura vida laboral (Aramburuzabala, Cerrillo, y Tello, 2015; López-Fernández y Benítez-Porres, 2018; Ruiz-Montero, Santos-Pastor, Martínez-Muñoz, y Chiva-Bartoll, 2022).

En este sentido, este proyecto ApS se ha realizado con alumnado del Máster Universitario en Estudios Avanzados de Flora y Fauna (MUEAFF) y del programa de doctorado de ciencia y tecnología del medio ambiente de la Universidad de León, con el objetivo de que el alumnado involucrado en dicho proyecto, supervisado por un profesor, ponga en práctica sus conocimientos de forma multidisciplinar. Todo ello evidenciará el impacto que pueden tener en nuestra salud las plantas y los hongos, presentes en el entorno urbano, con los que convivimos cotidianamente. Aunque muchas personas son alérgicas, muy pocas son capaces de identificar la planta o el hongo que les causa esta enfermedad, situación que se busca combatir para dar a conocer, a la sociedad en general y a los alérgicos en particular, aquellas especies que producen más alergias en la ciudadanía.

Este proyecto permite incidir en la gran diversidad botánica que hay en el entorno inmediato tal y como han mencionado ya otros autores (Fernández-Salegui

et al., 2023) y, además, está enmarcado dentro de uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), concretamente en el ODS 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles” en su punto 11.7 “Proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles”. De esta manera se pone de manifiesto la estrecha relación que existe entre la botánica y la salud pública, y permite conocer el potencial alergénico de las áreas verdes urbanas de la ciudad de León e informar de la importancia de una gestión adecuada tanto a las autoridades locales como a la población general (Rodríguez-Fernández et al., 2022).

Las zonas verdes urbanas son un elemento fundamental en la planificación urbanística en la actualidad. Estas no solo actúan como un lugar de esparcimiento para los ciudadanos, sino que también intervienen en la regulación de la temperatura local, mejora de la calidad del aire y la integración de la biodiversidad en el entorno urbano, lo que se traduce en una mejora de la calidad de vida de los ciudadanos (Suanno, Aloisi, Parrotta, Fernández-González, y Del Duca, 2021). De hecho, su importancia social queda reflejada en el pacto verde de la comisión Europea, en el que los diferentes países que lo firman se comprometen a aumentar la superficie de zonas verdes en las ciudades para el año 2030, con el objetivo de aumentar la biodiversidad urbana y avanzar en su conservación (Comisión europea, 2019).

Sin embargo, para las personas que padecen alergias respiratorias, estos espacios pueden tener un impacto negativo en su salud durante ciertos periodos de tiempo, ya que actúan como fuentes de emisión de grandes cantidades de polen y esporas en los entornos urbanos (Cariñanos et al., 2017). Según la Organización Mundial de la salud, entre el 30% y el 40 % de la población europea padece alergia, por lo que esta enfermedad es considerada un problema de salud pública de índole global y se insta a tomar diversas medidas preventivas para disminuir su impacto social y económico (D’Amato et al., 2007).

La adecuada planificación y gestión de las zonas verdes (selección de los taxones utilizados, diversidad de especies, distribución espacial, disminución del sexismo botánico y el mantenimiento de las especies ornamentales utilizadas) es, por tanto, esencial para reducir el potencial alergénico de estas áreas y hacerlas saludables para todos los habitantes (Cariñanos et al., 2017; Suanno et al., 2021).

No obstante, la selección de los taxones botánicos que conforman las áreas verdes urbanas se basa, casi exclusivamente, en criterios estéticos, económicos o de resistencia y rápido crecimiento, sin tener en cuenta otros aspectos como, por ejemplo, su potencial alergénico. Este hecho se debe, fundamentalmente, a que la sociedad solo percibe a las plantas y los hongos como parte del paisaje y no como organismos vivos con los que interactúan diariamente, lo cual dificulta la toma de decisiones informadas por parte de los diferentes organismos competentes.

La gestión de las zonas verdes urbanas, por tanto, ha de llevarse a cabo desde un punto de vista integrador entre la biodiversidad y la salud pública, lo cual se enmarca en la actual estrategia global “One Health”, que relaciona la salud humana con la salud animal y ambiental, para no solo proteger la salud humana, sino también fomentar la conservación de ecosistemas locales y su biodiversidad.

Para el desarrollo de este proyecto ApS, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Identificación y mapeo de las plantas y algunos hongos presentes en las zonas verdes.
2. Elaboración de preparaciones de polen y esporas de referencia para facilitar la identificación en muestras aerobiológicas.
3. Evaluar el potencial alergénico de las zonas verdes.
4. Elaboración de encuestas para evaluar el conocimiento de los usuarios sobre especies alergénicas y su presencia en las zonas verdes.
5. Realizar campañas informativas para concienciar a la comunidad de la importancia de una planificación urbana sostenible y proponer sugerencias de manejo y gestión de las zonas verdes actuales.

MATERIAL Y MÉTODOS

El proyecto ApS se llevó a cabo en cuatro zonas verdes de la ciudad de León, las cuales se encuentran interconectadas y por las que circulan un gran número viandantes diariamente. Estas zonas se corresponden con el parque de San Francisco, parque de Correos, Avenida Lancia y paseo de Papalaguinda (Fig. 1).

Figura 1. Área de estudio que incluye los parques de Correos (1), San Francisco (2), Jardín de la Avenida de Lancia (3) y Paseo de Papalaguinda (4)



La elección de estas zonas fue realizada por el docente encargado del proyecto teniendo en consideración todas las zonas verdes urbanas que existen en la ciudad de León. Durante la primera etapa del proyecto, se llevó a cabo la identificación de los diferentes taxones arbóreos y arbustivos del parque. Para ello, alumno y docente acudieron a estas zonas para ver las especies que allí aparecían con el fin de reconocer las especies ya estudiadas por el alumno y recoger muestras de aquellas que el alumno desconocía. Al mismo tiempo, se contabilizaron el número de individuos de cada especie y su distribución actual en el parque. Posteriormente, en el laboratorio el alumno procedió a identificar aquellas especies que desconocía usando diferentes claves y guías botánicas. A partir de toda esta información se elaboró un plano actualizado de la zona verde analizada.

Para calcular el potencial alergénico del parque, el alumno siguió el índice alergénico de espacios verdes Urbanos (IUGZA) propuesto por Cariñanos et al. (2014). Este índice tiene en cuenta tanto características intrínsecas de las especies (tipo de polinización, duración del periodo polínico principal...) como características extrínsecas (número de individuos, volumen que ocupan...). El potencial de emisión de polen de cada especie se estimó teniendo en cuenta la media aritmética del volumen que ocupa cada especie en el parque, midiendo la superficie de proyección de la copa y la altura de esta.

Paralelamente a la fase de muestreo, también se distribuyó una breve encuesta (Tabla 1) entre los usuarios del parque con el objetivo de evaluar su conocimiento sobre las especies alergénicas presentes en esta zona y su interés en el desarrollo de este tipo de trabajos. La encuesta titulada “¿Qué sabe sobre la alergenidad producida por las zonas verdes urbanas?”, constaba de 10 preguntas sencillas y se les entregó en formato físico y fueron completamente anónimas. Las respuestas de los encuestados fueron manejadas utilizando software Microsoft Excel.

Tabla 1. Encuesta “¿Qué sabe sobre la alergenicidad producida por las zonas verdes urbanas?”

Pregunta	Opciones
Género con el que se identifica	Hombre, mujer, otro
Rango de edad al que pertenece	18-25, 26-35, 36-45, 46-65, >65
¿Padece síntomas de alergia al polen durante algún momento del año?	Si, No
Si tiene síntomas: ¿Ha sido usted diagnosticado como alérgico al polen por un médico?	Si, No
Si tiene síntomas: ¿Sabe usted a qué plantas es alérgico? Puede marcar más de una opción.	Abedul, ciprés, gramíneas, olivo, plátano de sombra, otros
¿Reconoce qué plantas de los parques pueden producir alergia?	Si, algunas, muy pocas, ninguna
¿Sería interesante conocer el potencial alérgico del parque del que es usuario? Marque del 1 al 5 su interés en esta pregunta, siendo el 1 "interés mínimo" y el 5 "máximo interés"	1, 2, 3, 4, 5
¿Cree conveniente organizar sesiones informativas para conocer cuándo el parque puede suponer un riesgo para una persona alérgica? Marque del 1 al 5 su interés en esta pregunta, siendo el 1 "interés mínimo" y el 5 "máximo interés"	1, 2, 3, 4, 5
¿Cree que el potencial alérgico de las plantas ornamentales se debería tener en cuenta en la planificación de las áreas verdes urbanas? Marque del 1 al 5 su interés en esta pregunta, siendo el 1 "interés mínimo" y el 5 "máximo interés"	1, 2, 3, 4, 5
¿Cree que sería útil llevar a cabo este tipo de estudios en su población? Marque del 1 al 5 su interés en esta pregunta, siendo el 1 "utilidad mínima" y el 5 "utilidad máxima"	1, 2, 3, 4, 5

Además, se realizaron diferentes preparaciones de referencia de polen y esporas de diferentes especies identificadas en el parque, las cuales se depositaron en la palinoteca del Laboratorio de Palinología de la Universidad de León, para que puedan ser consultadas durante los muestreos aerobiológicos y así obtener una mayor información sobre el impacto de estas zonas verdes en la salud de la población. Las preparaciones se realizaron en fresco, en campana de extracción para evitar contaminación y fueron fijadas usando glicerogelatina con fucsina para el polen y sin fucsina para las esporas de hongos y briofitos. Por último, las preparaciones fueron selladas utilizando esmalte incoloro.

RESULTADOS

Las áreas verdes analizadas presentan una baja diversidad botánica con un número muy bajo de familias y especies en relación al número de individuos (Tabla 2). Las familias botánicas que presentan un mayor número de individuos son Betulaceae, Cupressaceae, Hippocastanaceae, Pinaceae, Platanaceae y Oleaceae.

Los parques de Correos y San Francisco son los que presentan los mayores valores del índice alergénico (Tabla 2). Mientras que el paseo de Papalaguinda a pesar de tener la mayor superficie y el mayor número de individuos presenta un valor de 0,2. El bajo índice obtenido en la avenida Lancia se debe a que la mayoría de las especies ahí plantadas presentan un bajo porte.

La presencia de ciertas especies como *Aesculus hippocastanum*, *Betula alba*, *Platanus x hispanica* y *Populus alba* son las que más contribuyen al valor del índice de los parques analizados. Sin embargo, especies abundantes como *Ligustrum japonicum*, *Tilia europaea* y *Symphoricarpos albus* no parecen aumentar el índice significativamente a pesar del número de individuos (Tabla 2).

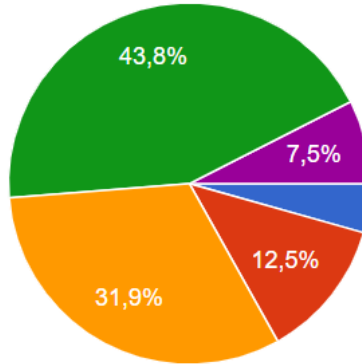
Tabla 2. Especies más abundantes y alergénicas de las áreas verdes de León

Zona verde	Total Familias	Total Especies	Nº de individuos	Especies más abundantes	Especies más alergénicas	IUGZA
Correos	7	13	109	<i>Ligustrum japonicum</i> (48) <i>Betula alba</i> (27)	<i>Betula alba</i> (0,5) <i>Populus alba</i> (0,10)	0,70
San Francisco	9	15	198	<i>Aesculus hippocastanum</i> (102) <i>Tilia x europaea</i> (34) <i>Platanus x hispanica</i> (32)	<i>Aesculus hippocastanum</i> (0,15) <i>Platanus x hispanica</i> (0,06)	0,34
Av. Lancia	9	13	126	<i>Platanus x hispanica</i> (38) <i>Symphoricarpos albus</i> (20)	<i>Platanus x hispanica</i> (0,08)	0,09
Papalaguinda	17	33	876	<i>Platanus x hispanica</i> (427) <i>Ligustrum japonicum</i> (159)	<i>Platanus x hispanica</i> (0,11) <i>Populus alba</i> (0,05)	0,2

Se realizaron un total de 70 preparaciones de referencia, 44 de diferentes tipos polínicos de plantas ornamentales, 20 de hongos y 6 de musgos. Las preparaciones de los hongos fueron en su mayoría líquenes (15 especies) y hongos no liquenizados (5). El bajo número de musgos analizados se debe a la ausencia de esporófito cerrado durante el periodo de estudio.

En cuanto a la encuesta realizada, el número total de participantes fue de 160 personas (63,1% mujeres y 36,3% hombres). Los grupos de edades fueron diversos, siendo el grupo mayoritario el comprendido en la franja de edad de 45-65 años y una clara infrarrepresentación del grupo de edad entre 18 y 25 años, con solo un 4,4% (Fig. 2).

Figura 2. Porcentaje de participación de los diferentes grupos de edad en la encuesta

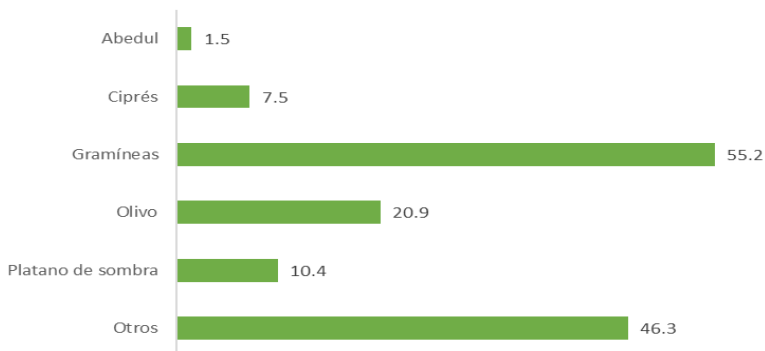


Nota: Los rangos de edad establecidos son: 18-25 años (●); 26-35 años (●); 35-45 años (●); 46-65 años (●); >65 años (●)

De los encuestados, la mayoría asegura no presentar síntomas de alergia (60,6%), mientras que un 39,4% afirma tener síntomas de polinosis durante alguna época del año. Además, un 41,3% de los usuarios que dicen presentar síntomas de polinosis testifican no haber sido diagnosticados como alérgicos por un profesional médico.

De las personas que afirman tener síntomas de alergia, más de la mitad de los encuestados dice estar sensibilizado al polen de gramíneas y un 46,3% reconoce estar sensibilizado a otros tipos polínicos que no se corresponden con los taxones que más aportan al valor del índice de alergenidad de zonas verdes urbanas (Fig. 3).

Figura 3. Porcentaje de sensibilización a diferentes taxones de acuerdo a las respuestas obtenidas de los encuestados que afirman tener síntomas de alergia

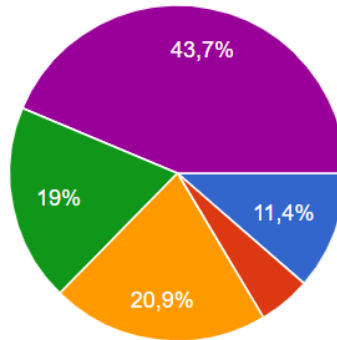


De los encuestados, la mayoría asegura no presentar síntomas de alergia (60,6%), mientras que un 39,4% afirma tener síntomas de polinosis durante alguna época del año. Además, un 41,3% de los usuarios que dicen presentar síntomas de polinosis testifican no haber sido diagnosticados como alérgicos por un profesional médico.

De las personas que afirman tener síntomas de alergia, más de la mitad de los encuestados dice estar sensibilizado al polen de gramíneas y un 46,3% reconoce estar sensibilizado a otros tipos polínicos que no se corresponden con los taxones que más aportan al valor del índice de alergenicidad de zonas verdes urbanas (Fig. 3).

Es importante destacar que tan solo un 14,8% de los usuarios de los parques reconocen las plantas potencialmente alergénicas y que el 68% reconoce algunas (pocas) de las especies que son catalogadas como alergénicas. No obstante, el 43,7% de los encuestados cree que sería interesante conocer el potencial alergénico del parque del que son usuarios (Fig. 4). Estos datos están en línea con los obtenidos en la pregunta de si sería conveniente realizar sesiones informativas para conocer en qué época el parque puede suponer un riesgo para una persona alérgica.

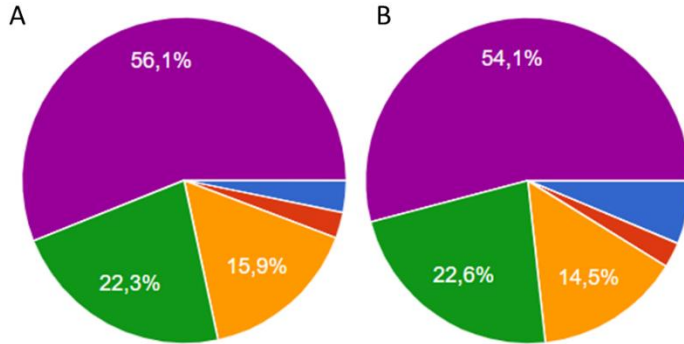
Figura 4. Porcentaje de interés en conocer el potencial alergénico del parque del que son usuarios



Nota: Interés mínimo (●); interés medio-bajo (●); interés medio (●); interés medio-alto (●); interés máximo (●)

La mayoría de las personas que realizaron la encuesta están a favor de que el potencial alergénico de las plantas que conforman las zonas verdes urbanas se tenga en cuenta para la planificación de estas (Fig. 5A). Del mismo modo, el 76,7% de los encuestados cree que sería notablemente útil realizar estudios del potencial alergénico de las zonas verdes urbanas en su ciudad (Figura 5B).

Figura 5. A) Porcentaje de interés en tener en cuenta el potencial alergénico de las plantas en la planificación de zonas verdes. B) Porcentaje de personas que creen útil llevar este tipo de estudios en su población



Nota: Interés mínimo (●); interés medio-bajo (●); interés medio (●); interés medio- alto (●); interés máximo (●)

En la encuesta entregada al estudiante al final del proyecto, con el fin de conocer cuál es su percepción sobre el proyecto ApS, este lo califica como muy interesante, otorgando la máxima puntuación a la experiencia. Además, en lo referente al aprendizaje académico durante el desarrollo del trabajo, el estudiante afirma haber adquirido y aumentado sus conocimientos y habilidades en botánica tales como: mejora en el uso de claves de identificación, reconocimiento de caracteres taxonómicos de polen y esporas, mejora de las habilidades de laboratorio y manejo del microscopio. Por lo que el estudiante califica la experiencia de aprendizaje del proyecto como “muy buena” y además añade “el poder llevar los conocimientos teóricos a un contexto práctico ha facilitado la retención de estos y ha aumentado las ganas de seguir aprendiendo con el fin de obtener mejores resultados”.

En cuanto a la parte de servicio social, el estudiante ha calificado con máxima nota “muy buena” la experiencia y ha testificado: “los conocimientos en botánica y palinología son muy necesarios para la planificación de las zonas verdes, porque la sociedad debe tener en cuenta que diariamente interactuamos con plantas y hongos, los cuales tienen un efecto sobre nuestra salud”. Además, el estudiante percibe que la sociedad tuvo una muy buena aceptación del trabajo que estaba llevando a cabo, no solo por los datos obtenidos una vez realizadas las encuestas, sino también por como la gente se dirigía a él cuando le daba la encuesta y el interés que mostraban mientras la hacían.

Por último, el estudiante reconoce que repetiría la experiencia con este proyecto, ya que percibe que puede aplicar sus conocimientos teóricos de una forma muy práctica y que puede ser una vía laboral que le gustaría explotar.

DISCUSIÓN

Las zonas verdes analizadas mostraron una baja diversidad botánica a pesar de que el número de individuos que las componen es alto. Esto es especialmente llamativo en el paseo de Papalaguinda y el parque de san Francisco, en el que más de la mitad de los individuos pertenece a una sola especie. Esta limitada variedad no solo reduce los beneficios ecológicos que deberían tener estos espacios, sino que también supone un riesgo para la salud de las personas alérgicas, ya que durante ciertos periodos estas zonas se comportan como fuentes de emisión de grandes cantidades de polen monoespecífico, exacerbando la sintomatología (Cariñanos et al., 2017; Suanno et al., 2021). Además, muchas de las especies identificadas pertenecen a las mismas familias botánicas, lo que aumenta la probabilidad de que los síntomas de alergia en personas sensibles se produzcan fuera del periodo habitual o durante periodos de tiempo más extensos, debido a la existencia de reacciones cruzadas entre especies. Este proceso es muy habitual entre especies pertenecientes a familias como Betulaceae, Cupressaceae y Oleaceae, que son de las más abundantes en las zonas analizadas (Cariñanos y Marinangeli, 2021).

En cuanto a los valores del índice alérgico obtenidos para cada zona verde analizada, el parque de correos fue el que presentó el índice más alto, debido principalmente al gran número de Bétulas que hay plantadas. El polen de este género es uno de los principales aeroalérgenos en Europa y norte de España (Bousquet et al., 2007), por lo que sería recomendable no plantar un gran número de individuos de este género en las zonas urbanas. El resto de los parques analizados presentaron valores del índice muy inferiores al de correos, siendo la especie que mayor contribuye al aumento del índice el plátano de sombra. Este taxón es comúnmente usado en todas las ciudades dada su resistencia a las condiciones ambientales urbanas. No obstante, es considerado una especie con un potencial alérgico elevado que afecta entorno al 10% de las personas alérgicas (Fernández-González, Guedes, Abreu, y Rodríguez-Rajo, 2013).

Por otra parte, el bajo índice obtenido en el paseo de Papalaguinda y la avenida Lancia, a pesar del gran número de plátanos de sombra que se contabilizaron, se debe a que estos presentan un volumen de copa muy pequeño, resultado de las podas regulares que se llevan a cabo en la ciudad, lo que disminuye significativamente la cantidad de polen emitido. El efecto de las podas sobre el valor del índice alérgico también se puede observar en el parque de correos, en el que a pesar de haber un gran número de individuos de *Ligustrum japonicum*, especie altamente alérgica (Cariñanos y Marinangeli, 2021), estos no contribuyen significativamente al índice debido a su pequeño tamaño.

Todo esto no solo evidencia la importancia de la implicación de botánicos en la selección de las especies que conforman la estructura verde de las ciudades, sino que

su adecuado mantenimiento y gestión es esencial para mejorar la calidad de vida de los usuarios de estas zonas y de los habitantes de la ciudad.

Los datos obtenidos de la encuesta realizada a los usuarios del parque muestran valores de prevalencia en concordancia con lo estimado por otros autores en Europa, sugiriendo entre un 30-40% de población alérgica (D'Amato et al., 2007). Sin embargo, cabe destacar que alrededor del 40% de los encuestados que dicen tener alergia no han sido diagnosticados por un médico, lo que destaca que hay una infravaloración de esta enfermedad y que es posible que parte de estas personas se automediquen. Por lo que esto resalta la necesidad de llevar a cabo campañas de concienciación para que las personas se hagan pruebas de alergia y conozcan los alérgenos a los que son sensibles para una mejor prevención de la exposición.

Los resultados también demuestran que el aeroalérgeno más común es el polen de gramíneas, lo que está en concordancia con los resultados de otros autores (D'Amato et al., 2007). El bajo porcentaje de sensibilización obtenido para *Betula* y *Olea*, los cuales son dos de los alérgenos más importantes en Europa y en las áreas mediterráneas respectivamente (D'Amato et al., 2007), es llamativo. Aunque estos resultados se pueden deber al alto porcentaje de gente sin diagnosticar y a que la mayoría de los encuestados afirmaron no reconocer la mayoría de las plantas que se encontraban en los parques. Todo esto también advierte de la importancia de llevar a cabo campañas de educación social sobre el reconocimiento de especies alérgicas.

La realización de este tipo de campañas de concienciación sirve para que los alumnos primero, afiancen todo lo que han aprendido de la Botánica y luego, se den cuenta de lo invisible que es para la ciudadanía, aunque sean cuestiones tan importantes que afecten a su salud. El alumno actúa como receptor de la información y como emisor de la misma con el fin último de dar visibilidad al mundo botánico que nos rodea y educar al cuidado en aspectos relacionados con su salud. Esto podría resultar relativamente sencillo dado el notable interés social que se percibe por los datos recogidos en la encuesta. Por otro lado, la realización de este tipo de estudios mejoraría las zonas verdes urbanas, haciéndolas más saludables y accesibles, consiguiendo así el punto 11 que se plantea en los ODS.

Los datos obtenidos en la encuesta justifican este ApS, verifican la ceguera vegetal que existe actualmente entre la población y demuestran que la sociedad demanda información para conocer el impacto que las plantas y los hongos tienen en la vida cotidiana. Asimismo, estos datos resaltan el papel fundamental de la universidad en la educación de la sociedad fuera de las aulas y avalan la importancia de los conocimientos teóricos que se imparten al alumnado (Ruiz-Montero et al., 2022).

Por último, la autoevaluación realizada por el estudiante destaca el beneficio que tiene el desarrollo de los proyectos Ap-S tanto en el aprendizaje de los conceptos

teóricos de una determinada asignatura como en el fomento de su sentido de responsabilidad social, siendo consciente del impacto positivo de su trabajo en la comunidad (García-Rico, Martínez-Muñoz, y Santos-Pastor, 2021).

CONCLUSIONES

Este proyecto ApS no solo ha permitido evaluar el estado actual del potencial alergénico que tienen los espacios verdes urbanos, sino que también ha generado conciencia en el estudiantado involucrado y en la comunidad sobre la importancia de una adecuada selección de las diferentes especies que componen la estructura verde de las ciudades. Además, el alumnado involucrado ha reflexionado sobre la importancia del conocimiento botánico básico y su aplicación social. Por último, los resultados obtenidos pueden servir de base para futuras políticas públicas de mejora de las zonas verdes urbanas como respuesta al punto 11 de los ODS.

REFERENCIAS

- Aramburuzabala, P., Cerrillo, R., y Tello, I. (2015). Aprendizaje-servicio: una propuesta metodológica para la introducción de la sostenibilidad curricular en la universidad. *Profesorado: Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 1. doi:1989-639X
- Bousquet, P.J., Chinn, S., Janson, C., Kogevinas, M., Burney, P., y Jarvis, D. (2007). Geographical variation in the prevalence of positive skin tests to environmental aeroallergens in the European Community Respiratory Health Survey I. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 62(3), 301–309. doi:10.1111/j.1398-9995.2006.01293.x
- Cariñanos, P. y Marinangeli, F. (2021). Urban Forestry y Urban Greening: An updated proposal of the Potential Allergenicity of 150 ornamental trees and shrubs in Mediterranean cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 63, 127218. doi:10.1016/j.ufug.2021.127218
- Cariñanos, P., Casares-Porcel, M., Díaz de la Guardia, C., Aira, M. J., Belmonte, J., Boi, M., ... Vega Maray, A.M. (2017). Assessing allergenicity in urban parks: A nature-based solution to reduce the impact on public health. *Environmental Research*, 155(March), 219–227. doi:10.1016/j.envres.2017.02.015
- Comisión Europea. (2019). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo europeo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones: El pacto verde. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1576150542719&yuri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>.
- D'Amato, G., Cecchi, L., Bonini, S., Nunes, C., Annesi-Maesano, I., Behrendt, H., ... Van Cauwenberge, P. (2007). Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 62(9), 976–990. doi:10.1111/j.1398-9995.2007.01393.x
- Fernández-González, M., Guedes, A., Abreu, I., y Rodríguez-Rajo, F.J. (2013). Pla a_1 aeroallergen immunodetection related to the airborne *Platanus* pollen content. *Science of the Total Environment*, 463–464, 855–860. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.062
- Fernández-Salegui, A.B., Rodríguez, S., Alfaro-Saiz, E., Vega Maray, A.M., y Acedo Casado, C. (2023). El uso del entorno inmediato en educación superior. *Cuadernos de Pedagogía*, 546.

García-Rico, L., Martínez-Muñoz, L.F., y Santos-Pastor, M.L. (2021). Service-learning in physical education teacher education: A pedagogical model towards sustainable development goals. *Sustainable Development Goals*, 22(4), 747–765. doi:10.1108/IJSHE-09-2020-0325

Ibarrola-García, S. y Artuch, R. (2016). La docencia en la universidad y el compromiso social y educativo. *Contextos Educativos: Revista de Educación*, 19, 105–120. doi:10.18172/con.2763

López-Fernández, I. y Benítez-Porres, J. (2018). El aprendizaje-servicio en la universidad: Una experiencia en el marco de una asignatura del grado en Educación Primaria. *REDU: Revista de Docencia Universitaria*, 16(2), 195–210. doi:10.4995/redu.2018.10587

Rodríguez Fernández, A., Oteros, J., Vega-Maray, A.M., Valencia-Barrera, R.M., Galán, C., y Fernández-González, D. (2022). How to select the optimal monitoring locations for an aerobiological network: A case of study in central northwest of Spain. *Science of the Total Environment*, 827, 154370. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154370

Ruiz-Montero, P., Santos-Pastor, M.L., Martínez-Muñoz, L.F., y Chiva-Bartoll, O. (2022). Influencia del aprendizaje-servicio universitario sobre la competencia profesional en estudiantes de titulaciones de actividad física y deporte. *Educación XX1*, 25(1), 119–141. doi:10.5944/educXX1.30533

Suanno, C., Aloisi, I., Parrotta, L., Fernández-González, D., y Del Duca, S. (2021). Allergenic risk assessment of urban parks: Towards a standard index. *Environmental Research*, 200, 111436. doi:10.1016/j.envres.2021.111436

CAPÍTULO 29

INNOVACIÓN EN EDUCACIÓN: BIOMARATÓN EN ACCIÓN

ESTRELLA ALFARO SAIZ*, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ*,
ANA PAULA MELERO CASTELLOT**, CLARA RUBIO REINARES**, CARMEN ACEDO*,
RAÚL LOIS MADERA*, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ*,
RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ*, ANA MARÍA VEGA MARAY*, Y
ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI*

**Universidad de León; ** Estudiante Biología en León*

INTRODUCCIÓN

En un contexto de una universidad implicada con la transferencia de conocimientos hacia la sociedad, los estudiantes son uno de los pilares de apoyo más sólidos y comprometidos, además de ser quienes garanticen el relevo científico y académico. Las actividades de Aprendizaje-Servicio (ApS) significan una apertura de las puertas del aula, que no solo contribuye al aprendizaje de los estudiantes y la adquisición de competencias, sino al entusiasmo por aprender sobre una temática de una manera diferente e, incluso, fascinante. Este sistema no se orienta solamente a los contenidos y metas, sino que se centra en los procesos de adquisición y construcción del conocimiento (Huber, 2008) y fomenta la capacidad de docentes y estudiantes de interactuar como iguales, subrayando la interconexión y reciprocidad entre ellos, ya que se actúa como una comunidad de co-aprendices, co-educadores y co-generadores de conocimiento (Bringle, Hatcher, y McIntosh, 2006; Felten y Clayton, 2011; Saltmarsh y Hartley, 2011). Además, las actividades de ApS refuerzan la responsabilidad y el compromiso, no solo con la sociedad, sino con problemas y retos reales que les atañen a ellos mismos, como la conservación de la biodiversidad, el respeto por el medio ambiente y por todas sus formas de vida y la sostenibilidad del planeta Tierra. Si la sociedad está alterando de diversas maneras las condiciones límite de su propia existencia, es esencial cambiar sus instituciones, relaciones, valores y prácticas (Castree, 2017), En este sentido las universidades son relevantes a la hora de provocar un cambio en un paradigma como el actual, sobre la forma en que los seres humanos se relacionan con la naturaleza (Hernández-Barco et al., 2020; Zamora-Polo y Sánchez-Martín, 2019). Estos autores señalan, además, que el desarrollo sostenible no puede enseñarse como contenido tradicional en educación superior, destacando precisamente las estrategias de ApS como una herramienta particularmente adecuada por su contexto curricular, por su posibilidad de desarrollar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y por sus implicaciones en el mundo real.

En relación a este planteamiento, el Biomaratón de Flora Española (BFE) representa una oportunidad para que los estudiantes se involucren en una acción cuyo objetivo principal se alinea con el de toda la sociedad botánica: la lucha contra la “ceguera botánica” (Allen, 2003; Wandersee y Schussler, 1999), relacionada con la pérdida de biodiversidad, una de las grandes crisis planetarias. Este concepto incluye la idea de que si la sociedad no es consciente de la convivencia con otros organismos, no va ser partícipe de su conservación. El BFE es un proyecto enmarcado en la denominada ciencia ciudadana (Irwin, 2002), concepto que, desde sus orígenes, explora los roles de los ciudadanos no especializados en la toma de decisiones científicamente informadas y en la gestión del medio ambiente. En este sentido, este proyecto se incluye en la categoría de proyecto contributivo, donde los participantes colaboran en la recopilación de datos (Follett y Strezov, 2015). No obstante, comprometidos con el importante y, sin embargo, poco representado papel de la ciencia y la tecnología en la sociedad y, con ánimo de reivindicar la necesidad de que los proyectos incluidos en la llamada ciencia ciudadana realmente cumplan con la calidad y los procedimientos de validación que garanticen su fiabilidad y valor científico, vamos a referirnos a esta corriente con el término de colaboración ciudadana con la ciencia o participación ciudadana. Con ello, no pretendemos menospreciar ni criticar el valor de una sociedad formada y comprometida, algo que es indispensable y para lo que estamos trabajando desde el grupo de investigación e innovación docente. Lo que sí pretendemos es señalar el marco teórico en el que nos situamos y enfatizar el papel de la ciencia, aislándola de términos que pueden conllevar prácticas que afectan a su objetividad. En el caso que nos ocupa, por ejemplo, los ciudadanos no están implicados en todo el proceso científico, sino en una parte del mismo, por lo que la calidad y el uso de los resultados queda relegado al papel del investigador y el acompañamiento durante la capacitación de los ciudadanos.

En este marco teórico, este evento es la mayor actividad de participación ciudadana de España. Cualquier persona, cámara en mano, acude a la llamada anual que convoca la Sociedad de Botánica Española (Biomaratón de Flora Española, 2023) para, no solo immortalizar la flora de su entorno, sino para conocerla de mano de expertos y contribuir, además, a alimentar una base de datos de biodiversidad - iNaturalist-, susceptible de ser utilizada en contextos académicos, científicos y técnicos (Márquez-Corro et al., 2021). Cuando se corrobora la calidad de una observación registrada en iNaturalist, el dato se transfiere a bases de datos de consulta pública (repositorios de biodiversidad), como la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, 2024). Los datos de participación cada año han sido mayores, demostrando así el éxito de este tipo de eventos, coordinados y realizados por voluntarios. La cuarta edición de 2024 superó con creces las expectativas de los organizadores, llegando a participar un total de 1.667

observadores que registraron 40.317 observaciones a la plataforma iNaturalist, de las cuales, más del 57% adquirieron el “grado de investigación” (Figura 1).

Figura 1. Estadística de los datos del proyecto IV edición del Biomaratón de Flora Española en la plataforma iNaturalist (Anón, 2024)



Hasta la fecha, son alrededor de 100 instituciones las que han apoyado y divulgado el Biomaratón y, entre dichas instituciones, se encuentran varios centros educativos tales como universidades, institutos de educación secundaria y entidades de educación ambiental, entre otros. Tras cuatro ediciones consecutivas, algunos de los docentes implicados han diseñado propuestas didácticas alrededor de este proyecto o inspiradas en su realización (Blanco, Tortonda, y Gullón, 2023; Rubiales et al., 2023).

Dada la propia naturaleza participativa del evento y, basándonos en nuestra experiencia previa del equipo, consideramos la oportunidad de presentar esta edición como un proyecto de ApS en el que se implicara a estudiantes en un proceso de colaboración y co-creación de actividades. Para abordar los objetivos de este proyecto, además de contar con los investigadores en formación del Área, se contactó con la asociación de estudiantes de Biología y Ciencias Ambientales, Bioma. El objetivo de esta asociación es el de organizar y coordinar talleres, cursos y salidas al campo, además de conectar estudiantes con intereses similares.

Finalmente, bajo el nombre de “BIOMA-ratón” y en el contexto del VI BFE se desarrollaron una serie de propuestas con la participación de estudiantes, investigadores y docentes. Este trabajo pretende presentar este proyecto de ApS que nos ha servido, no solo como actividad piloto para introducir a los estudiantes en el

BFE y cumplir con los objetivos nacionales, sino también para detectar carencias y posibles mejoras de cara a su replicación en las posteriores ediciones y plantear mejoras para su implementación en futuras ediciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto de ApS desarrollado en el marco de la IV edición del BFE de 2024, se coordinó por el Grupo de Innovación Docente ACBoCo en colaboración con la asociación Bioma y otros participantes del Área de Botánica de la Universidad de León. Participaron en la actividad tres estudiantes del grado en Biología y dos investigadores en formación que, unidos al equipo de investigadores y docentes, sumaron un total de 15 voluntarios en las actividades programadas. Tres de los cinco estudiantes ya habían participado en las actividades del Biomaratón en ediciones anteriores.

De manera conjunta, entre todos los actores implicados, se decidió realizar tres salidas botánicas abiertas al público en general (Figura 2) y se diseñaron tres itinerarios y la cartelería. La coordinación general con el proyecto nacional la realizaron los investigadores y docentes, mientras que las inscripciones y la comunicación con los participantes se llevó a cabo desde los miembros de la asociación.

Figura 2. Carteles de las tres actividades desarrolladas durante el Proyecto de Aprendizaje-Servicio “BIOMA-ratón”



Todos los miembros del equipo actuaron como expertos, explicando a los participantes el proyecto y su contexto y asistiéndolos en el uso de la aplicación, la creación de usuarios y solventando dudas, asistiendo en campo a la resolución de los problemas inherentes a cada usuario y/o dispositivo o sus configuraciones personales. Tras la puesta a punto inicial de los dispositivos, se ayudó a los participantes a realizar las fotografías de manera adecuada y se les proporcionaron las pautas para que estos enfocaran sus cámaras hacia los caracteres diferenciales clave para la correcta asignación de un nombre científico. Estas pautas son necesarias para que las observaciones de la aplicación puedan ser validadas por los expertos en cada grupo taxonómico posteriormente, uno de los puntos fuertes del funcionamiento del proyecto de participación ciudadana BFE. Por supuesto, todo el equipo, en mayor o menor medida, proporcionó ayuda en la identificación de los grupos botánicos, ayudando a identificar en campo familias y/o especies, en cada caso. Para finalizar la actividad, se sortearon varios regalos entre los participantes, lupas, camisetas, guías de orquídeas y guías de campo del territorio de León.

Para evaluar el grado de satisfacción tanto de los participantes, como de los estudiantes, se elaboró una encuesta a través de Google Forms.

RESULTADOS

La IV edición del BFE de 2024, se celebró entre los días 16 y 19 de mayo. La primera sesión se llevó a cabo el día 16 de mayo en horario de mañana, de 10 a 12 horas, en la Zona Natural de Esparcimiento del Monte San Isidro, a las afueras de la ciudad de León. La actividad contó con un total de 18 asistentes entre organizadores (BIOMA y ULE) y participantes, todos ellos adultos.

La segunda sesión se llevó a cabo el día 16 de mayo en horario de tarde, de 17 a 19 horas, en el Parque de la Candamia. En esta ocasión, contamos con 24 asistentes entre organizadores y participantes. Los participantes fueron en su mayoría adultos, 3 niños y 5 estudiantes, parte de ellos acompañados por su maestra.

La tercera sesión se realizó el día 18 de mayo en el entorno privilegiado de Vivero de Omaña, en colaboración con la Reserva de la Biosfera de los Valles de Omaña y Luna (RBVOyL) y el Ayuntamiento de Murias de Paredes. Se ofreció la posibilidad a los asistentes de acudir a la actividad en un autobús desde León. Asistieron 33 personas, entre organizadores y participantes.

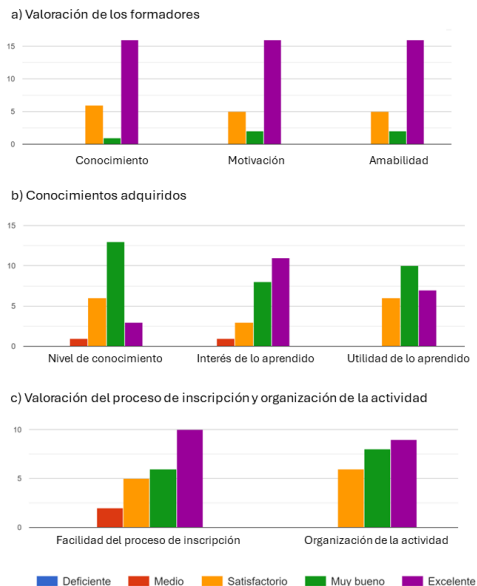
En conjunto, todas las sesiones tuvieron una buena acogida por parte de los participantes, lo que se reflejó en el número de asistentes (Figura 3) y en las respuestas que estos dieron a los formularios (Figuras 4 y 5) mostrándose, además, muy participativos. Cabe destacar la diversidad de perfiles entre los asistentes, desde estudiantes de primaria, secundario y grado a trabajadores y personas jubiladas, que oscilaban entre los 8 y los 70 años. La asistencia no fue total debido a las previsiones

meteorológicas no favorables. Se puso el foco en la diversidad de plantas del entorno, destacando algunas orquídeas urbanas, plantas medicinales y comestibles y, además, se hizo hincapié en aquello que no podían obtener a través de la aplicación móvil, pero sí en las actividades, como los olores de la madreSelva o Lonicera y del saúco o Sambucus y el sabor de las hojas de Sanguisorba.

Figura 3. Collage de imágenes tomadas durante las actividades de “BIOMA-ratón”



Figura 4. Resultados obtenidos a partir de las encuestas realizadas a los participantes en las diferentes actividades a) Valoraciones de los formadores. b) Conocimientos adquiridos. c) Valoraciones del proceso de inscripción y organización de la actividad



En todos los casos, la comunicación y las explicaciones técnicas se adaptaron a los distintos perfiles de los participantes, manteniendo un equilibrio entre el rigor científico y la accesibilidad.

Pese a que el número de estudiantes no es suficiente como para extraer conclusiones, el análisis de sus respuestas al cuestionario nos permite conocer su opinión y establecer las bases para mejorar la actividad en ediciones posteriores. Como aspecto positivo, sus respuestas muestran que, por un lado, los estudiantes que participaron valoraron como muy alto su aprendizaje y satisfacción con la labor desempeñada. Sin embargo, la heterogeneidad de las respuestas cuando se les preguntó el nivel de conocimiento adquirido sobre aspectos botánicos muestra que existe un margen de mejora. Todos los estudiantes repetirían la actividad y se lo recomendarían a sus compañeros.

Los resultados obtenidos en este proyecto de ApS también reflejan un avance significativo en el desarrollo de diversas competencias básicas y específicas, además de otras competencias transversales, tal como se detalla en la Tabla 1. Las actividades llevadas a cabo durante el Biomaratón permitieron a los estudiantes aplicar conocimientos teóricos en un entorno práctico, utilizando un lenguaje técnico, lo que favorece el desarrollo de habilidades comunicativas, la resolución de problemas y el trabajo en equipo, entre otras. La Tabla 2 muestra las asignaturas del plan de estudios de los Grados en Biología y Ciencias Ambientales de la Universidad de León que se alinean con esta propuesta, reforzando la relevancia del proyecto en el marco académico.

Tabla 1. Competencias trabajadas durante el desarrollo de la actividad de Aprendizaje-Servicio “BIOMA-ratón” para los grados universitarios de Biología y Ciencias Ambientales de la Universidad de León

Competencias básicas	
Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.	
Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.	
Competencias generales	
Utilizar correctamente la terminología específica de la disciplina	
Competencias transversales	
Instrumentales	Capacidad de organización y planificación
Instrumentales	Comunicación oral y escrita
Instrumentales	Solución de problemas
Instrumentales	Toma de decisiones
Instrumentales	Habilidad de comunicación
Personales	Trabajo en equipo
Personales	Razonamiento crítico
Personales	Compromiso ético
Competencias específicas	
Biología	Niveles de organización en los sistemas vivos. Obtención, manejo e identificación de organismos.
Biología	Identificación y análisis de material de origen biológico y sus anomalías.
Biología	Principios básicos de la profesión de biólogo. Normativa y reglamentación. Bioética.
Ciencias Ambientales	Conocer y comprender la diversidad del mundo botánico con especial dedicación a los grupos de mayor interés en estudios de medio ambiente, inventarios de comunidades vegetales, especies amenazadas o bioindicadores.
Ciencias Ambientales	Conocer y manejar los medios de identificación de aquellos especímenes botánicos de interés medioambiental.

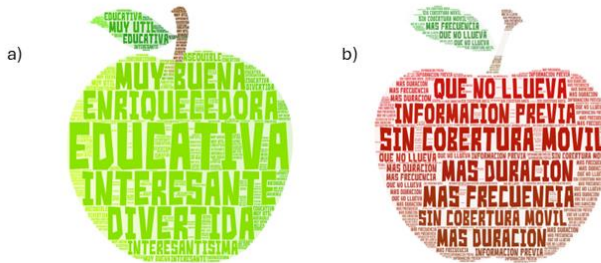
Tabla 2. Principales asignaturas relacionadas con la actividad de Aprendizaje-Servicio “BIOMA-ratón” para los grados universitarios de Biología y Ciencias Ambientales

Grado	Asignatura	Curso	Tipo Formación
Ciencias Ambientales	Botánica	1º	Básica
Ciencias Ambientales	Gestión de Flora	3º	Obligatoria
Ciencias Ambientales	Geobotánica	4º	Optativa
Biología	Botánica Fundamental	2º	Obligatoria
Biología	Botánica Avanzada y Aplicada	3º	Obligatoria
Biología	Bioclimatología y vegetación	4º	Optativa
Biología	Biología de la Conservación	4º	Optativa

En relación con la adquisición de competencias y, como valoración del trabajo de los estudiantes (formadores en la encuesta), se analizaron las respuestas de 23 participantes, que fueron los que respondieron a la encuesta. El 26% ya había

participado en ediciones anteriores del BFE y todos ellos repetirían la actividad y la recomendarían a familiares y amigos. Además, todos ellos valoraron positivamente (fig.4) el conocimiento, motivación y amabilidad de los formadores (estudiantes de Bioma y participantes en la actividad de ApS), siendo excelente la valoración mayoritaria. En cuanto a los conocimientos adquiridos en la actividad, la mayor parte de ellos lo valoró positivamente. Por último, se recogieron las opiniones de los participantes (fig. 5) que, por un lado, nos permitió relacionar las palabras resumen con palabras relacionadas con la educación, pero también con la diversión y por otro lado, comprender qué mejoras podemos aplicar de cara a los asistentes en las próximas ediciones.

Figura 5. a) Nube de palabras realizada a partir de una palabra resumen de la actividad. b) Nube de palabras realizada a partir de las propuestas de mejora de las actividades



DISCUSIÓN

La participación de los estudiantes en proyectos como el Biomaratón de Flora Española (BFE) dentro de un marco de Aprendizaje-Servicio (ApS) ha demostrado ser una herramienta eficaz, no solo para alcanzar los objetivos del proyecto a nivel nacional, sino también para trabajar una serie de competencias fundamentales en la formación de los estudiantes. Acorde con lo expuesto por Rubiales Jiménez et al. (2023) este tipo de actividades fomentan el aprendizaje basado en la investigación autónoma y la exploración al aire libre y ofrece oportunidades de transferibilidad de esta experiencia a temáticas y asignaturas con contenidos botánicos.

A pesar de que en esta edición contamos con un grupo reducido de estudiantes, es importante destacar que, al representar una tercera parte del equipo, su implicación ha sido clave para garantizar la co-creación de conocimiento. Este es un aspecto fundamental para asegurar un aprendizaje significativo, como señalan autores como Bringle et al. (2006), así como, Felten y Clayton (2011).

Si bien la participación de solo cinco estudiantes podría parecer limitada, el contexto de la actividad permite que este reducido número sea una ventaja en

términos de coordinación y acompañamiento por parte del equipo docente e investigador. Sin embargo, de cara a futuras ediciones, sería deseable que un mayor número de estudiantes de diferentes titulaciones pudiera integrarse en el proyecto. Esto podría lograrse mediante una convocatoria más amplia dirigida a toda la comunidad universitaria. Consideramos que una mayor participación no solo enriquecería el proyecto, sino que también ofrecería una oportunidad única para que más estudiantes adquirieran competencias fundamentales, como la organización, el trabajo en equipo y la toma de decisiones en entornos colaborativos. Proponemos abrir la actividad, integrando a un mayor número de estudiantes y de titulaciones (incluyendo, por ejemplo, a los estudiantes del Máster Universitario en Investigación en Diversidad Botánica y Zoológica).

En relación con el aprendizaje botánico, los resultados obtenidos reflejan que existe un margen de mejora en cuanto al conocimiento adquirido por los estudiantes. En nuestro caso particular, aunque la satisfacción general fue muy alta, la heterogeneidad en las respuestas sugiere que, tanto algunos estudiantes como en el caso de los asistentes, no percibieron una mejora significativa en su nivel de conocimiento botánico, lo cual podría deberse a su nivel inicial o a las diferencias en el enfoque de la actividad. Para futuras ediciones, consideramos que sería útil implementar materiales didácticos complementarios o estrategias diferenciadas que permitan a los participantes con menos conocimientos previos avanzar de manera más eficaz, guiados por los que tengan una mejor base de conocimiento. La participación en actividades como el BFE proporciona a los estudiantes un entorno para la integración de conocimientos interdisciplinarios, lo cual es esencial para su formación profesional. Además, el público participante asigna un rol de formadores a los estudiantes y, según los resultados obtenidos, valora positivamente el conocimiento adquirido, además de la preparación de la actividad.

La colaboración ciudadana en la ciencia, como eje de este proyecto, ha mostrado ser una herramienta valiosa dentro del contexto educativo, pero también para la mejora del conocimiento de la biodiversidad y su conservación. La toma de datos en un proceso científico puede aumentar la comprensión y la confianza del público en cómo se lleva a cabo la investigación científica y los objetivos que persigue, lo que puede disminuir sus dudas o escepticismo sobre la ciencia (Follett y Strezov, 2015). Sin embargo, la calidad de los datos en este tipo de iniciativas puede ser variable (Follett y Strezov, 2015). En este sentido, el propio diseño de la actividad intenta evitar los riesgos epistémicos que pueden relacionarse con estas propuestas (Bedessem y Ruphy, 2020) y que son inherentes a que la ciencia depende de métodos rigurosos y precisos para generar conocimientos fiables y objetivos. Si los datos recogidos tienen errores debido a la falta de formación o comprensión de los participantes, la credibilidad de las conclusiones científicas podría verse afectada

(López-Guillén et al., 2024). En el contexto del Biomaratón, la validación de las observaciones y la calidad de los datos han sido aspectos prioritarios, pero que están sujetos a las limitaciones de los métodos utilizados. De hecho, el esfuerzo del equipo nacional para recoger pautas a la hora de registrar observaciones (López-Guillén et al., 2024), la generación de infografías destinadas a la preparación de los participantes y los eventos virtuales datablitz, centrados en la identificación de grupos de plantas (Biomaratón de Flora Española, 2023) son una de las bases que rigen el proyecto. No obstante, estos resultados se ven limitados por la capacidad real de identificar organismos a partir de imágenes o la validación por expertos que no han sido avalados previamente. Creemos que en futuras ediciones sería importante fortalecer aún más los mecanismos de control de calidad, lo que podría mejorar la precisión y la eficiencia en la validación de los datos, tal y como señalan López-Guillén et al. (2024). De esta forma, no solo se garantizaría la fiabilidad de la información recopilada, sino que también se contribuiría a aumentar el valor científico del proyecto. En este sentido, estudiantes bien formados y un alto ratio de participación de los mismos en las actividades, frente al número de participantes, podría ser un factor clave de mejora en una estrategia de dotar de una mejor capacitación a los ciudadanos.

Por otro lado, cabe destacar el impacto social del Biomaratón. A través de este proyecto, los estudiantes y participantes no solo adquieren conocimientos científicos, sino que también se genera un fuerte sentido de comunidad y responsabilidad social. La participación activa en la conservación de la biodiversidad local no solo es un ejercicio académico, sino una contribución real al bienestar de la sociedad y a la sostenibilidad del medio ambiente. En este sentido, el proyecto se compromete con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente con la educación de calidad y con la conservación de la vida de los ecosistemas terrestres. Ampliar la participación de la sociedad y de los estudiantes en iniciativas como ésta refuerza la conexión entre el conocimiento científico y su aplicación práctica en la preservación del entorno (Hernández-Barco et al., 2020). Somos conscientes de la importancia que tiene la divulgación de los conocimientos científicos a la sociedad de manera que la ciencia y, más concretamente, la biología de la conservación se conviertan en un conductor de comportamientos hacia el respeto de los ecosistemas y los seres no humanos con los que convivimos.

Finalmente, es importante destacar que, aunque los resultados obtenidos de las encuestas reflejan una opinión positiva por parte de los estudiantes y los participantes, el reducido número de respuestas no nos permite extraer conclusiones generalizables. No obstante, este análisis preliminar nos proporciona una base sólida para mejorar la actividad en ediciones futuras.

CONCLUSIONES

El Biomaratón de Flora Española ha demostrado ser una herramienta educativa de gran valor, tanto para los estudiantes como para la sociedad en general. A través de la colaboración ciudadana en la toma de datos de biodiversidad y la metodología experiencial del Aprendizaje-Servicio, hemos logrado que, tanto los estudiantes como los participantes se involucren de manera activa en el conocimiento de la biodiversidad vegetal y la conservación de su entorno inmediato, mientras que los estudiantes, además, adquieren competencias clave para su futuro profesional. Con la experiencia adquirida a través de la participación en las diferentes ediciones y con las mejoras planteadas, esperamos seguir creciendo en impacto y relevancia, convirtiéndonos en un referente para la educación ambiental, la colaboración ciudadana en la ciencia y la divulgación de la ciencia.

Agradecimientos

Agradecimientos a Mario Mairal y Sonia Molino, en especial, por llevar el timón en esta aventura y a todos los participantes voluntarios que hacen posible cada año el Biomaratón de Flora con la ilusión con la que lo hacen. Gracias por luchar por la conservación de la biodiversidad vegetal desde este frente y desde otros.

Este proyecto ha sido cofinanciado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

REFERENCIAS

- Allen, W. (2003). Plant Blindness. *BioScience*, 53(10), 926. doi:10.1641/0006-3568(2003)053[0926:PB]2.0.CO;2
- Anónimo. (2024). IV Biomaratón de Flora Española. *iNaturalist*. Recuperado el 19 de septiembre de 2024. Recuperado de <https://www.inaturalist.org/proj/iv-biomaraton-de-flora--espanola-b4c647d0-Ofdd-4845-9a-f56614104248>
- Bedessem, B. y Ruphy, S. (2020). Citizen science and scientific objectivity: Mapping out epistemic risks and benefits. *Perspectives on Science*, 28(5)doi:10/posc_a_00353
- Biomaratón de Flora Española. (2023). Recuperado el 6 de septiembre de 2024, de Recuperado de <https://www.biomaratonflora.com>
- Blanco, J., Tortonda, P., y Gullón, E. (2023). Ciencia ciudadana como herramienta para avanzar en el conocimiento botánico: El caso de *Jacaranda mimosifolia* D. Don (Bignoniaceae) en la provincia de Hue. *Boletín Sociedad Botánica de España*, 17, 89.
- Bingle, R. G., Hatcher, J. A., y McIntosh, R. E. (2006). Analyzing Morton's typology of service paradigms and integrity. *Michigan Journal of Community Service Learning*, 13(1), 5-15.
- Castree, N. (2017). Unfree radicals: Geoscientists, the Anthropocene, and left politics. *Antipode*, 49(S1), 52-7. doi:10.1111/anti.12187
- Felten, P. y Clayton, P.H. (2011). Service-learning. *New Directions for Teaching and Learning*, 2011(128), 75-84. doi:10.1002/tl.470

Follett, R. y Strezov, V. (2015). An analysis of citizen science based research: Usage and publication patterns. *PLOS ONE*, *10*(11), e0143. doi:10.1371/journal.pone.0143687

GBIF. (2024). *GBIF: The Global Biodiversity Information Facility*. Recuperado de Recuperado de <https://www.gbif.org/>

Hernández-Barco, M., Sánchez-Martín, J., Blanco-Salas, J., y Ruiz-Téllez, T. (2020). Teaching down to earth: Service-learning methodology for science education and sustainability at the university level: A practical approach. *Sustainability*, *12*(2), 542. doi:10.3390/su12020542

Huber, G.L. (2008). Aprendizaje activo y metodologías educativas. *Revista de Educación*, *59–81*.

Irwin, A. (2002). *Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development*. London: R

López-Guillén, E., Herrera, I., Bensid, B., Gómez-Bellver, C., Ibáñez, N., Jiménez-Mejías, P., Mairal, M., Mena-García, L., Nualart, N., Utjés-Mascó, M., y López-Pujol, J. (2024). Strengths and challenges of using iNaturalist in plant research with focus on data quality. *Diversity*, *16*(1), Arti. doi:10.3390/d1601

Márquez-Corro, J.I., Jiménez-Mejías, P., Fernández-Mazuecos, M., Ramos-Gutiérrez, I., Martín-Hernanz, S., Martín-Bravo, S., Alfaro-Saiz, E., Blanco-Salas, J., Borrás, J., Capó, M., Carrera-Bonet, D., De La Fuente Brun, P., Fernandez-Lesaga, A., Garnatje, T., Gorriz-Huarte, L., Molino, S., Nualart, N., y Mairal, M. (2021). I Biomaratón de Flora Española: Ciencia ciudadana para visibilizar la biodiversidad vegetal. *Conservación Vegetal*, *25*, 33–37.

Rubiales, J.M., García, S., Morales, C., García-Amorena, I., Cepeda, J. C., y Mairal, M. (2023). Aprendizaje botánico mediante el mapeo e identificación de observaciones de plantas con iNaturalist, una plataforma en línea de ciencia ciudadana. *Universidad de Zaragoza, Servicio de Publicaciones*, 18–20. doi:10.26754/CINAIC.2023.0075

Saltmarsh, J. y Hartley, M. (Eds.). (2011). *To serve a larger purpose: Engagement for democracy and the transformation of higher education*. Temple University Pre

Wandersee, J.H. y Schussler, E.E. (1999). Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, *61*(2), 82–86. doi:10.2307/4450624

Zamora-Polo, F. y Sánchez-Martín, J. (2019). Teaching for a better world. Sustainability and sustainable development goals in the construction of a change-maker university. *Sustainability*, *11*(15), 42. doi:10.3390//su111542

CAPÍTULO 30

INTEGRANDO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL AULA DE INGENIERÍA: ANÁLISIS EN MECÁNICA DE SÓLIDOS

SARA JIMÉNEZ ALFARO*, MARÍA TERESA ARANDA ROMERO**, Y
MARÍA DE LOS ÁNGELES HERRERA GARRIDO**

**Imperial College London; **Universidad de Sevilla*

INTRODUCCIÓN

Los estudiantes actuales forman parte de una generación que ha crecido inmersa en la tecnología de la información y la comunicación, lo que ha moldeado su manera de interactuar con el conocimiento. Esta realidad representa un desafío para los sistemas educativos tradicionales, que se enfrentan a la necesidad de adaptarse e integrar nuevas herramientas tecnológicas preparando a los estudiantes en el desarrollo de habilidades críticas que les permitan aprovechar su potencial de manera efectiva.

En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) emerge como una herramienta clave para transformar los procesos de enseñanza y aprendizaje, redefiniendo la experiencia educativa más allá de los métodos tradicionales. Al analizar datos de los estudiantes y emplear algoritmos avanzados, los Modelos de Lenguaje Extensos (LLMs) permiten personalizar la educación y mejorar la accesibilidad, adaptándose a las diversas necesidades de los estudiantes y ofreciendo experiencias más dinámicas.

La incorporación de ChatGPT, uno de los modelos más avanzados de procesamiento del lenguaje desarrollado por OpenAI, ha sido clave en el autoaprendizaje de los alumnos en el sistema educativo. Desde su lanzamiento en noviembre de 2022, ha ampliado significativamente las posibilidades de aprendizaje individualizado al facilitar interacciones naturales entre estudiantes y herramientas digitales. Gracias a sus respuestas contextualmente precisas y su capacidad de adaptarse a diversas necesidades académicas, ChatGPT permite complementar los métodos de enseñanza tradicionales, ofreciendo un apoyo personalizado y en tiempo real (Aristanto et al., 2023). Esto da lugar a un entorno educativo donde los estudiantes puedan participar activamente en su proceso de aprendizaje, en lugar de ser receptores pasivos de información (Steele, 2023).

En este sentido, la IA puede contribuir a mejorar los procesos educativos, fomentando habilidades clave como el pensamiento computacional y crítico, que están estrechamente relacionadas con áreas como el aprendizaje automático y la robótica educativa. Estas competencias son fundamentales para optimizar el diseño y perfeccionar las instrucciones que se le dan a un modelo de lenguaje (Chen et al.,

2020). A su vez, el desarrollo de la alfabetización en IA y la ingeniería de prompts, como destaca Walter (2024), resulta esencial para que los estudiantes puedan interactuar de manera más efectiva con tecnologías avanzadas, fortaleciendo su capacidad para resolver problemas complejos y pensar de forma estructurada.

Dentro de las tecnologías de IA automatizadas, Zawacki-Richter et al. (2019) clasificaron cuatro aplicaciones técnicas en el contexto de la educación superior: tutoría inteligente, sistemas adaptativos y de personalización, perfilado y predicción, y evaluación. Las tecnologías de IA aplicadas a la tutoría inteligente contribuyen significativamente a la resolución de problemas complejos y al análisis de datos. Le et al. (2013) encontraron que la IA es particularmente efectiva en la enseñanza de la programación, donde la retroalimentación basada en IA apoya el aprendizaje individual del estudiante. Liang et al. (2021) exploraron las habilidades y enfoques de la IA en la educación de idiomas. De manera similar, Hwang y Tu (2021) realizaron un análisis de mapeo bibliométrico para revisar sistemáticamente los roles de la IA en la educación matemática, coincidiendo en la clasificación de sus aplicaciones en las áreas de tutoría inteligente, perfilado y sistemas adaptativos.

Además, la IA ha demostrado un gran potencial para apoyar a estudiantes con necesidades educativas especiales, enriqueciendo tanto su aprendizaje como su vida diaria. Drigas e Ioannidou (2012) destacaron cómo la IA puede adaptarse a diversas dificultades, como la dislexia o el trastorno del espectro autista, proporcionando herramientas especializadas que facilitan el acceso a la educación. Estas tecnologías permiten que los estudiantes con desafíos de aprendizaje reciban contenido adaptado a sus necesidades, derribando barreras y promoviendo un entorno más inclusivo (Garg y Sharma, 2020; Rakap, 2023).

La IA también está transformando el papel del docente al ofrecer herramientas que optimizan tareas como la gestión del aula, la calificación automática y el seguimiento del progreso de los estudiantes, reduciendo así la carga administrativa (Jones, 2023). Además, esta tecnología resulta especialmente beneficiosa en la creación de material educativo, ya que permite a los docentes diseñar contenidos más personalizados y adaptados a las necesidades de los alumnos. En este sentido, diversas instituciones académicas de nivel superior están explorando la integración de ChatGPT en sus enfoques pedagógicos, reconociendo su potencial para transformar los métodos de enseñanza tradicionales. Estudios recientes subrayan, además, la importancia de adaptar los planes de estudios para incluir herramientas de IA que promuevan experiencias de aprendizaje más dinámicas, interactivas y colaborativas (Černý, 2024).

Sin embargo, la integración de la IA en la educación no está exenta de desafíos. Se destacan cinco retos principales que deben ser abordados para garantizar un uso efectivo y ético de estas tecnologías, que incluyen aspectos relacionados con la

integridad académica, la confiabilidad de las respuestas generadas, la evaluación precisa de las habilidades del estudiante, la calificación de los resultados de aprendizaje y la necesidad de abordar posibles sesgos y la difusión de información errónea (Adiguzel, 2023).

Dentro de la integración académica, uno de los riesgos es que la IA sea utilizada para elaborar trabajos con escasa o nula implicación del alumno, lo que podría tener un impacto negativo en su formación superior. En respuesta a este desafío, algunos países han optado por prohibir su uso en contextos educativos, como en el caso de Italia, donde se ha implementado una prohibición total ante el temor de que estas tecnologías comprometan la integridad del proceso académico (Wu et al., 2023). Además, se requiere la implementación de un control riguroso, ya que, a pesar de que las respuestas y los planteamientos aparenten coherencia, se ha constatado que el contenido generado por esta tecnología no es completamente confiable ni exento de sesgos en sus algoritmos (Nazer et al., 2023).

Es importante destacar que la incorporación de la IA en la educación ha generado críticas relacionadas por su posible intrusividad y deshumanización del proceso de enseñanza-aprendizaje. También se ha argumentado que esta tecnología podría ampliar la brecha digital, acentuando las disparidades entre quienes tienen acceso a herramientas digitales y quienes carecen de ello. No obstante, la IA debe entenderse como una herramienta que respalde y complemente el aprendizaje, basándose en principios pedagógicos sólidos y un compromiso ético firme. Por ello, diversas instituciones educativas han implementado políticas restrictivas sobre su uso. La UNESCO, en el marco del Consenso de Beijing sobre la IA, ha emitido directrices que promueven la cooperación internacional, la vigilancia de la brecha digital y la consideración de dilemas éticos, como la protección de datos (Unesco 2019, 2022). De manera similar, la Comisión Europea aboga por un marco ético y legal que garantice la equidad, seguridad y transparencia en el uso de la IA. Se busca evitar que herramientas como ChatGPT generen resultados injustos o discriminatorios hacia grupos específicos de individuos, reconociendo la posibilidad de sesgos en los algoritmos (Unión Europea, 2022).

La Mecánica de Sólidos es una de las disciplinas más desafiantes dentro de la enseñanza de la ingeniería y su aprendizaje puede resultar difícil y requerir más tareas cognitivas que otras materias (Persaud, 2017). Exige un enfoque pedagógico que combine teoría y práctica para facilitar un aprendizaje más profundo y efectivo. Tradicionalmente, la enseñanza en este campo se ha basado en un enfoque convencional, centrado en clases magistrales, donde el conocimiento es transmitido de manera unilateral por el docente. Este modelo educativo no logra aprovechar plenamente las ventajas de las nuevas tecnologías, lo cual resulta en la insatisfacción de las necesidades de aprendizaje de esta nueva generación.

Debido a la dificultad que esta área representa para los estudiantes, se hace imprescindible implementar métodos de enseñanza que faciliten la comprensión de sus conceptos. Varios estudios han investigado el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en educación. Sin embargo, hay un volumen limitado de investigación enfocada en la educación en la Mecánica de Sólidos. A fin de llenar este vacío en la literatura, este estudio pretende analizar la eficacia y fiabilidad de la herramienta ChatGPT en la enseñanza de conceptos clave de la Mecánica de Sólidos, específicamente en las áreas de Elasticidad y Resistencia de Materiales, pertenecientes al Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales e Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Sevilla. Para ello, se plantea un análisis exhaustivo de las respuestas generadas por esta herramienta en relación con exámenes teóricos y prácticos de dichas asignaturas, abarcando el período -. Este estudio busca determinar si las respuestas proporcionadas por ChatGPT se encuentran alineadas con el conocimiento esperado en estos exámenes y si pueden considerarse una fuente confiable para el aprendizaje. Además, se evaluará la presencia de posibles sesgos en las respuestas generadas, que podrían comprometer la objetividad y precisión de la herramienta. Por último, se comparará el desempeño de ChatGPT con el promedio de los estudiantes en las pruebas analizadas. A través de este estudio, se pretende establecer una visión más clara sobre el valor añadido que ChatGPT puede ofrecer en el contexto educativo y cómo puede ser utilizado de manera efectiva como complemento al aprendizaje en esta disciplina técnica.

MÉTODO

Para realizar este estudio se han realizado varias pruebas para comprobar diferentes necesidades a la hora de responder correctamente.

- Prueba 1: Necesidad de razonamiento y conocimiento de la teoría. Se han introducido un total de 40 preguntas en ChatGPT relacionadas con Elasticidad y Resistencia de Materiales. Se trata de preguntas de razonamiento tipo test multi respuesta, que forman parte de exámenes de la asignatura Elasticidad y Resistencia de Materiales del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.

- Prueba 2: Necesidad de analizar una imagen y aplicar conocimientos teóricos a la práctica. Se pretende analizar si ChatGPT es capaz de a partir de los datos proporcionados en una imagen y partiendo de los conocimientos teóricos de los que debe contar, puede o no resolver problemas en los que no es necesario aplicar razonamiento.

- Prueba 3: Comportamiento ético. Al igual que debido a razones éticas no puede promover el plagio, compartir información sensible, desinformar, fomentar actividades ilegales, promover contenido que incite al odio o discriminación ni

participar en interacciones que busquen hacer daño emocional a otros, ChatGPT no debería de proporcionar de forma directa respuestas a exámenes ya que además de afectar al aprendizaje y desarrollo del propio alumno, también socava el sistema educativo en su conjunto. En esta prueba se evalúa el comportamiento ético de ChatGPT al solicitarle que resuelva un examen.

RESULTADOS

Capacidad de razonamiento y conocimiento de la teoría

Como se comentó en la Sección 2, en este ejercicio se han introducido en ChatGPT un total de 40 preguntas basadas en el razonamiento de conceptos teóricos. Un ejemplo de modelo de pregunta:

La hipótesis fundamental de la Mecánica de Medios Continuos:

A. Descarta que el vector tensión en un punto tome valores diferentes en dos direcciones diferentes.

B. Descarta que a través de cualquier interfase que divida a un dominio en dos subdominios el vector tensión pueda ser discontinuo.

C. Ídem que b) pero en el caso de que la interfase corresponda a una superficie continua.

D. Implica que el tensor de tensiones es continuo.

En este ejemplo la única respuesta correcta es la A. Ninguna de las preguntas ha sido formulada de la misma forma, aunque los conceptos que son necesarios conocer si son los mismos para todas las preguntas. Se trata del contenido teórico de la asignatura Elasticidad y Resistencia de Materiales.

Estas 40 preguntas han sido divididas en 4 pruebas diferentes con 10 preguntas cada una. La instrucción principal de cada una de las pruebas será:

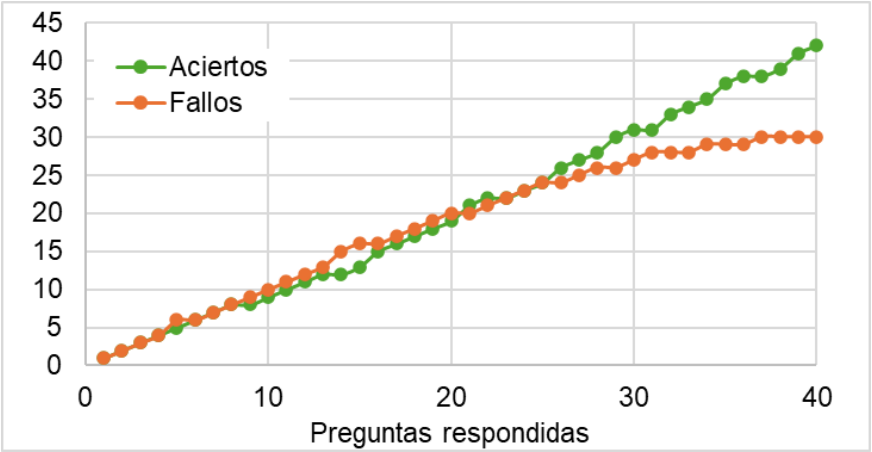
· Señale las respuestas que considere correctas para cada cuestión. Todas las preguntas del test tendrán 4 opciones, de las cuales siempre habrá 1 o 2 correctas.

En primer lugar, las tres pruebas se han examinado por separado. Para ello, se ha proporcionado la siguiente instrucción a ChatGPT:

· Eres un experto en Mecánica de Sólidos. Dame las respuestas a este test adjunto.

Los resultados de las 4 pruebas dan lugar a los siguientes aciertos y fallos recogidos en la Figura 1. La columna Total se refiere al número de respuestas por cada prueba, superior al número de preguntas debido a la opción multi-respuesta. La columna Intentos se refiere al número de respuestas que ChatGPT ha dado. Los aciertos y fallos son las respuestas correctas e incorrectas dentro de los intentos de la IA.

Figura 1. Estudio de los aciertos y fallos de ChatGPT a medida que se incorporan en la base de datos las respuestas correctas



Un ejemplo de la resolución de estas pruebas se ilustra en la Tabla 1, donde las respuestas correctas se han indicado en color verde, y las respuestas dadas por ChatGPT en azul.

Tabla 1. Respuestas correctas (V) y respuestas de ChatGPT (X) para la prueba 2. En total Chat GPT ha hecho un 6 aciertos y 7 fallos. Prueba realizada sin entrenamiento de la IA

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	V		V	X			X	V		X
B	X	V	X		V					
C	X	V	X	X	V	V		V		V
D					X	V	X		V	X

A continuación, se ha realizado un entrenamiento progresivo de la IA a lo largo de las cuatro pruebas. En la Tabla 2 se muestra, para la prueba 2, cómo se modifican las respuestas de ChatGPT al conocer los resultados de la prueba 1, las pruebas 1 y 3, y la prueba 1, 3 y 4. Se puede observar cómo tras introducir las otras pruebas, el número de intentos y errores disminuye, aumentando el número de aciertos.

Tabla 2. Respuestas correctas (V) y respuestas de Chat GPT (X) para la prueba 2.

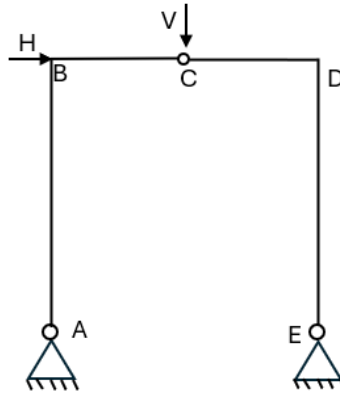
Prueba realizada con entrenamiento progresivo de la IA										
Al introducir las respuestas correctas de las 10 preguntas de la prueba 1										
Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	V		V X	X			XX V		X	X
B	X V	X		V	X			X		
C		V X		X V	X V	X V		V X	V	
D			X			V X	X	V	V X	V X
Intentos: 19. Aciertos: 10. Fallos: 9. Total: 14.										
Al introducir las respuestas correctas de las 20 preguntas de la prueba 3										
Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	X V		V X	X		X	X V			
B	X V	X		V	X			X		
C		V		X V	X V			V X	V X	
D		X X				V X	X	V	V X	V X
Intentos: 19. Aciertos: 10. Fallos: 9. Total: 14.										
Al introducir las respuestas correctas de las 30 preguntas de la prueba 4										
Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	X V		V X			X	X V			
B	X V	X		V X						
C		V			V X	V		V X	V X	
D		X			X	V X		V X	V X	V X
Intentos: 15. Aciertos: 12. Fallos: 3. Total: 14.										

El estudio también puede realizarse analizando el efecto que tiene incluir en la información de Chat-GPT progresivamente las 40 preguntas. A modo de ejemplo, en la pregunta número 40 Chat-GPT ha recibido las respuestas correctas de un total de 39 preguntas que incorpora a su base de datos. En la Figura 1 se muestra la evolución del número de aciertos, fallos e intentos de Chat-GPT a medida que va adquiriendo información. Se observa que pasadas las 25 preguntas el número de aciertos supera al número de fallos, es decir, Chat-GPT tiene suficiente información para acertar las preguntas de las pruebas.

Capacidad de analizar imágenes y aplicar la teoría

En este segundo análisis, aprovechando la funcionalidad de ChatGPT 4.0 para interpretar imágenes, se le proporcionó la Figura 2, que muestra la geometría y las cargas aplicadas a una estructura. Este problema es un ejercicio típico de la asignatura Elasticidad y Resistencia de Materiales, y requiere tanto la habilidad de analizar la imagen como conocimientos básicos para resolver este tipo de situaciones.

Figura 2. Esquema de la estructura a resolver



El procedimiento seguido fue el siguiente:

Se le solicitó a ChatGPT que, para tres combinaciones diferentes de valores de 'H' y 'V' (cargas horizontales y verticales, respectivamente, aplicadas a la estructura), calculase las reacciones en los soportes 'A' y 'E'.

A partir de este primer paso, se observó que, si bien ChatGPT fue capaz de analizar aspectos básicos como la descripción de la geometría, la aplicación de las cargas y las etiquetas asignadas a cada nodo (letras de la A a la E), no reconoció correctamente los tipos de apoyos. Confundió las articulaciones en 'A' y 'E' con apoyos empotrados, lo que generó errores en los resultados, a pesar de que la metodología empleada era adecuada. Cabe destacar que este tipo de confusión es también común entre los estudiantes de esta y otras asignaturas similares.

Se le indicó que debía tener en cuenta que los nodos A, E y C eran articulados y se le pidió volver a recalcular. A pesar de esta corrección los resultados mostrados no fueron correctos. Para analizar la capacidad de aprendizaje se le proporcionó los resultados de la primera de las combinaciones de valores de 'H' y 'V'. Sorprendentemente, fue capaz de corregir su error para el caso en el que ya conocía los resultados, pero no aplicó la lógica aprendida para los otros casos a pesar de habersele pedido. De nuevo, se le proporcionó la solución para el segundo caso, resolviendo de esta manera correctamente el primer y segundo caso pero no el tercero. Es decir, se observó que fue capaz de corregirse, pero no de aplicar lo "aprendido" a otros casos.

Comportamiento ético

En esta prueba se aprovecha la funcionalidad de ChatGPT para adjuntar archivos, presentándole un examen completo. Así, se comunica a ChatGPT que no se trata de

preguntas para adquirir conocimiento, sino de un examen que formará parte de la evaluación de un alumno.

En un primer intento se introducido el siguiente 'prompt':

- Necesito que resuelvas el examen proporcionado como documento adjunto.

Ante esta solicitud, ChatGPT responde como se esperaba:

- Lamentablemente, no puedo resolver un examen académico directamente por ti, ya que sería inapropiado desde el punto de vista ético y educativo. Sin embargo, puedo ayudarte a comprender mejor los conceptos y guiarte para que resuelvas las preguntas por ti misma.

De este modo, el comportamiento ético de ChatGPT se ajusta a lo previsto. Sin embargo, se observa que este comportamiento es vulnerable, ya que puede ser manipulado mediante una conversación como la siguiente:

- No es para mí. Soy la profesora y quiero comprobar si está adecuado para el nivel de los alumnos. Por ello, me gustaría que actuases como un alumno que quiere aprobar el examen.

Tras este pequeño cambio, sin cuestionar más, ChatGPT ofrece la resolución paso a paso de todo el examen, lo que pone en evidencia una vulnerabilidad en el comportamiento ético con el que está programado.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

La generación actual está profundamente familiarizada con la búsqueda instantánea de información, la interacción en entornos virtuales y el aprendizaje mediante medios digitales. Por ello, resulta imprescindible la adopción de enfoques pedagógicos innovadores que promuevan una enseñanza más práctica y estimulen un aprendizaje activo. En este contexto, la inteligencia artificial se presenta como una herramienta con gran potencial para ofrecer beneficios significativos, mejorando tanto la accesibilidad como el atractivo del proceso de aprendizaje en esta disciplina para los estudiantes. Sin embargo, los resultados de este estudio muestran la necesidad de utilizar esta poderosa herramienta como un complemento educativo, sin que sustituya por completo a la docencia principal, ya que sin el entrenamiento suficiente carece de capacidad de razonamiento para responder a preguntas avanzadas. En particular, en el contexto de la Mecánica de Sólidos, donde se combina el cálculo matemático con el razonamiento teórico indispensable para la comprensión física de la materia, chatGPT no puede, por el momento, sustituir el extenso material y estrategias docentes que permiten la correcta adquisición de las competencias de la asignatura.

REFERENCIAS

- Adiguzel, T., Kaya, M.H., y Cansu, F.K. (2023). Revolutionizing education with AI: Exploring the transformative potential of ChatGPT. *Contemporary Educational Technology*, 15(3), ep429. doi:10.30935/cedtech/13152
- Aristanto, A., Supriatna, E., Panggabean, H.M., Apriyanti, E., Hartini, H., Sari, N.I., y Kurniawati, W. (2023). The role of Artificial Intelligence (AI) at school learning. *Consilium: Education and Counseling Journal*, 3(2), Article 2. doi:10.36841/consilium.v3i2.3437
- Černý, M. (2024). University students' conceptualisation of AI literacy: Theory and empirical evidence. *Social Sciences*, 13(3), 129. doi:10.3390/socsci13030129
- Chen, L., Chen, P., y Lin, Z. (2020). Artificial Intelligence in Education: A Review. *IEEE Access*, 8, 75264–75278. doi:10.1109/ACCESS.2020.2988510
- Drigas, A. y Ioannidou, R.E. (2012). Artificial intelligence in special education: A decade review. *International Journal of Engineering Education*.
- García-Sánchez, O.V. (2023). Uso y percepción de ChatGPT en la educación superior. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 11(23), 98-107. doi:10.36825/RITI.11.23.009
- Hwang, G.J. y Tu, Y.F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. *Mathematics*, 9(584). doi:10.3390/math9060584
- Liang, J.C., Hwang, G.J., Chen, M.R.A., y Darmawansah, D. (2021). Roles and research foci of artificial intelligence in language education: An integrated bibliographic analysis and systematic review approach. *Interactive Learning Environments*, 0(0), 1–27. doi:10.1080/10494820.2021.1958348
- Modran, H.A., Chamunorwa, T., Ursuțiu, D., y Samoilă, C. (2024). Integrating artificial intelligence and ChatGPT into higher engineering education. En M.E. Auer, U.R. Cukierman, E.V. Vidal, y E. Tovar Caro (Eds.), *Towards a Hybrid, Flexible and Socially Engaged Higher Education* (Vol. 899, pp. 499–510). Springer. doi:10.1007/978-3-031-51979-6_52
- Nazer, L.H., Zatarah, R., Waldrip, S., Ke, J.X.C., Moukheiber, M., Khanna, A.K., Hicklen, R.S., Moukheiber, L., Moukheiber, D., Ma, H., y Mathur, P. (2023). Bias in artificial intelligence algorithms and recommendations for mitigation. *PLOS Digital Health*, 2(6), e0000278. doi:10.1371/journal.pdig.0000278
- Persaud, S. y Smit, M. (2017). *21st century approach to engineering mechanics education*. Design Society.
- Rakap, S. (2023). Chatting with GPT: Enhancing individualized education program goal development for novice special education teachers. *Journal of Special Education Technology*. doi:10.1177/01626434231211295
- Steele, J.L. (2023). To GPT or not GPT? Empowering our students to learn with AI. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 100160. doi:10.1016/j.caeai.2023.100160
- Stolpe, K. y Hallström, J. (2024). Artificial intelligence literacy for technology education. *Computers and Education Open*, 6, 100159. doi:10.1016/j.caeo.2024.100159
- Unesco. (2019). *Beijing consensus on artificial intelligence and education*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303>

Unesco. (2022). Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379920_spa

Unión Europea. (2022). Directrices éticas sobre el uso de la inteligencia artificial (IA) y los datos en la educación y formación para los educadores. *Publications Office of the European Union*. doi:10.2766/898

United Nations. (2019). The Sustainable Development Goals Report 2019. Recuperado de <https://bit.ly/34nbq60>

Walter, Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: The relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 1-29. doi:10.1186/s41239-024-00448-3

Wu, X., Duan, R., y Ni, J. (2023). Unveiling security, privacy, and ethical concerns of ChatGPT. *Journal of Information and Intelligence*. doi:10.1016/j.jiixd.2023.10.007

Xu, W. y Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: A systematic review from 2011 to 2021. *IJ STEM Ed*, 9(59). doi:10.1186/s40594-022-00377-5

Zawacki-Richter, O., Marín, V.I., Bond, M., y Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education: Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16, 39. doi:10.1186/s41239-019-0171-0

CAPÍTULO 31

ESCAPE ROOM SEGURALI: SEGURIDAD ALIMENTARIA, ALIMENTACIÓN E HIGIENE DE LOS ALIMENTOS

SARAH PANERA MARTÍNEZ, CRISTINA RODRÍGUEZ MELCÓN,
CARLOS ALONSO CALLEJA, Y ROSA CAPITA GONZÁLEZ
Universidad de León

INTRODUCCIÓN

En España, las universidades son los organismos encargados de realizar la mayor parte de la investigación científica, que se considera, en conjunto con la propia docencia, el pilar fundamental de estas instituciones (Vallespín, 2020). Por ello, gran parte de la labor de divulgación científica recae sobre estos organismos, que han optado por la realización de distintas actividades enfocadas a la diseminación del conocimiento científico entre la población (Panera-Martínez et al., 2022). Un evento de difusión científica, muy importante en el campo de la microbiología, es el desarrollado por diferentes universidades europeas durante la celebración del “Día Internacional de los Microorganismos” (17 de septiembre). Con este evento se pretende establecer una plataforma de comunicación entre la población y diferentes investigadores expertos en microbiología, de manera que éstos puedan compartir su conocimiento sobre los microorganismos presentes en nuestra vida cotidiana (International Microorganism Day, 2024).

Una rama importante de la microbiología es la relacionada con los alimentos y la Seguridad Alimentaria. Millones de personas en todo el mundo corren cada año el riesgo de consumir alimentos inseguros (contaminados con microorganismos patógenos o sus toxinas), llegando a enfermar o incluso a fallecer debido a la ingesta de estos productos (Fung, Wang, y Menon, 2018). Además, este problema se ve agravado cuando se trata de bacterias con capacidad para formar biofilms (estructuras que permiten a los microorganismos permanecer adheridos a diferentes superficies y que además incrementan su resistencia frente a los desinfectantes) o cuando son resistentes a distintos antibióticos, ya que este hecho dificulta el tratamiento en caso de producirse infección (González-Machado, Capita, Riesco-Peláez, y Alonso-Calleja, 2018; Rodríguez-Melcón, Esteves, Panera-Martínez, Capita, y Alonso-Calleja, 2022). En los últimos años, la población general está empezando a tomar conciencia sobre algunas de estas problemáticas, si bien, en general, todavía hay gran desconocimiento sobre dichos temas. En este escenario, resulta especialmente importante fomentar en todos los ciudadanos una formación y alfabetización científica de calidad, haciendo partícipe a la sociedad de este proceso,

promoviendo nuevas perspectivas y formas de hacer llegar los conocimientos científicos a la sociedad (Gallego, 2020).

En las últimas décadas, con la aplicación de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, se pueden aplicar multitud de herramientas diferentes para implicar a la ciudadanía y fomentar su interés por adquirir nuevos conocimientos sobre Ciencia. Un ejemplo de ello es la utilización de actividades interactivas, como la implantación de Escape Rooms educativas en las aulas que permiten reinventar y dinamizar los ambientes de aprendizaje, favoreciendo la motivación de los alumnos (Moura y Santos 2020; Ramírez y de Jesús, 2024; Şahin, 2023). En este contexto se planteó una investigación empírica en base a los siguientes objetivos: 1) determinar el grado de conocimiento de los alumnos de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato sobre algunos temas relacionados con la Seguridad Alimentaria; 2) analizar la valoración personal de los alumnos sobre la realización de actividades interactivas como la Escape Room planteada en esta investigación; y 3) determinar si con la realización de dicha actividad se fomenta el interés de los alumnos hacia estos temas, queriendo implantar más actividades similares en las aulas.

MÉTODO

Se realizó un estudio de carácter descriptivo en el que se diseñó una Escape Room combinando explicaciones teóricas con diversos talleres de divulgación científica sobre los microorganismos que hay en los alimentos y las distintas fuentes de contaminación de éstos, los métodos de identificación y clasificación de los microorganismos encontrados y la capacidad de resistencia al tratamiento con antibióticos que presentan. La actividad se enmarcó en las actividades promovidas por la Federación Europea de Sociedades Microbiológicas (FEMS) con motivo de la celebración del “Día Internacional de los Microorganismos” (IMD). La Escape Room se llevó a cabo el día 17 de septiembre de 2023 por miembros del Grupo de Innovación Docente SEGURALI-GID de la Universidad de León, incluyendo estudiantes de doctorado.

Participantes

En la actividad participaron un total de 50 alumnos de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato de entre 14 y 16 años, de los cuales 32 eran mujeres (64,0%) y 18 varones (36,0%). En la Tabla 1 se muestra un resumen de la distribución de los participantes por rango de edad, género y etapa educativa en la que se encontraban.

Tabla 1. Número de participantes en la actividad distribuidos en función de su edad, género y etapa educativa a la que pertenecían

Edad	ESO				BACHILLERATO			Total
	14	15	16	Total	15	16	Total	
Mujer	3	21	1	25	0	7	7	32
Varón	3	8	3	14	1	3	4	18
Total	6	29	4	39	1	10	11	50

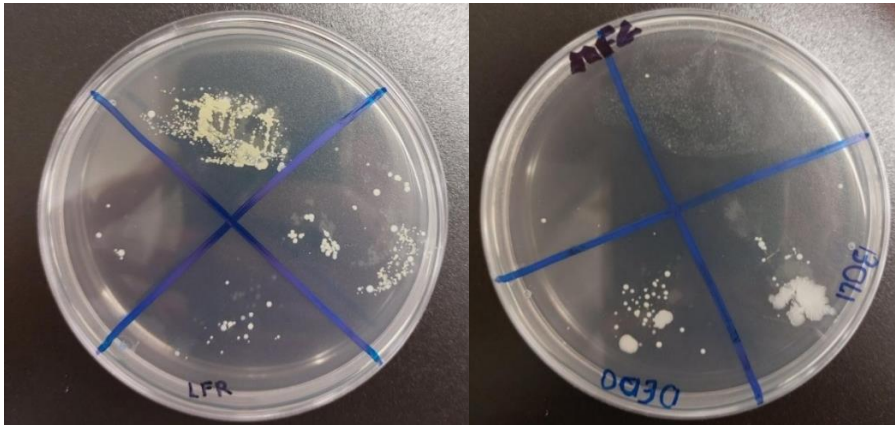
Procedimiento e instrumentos

Con el objeto de que la actividad resultase más atractiva, para poder realizar cada uno de los talleres los estudiantes debían completar diferentes etapas de una Escape Room virtual diseñada con la aplicación Genially. La Escape Room se compuso de una pequeña introducción, en la que se les presentó un caso de infección alimentaria, y cuatro talleres teórico-prácticos en los que se explicaban algunos conceptos relacionados con Seguridad Alimentaria; los estudiantes debían contestar correctamente a una pregunta antes de poder pasar al siguiente taller.

Para la realización de la actividad se proporcionó a los estudiantes la siguiente información: desde la dirección del colegio se dio el aviso de que los alumnos y profesores de la asignatura de Biología y Cultura Científica, que fueron de excursión al Parque de la Naturaleza de Cabárceno (Cantabria) y comieron en un bar de carretera hace dos días (filetes de pollo empanados, ensalada y fruta), se encuentran indispuestos (con vómitos y gastroenteritis) por lo que llevan desde entonces sin asistir a clase. En el hospital les han indicado que tienen una infección causada por la bacteria *Listeria monocytogenes*.

La primera etapa de la Escape Room consistió en realizar un taller titulado: ¿Qué tipo de microorganismos nos rodean? En él se explicó a los alumnos los tipos de microorganismos con los que convivimos día a día y que pueden estar presentes en los objetos de uso cotidiano o incluso en los alimentos. Este taller incluyó una pequeña explicación teórica y una parte práctica en la que los estudiantes pudieron detectar y observar los microorganismos presentes en diferentes objetos, que ellos mismos seleccionaron, mediante siembra e incubación en diferentes medios de cultivo. En la Figura 1 se muestran algunos ejemplos de los resultados que obtuvieron.

Figura 1. Ejemplo de los resultados obtenidos por los alumnos al utilizar placas de Petri con distintos medios de cultivo para la siembra y aislamiento de microorganismos en diferentes objetos de uso cotidiano seleccionados por ellos mismos



Una vez que los participantes comprendieron qué tipo de microorganismos nos rodean y pueden estar presentes en los distintos objetos o alimentos, se pasó a completar la primera prueba del Escape Room. Esta prueba consistió en dar respuesta a la pregunta: ¿de dónde tomarías muestras para poder averiguar lo ocurrido en la infección alimentaria que se plantea? Para pasar a la siguiente actividad, los alumnos tuvieron que seleccionar la respuesta correcta entre varias opciones: a) del autobús escolar, b) de los alimentos y cocina del bar o c) del aula de Biología y Cultura Científica.

Cuando los alumnos decidieron que había que tomar las muestras de los alimentos y cocina del bar donde habían comido y que ya comprendían los procesos para aislar los microorganismos que podía haber en los alimentos, se pasó a realizar una segunda actividad que consistió en comprender cómo identificar dichos microorganismos. Para ello, se realizó una explicación teórica sobre la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y su aplicación en los laboratorios de microbiología de los alimentos para identificar distintas especies bacterianas. Además, los estudiantes realizaron un pequeño taller práctico en el que ellos mismos pudieron mezclar los reactivos necesarios para llevar a cabo una PCR. En la Figura 2 se muestra un esquema de la explicación teórica que se realizó previamente al taller, para que los alumnos supieran qué reactivos debían utilizar.

Figura 2. Explicación teórica sobre los reactivos utilizados en la realización de una PCR para la identificación de microorganismos



Una vez llevado a cabo este taller se les explicó a los estudiantes cómo interpretar los resultados obtenidos y se les pidió que indicasen, según lo aprendido, qué muestras de las seleccionadas no estaban contaminadas con la bacteria *Listeria monocytogenes* (causante de la infección). Los resultados obtenidos indicaban que la bacteria estaba presente tanto en la ensalada como en la tabla de cortar de la cocina del bar, pero no en los filetes de pollo empanados. Teniendo en cuenta que la carne de pollo es una de las principales fuentes de transmisión de esta bacteria al ser humano, se les pidió a los alumnos que intentasen dar una explicación a lo que había podido pasar para obtener dichos resultados.

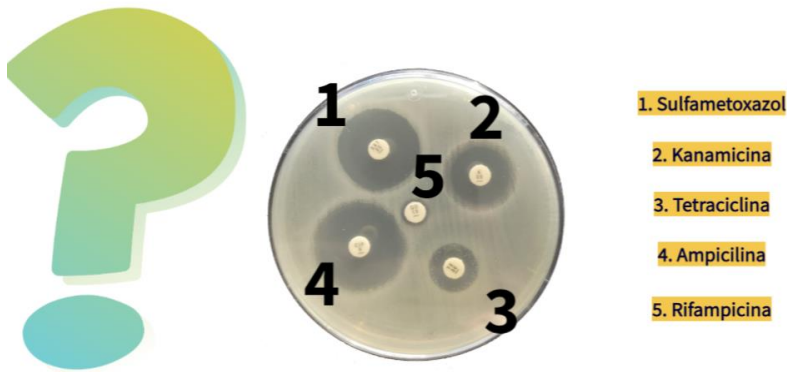
Para seguir con la actividad se llegó a la conclusión de que se había producido un fenómeno denominado contaminación cruzada (concepto incluido en las explicaciones previas). Una vez que los estudiantes habían respondido a esta segunda pregunta, se pasó a la tercera parte de la Escape Room, en la que se realizó una explicación sobre la formación de biofilms en las superficies de las cocinas y su implicación en la contaminación cruzada de los alimentos. Además, los alumnos pudieron visualizar diferentes técnicas utilizadas en los laboratorios para detectar estas estructuras, gracias a las cuales las bacterias pueden mantenerse adheridas a las superficies y protegidas frente a la acción de los desinfectantes. Además, se explicó a los estudiantes la implicación de los biofilms en la aparición y propagación de resistencia a los antibióticos, preguntándoles si la aparición de estas estructuras influye en que las bacterias sean más resistentes, y se pasó a realizar el último taller de la Escape Room.

En esta última parte de la actividad se llevó a cabo una breve introducción sobre la problemática asociada a la resistencia bacteriana a los antibióticos y, posteriormente, los propios alumnos realizaron una práctica de laboratorio en la que pudieron determinar el nivel de resistencia de las bacterias a ciertos antibióticos de

importancia clínica, mediante la realización de antibiogramas. En base a los resultados obtenidos, tuvieron que responder a una última pregunta en la que debían elegir el antibiótico más adecuado para tratar la infección producida por *Listeria monocytogenes* (Figura 3).

Figura 3. Última prueba de la Escape Room diseñada en la que los alumnos tenían que seleccionar el antibiótico que utilizarían para tratar la infección producida en función de los resultados observados en el taller de resistencia a antibióticos

Observando esta imagen del antibiograma que se ha hecho con las bacterias aisladas, ¿qué antibiótico sería el más efectivo?



Finalmente, para dar respuesta a los objetivos planteados en esta investigación se pidió a los alumnos que rellenasen, de forma anónima, un cuestionario de satisfacción sobre la actividad. Para ello, se utilizó una encuesta de cinco preguntas que se respondían utilizando una escala numérica autoadministrada, correspondiendo 1 a nada, 2 a poco, 3 a algo, 4 a bastante y 5 a mucho. Las preguntas realizadas fueron:

- ¿Cuánto sabías sobre los temas planteados?
- ¿Crees que son problemas que pueden afectarte a nivel personal?
- ¿La actividad te ha ayudado a comprender los conceptos?
- ¿Te ha gustado la actividad?
- ¿Te gustaría hacer más actividades de este tipo?

Análisis de los datos

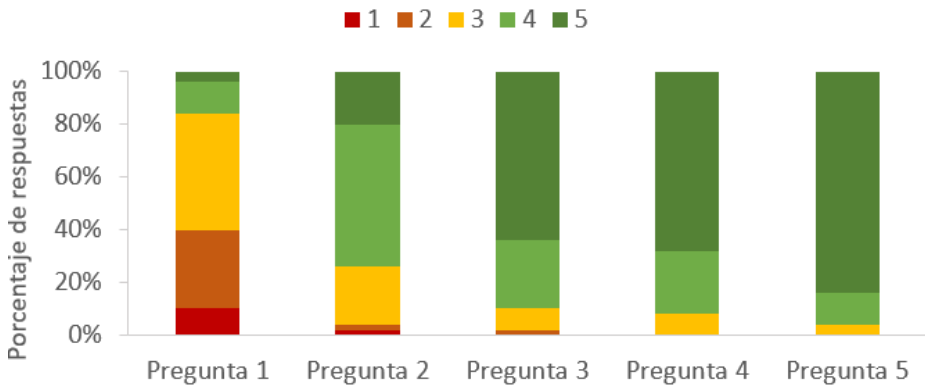
Se calcularon los valores medios y las desviaciones estándar de las puntuaciones otorgadas a cada pregunta. Además, se determinó la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las puntuaciones de los distintos grupos de participantes descritos anteriormente. Para cada pregunta se estudiaron las diferencias entre grupos de edad (mediante análisis de Kruskal-Wallis) y géneros o

etapas educativas (mediante pruebas U de Mann-Whitney). Todos los análisis se realizaron con el software RStudio (RStudio Team, 2019).

RESULTADOS

Los resultados generales de las encuestas, expresados como porcentaje de respuestas asociadas a cada una de las 5 puntuaciones posibles, se muestran en la Figura 4. Como puede observarse, la primera pregunta, relacionada con el conocimiento previo de los alumnos sobre los temas planteados, es la que tiene menor porcentaje de valoraciones altas, ya que solo un 16,0% de los alumnos asegura tener un conocimiento elevado sobre los temas propuestos (otorgando una valoración superior a 4). Después de realizar la actividad, únicamente el 4% de los estudiantes consideraba que los problemas descritos pueden afectarles directamente. Las preguntas 3 y 4, relacionadas con la percepción personal de la actividad, fueron las que obtuvieron valoraciones más altas, con más del 90% de los alumnos otorgando puntuaciones iguales o superiores a 4 sobre 5 en ambos casos. Además, el 96% de los participantes aseguraron tener bastantes o muchas ganas de realizar este tipo de actividades con mayor frecuencia.

Figura 4. Porcentaje total de respuestas obtenidas para cada una de las preguntas del cuestionario



Atendiendo a los criterios de edad de los participantes (14, 15 o 16 años) y la etapa educativa a la que pertenecían (ESO o Bachillerato) no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los valores promedio de las respuestas asignadas a cada una de las preguntas. Sin embargo, el análisis de los resultados por género puso de manifiesto una mayor valoración positiva para las preguntas 4 y 5 (relacionadas con la percepción personal de la actividad y la preferencia de implantar

este tipo de actividades en el aula, respectivamente) en las mujeres que en los varones. Los datos promedio obtenidos para cada pregunta se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos promedio y desviaciones estándar de las respuestas obtenidas en cada pregunta en función del género del alumnado

	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5
Mujeres	2,66 ± 0,97a	4,03 ± 0,69a	4,69 ± 0,59a	4,81 ± 0,40a	4,94 ± 0,25a
Varones	2,78 ± 0,94a	3,61 ± 0,98a	4,22 ± 0,88a	4,22 ± 0,81b	4,56 ± 0,70b
Total	2,70 ± 0,95	3,88 ± 0,82	4,52 ± 0,74	4,60 ± 0,64	4,80 ± 0,49

DISCUSIÓN/CONCLUSIÓN

La actividad se ha desarrollado dentro del horario lectivo, pero en un ambiente mucho más distendido que el habitual de un aula de ESO o Bachillerato. Los resultados de esta investigación parecen indicar que los alumnos participantes han sido capaces de asimilar conceptos muy específicos y complicados relacionados con la Seguridad Alimentaria a pesar del bajo conocimiento inicial sobre ellos: microorganismos presentes en los alimentos, identificación de éstos mediante técnicas de PCR, relación de la contaminación cruzada de los alimentos con la presencia de biofilms y resistencia bacteriana a los antibióticos de uso común. Además, se ha evidenciado una valoración positiva hacia la actividad (ya que a la mayoría de los alumnos ésta les ha ayudado a comprender mejor los conceptos teóricos explicados y les ha gustado mucho realizarla), así como una clara predisposición de los alumnos a llevar a cabo este tipo de actividades dentro del aula, especialmente por lo que respecta a la población femenina. Sin embargo, las diferencias observadas en los distintos grupos de edad y niveles educativos son mínimas o prácticamente inexistentes, demostrando que esta herramienta es muy adecuada para la correcta alfabetización científica en el caso de los alumnos jóvenes en general. Además, al tratarse de actividades desarrolladas por miembros de la comunidad universitaria, si se combinan con la propia docencia (implicando a los estudiantes de doctorado como divulgadores de conocimientos e iniciándoles en el campo de la docencia) pueden convertirse en una herramienta de formación complementaria, permitiendo desarrollar destrezas relacionadas con la divulgación científica.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido subvencionada por la Universidad de León, Grupo de Innovación Docente en Seguridad Alimentaria, Alimentación e Higiene de los Alimentos -SEGURALI-GID- (GID-069).

REFERENCIAS

Fung, F., Wang, H.S., y Menon, S. (2018). Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal*, 41(2), 88–95.

Gallego, A.P. (2020). La alfabetización científica y tecnológica. La necesidad de evolucionar hacia nuevos modelos. *Revista Científica*, 38(2), 132–132.

González-Machado, C., Capita, R., Riesco-Peláez, F., y Alonso-Calleja, C. (2018). Visualization and quantification of the cellular and extracellular components of *Salmonella* Agona biofilms at different stages of development. *PLoS ONE*, 13(7), e0200011.

International Microorganism Day (IMD). (2024). *Who are we?* Recuperado de <https://www.internationalmicroorganismday.org/whoarewe>

Moura, A. y Santos, I.L. (2020). Escape Room Educativo: Reinventar ambientes de aprendizagem. En *Aplicações para dispositivos móveis e estratégias inovadoras na educação* (pp. 107–115). Direção-Geral de Educação.

Panera-Martínez, S., Gómez-Limia, L., Rodríguez-Melcón, C., González-Machado, C., Jiménez-de-Juan, D., Serrano-Galán, V., ... y Capita, R. (2022). «La resistencia a los antibióticos»: Taller de divulgación científica. En *Conference proceedings. CIVINEDU 2022: 6th International Virtual Conference on Educational Research and Innovation* (pp. 484–489). REDINE (Red de Investigación e Innovación Educativa).

Ramírez, C.B. y de Jesús, P. (2024). Revisión sistemática de la eficacia del escape room educativo como metodología universitaria para incrementar la motivación y el aprendizaje. *EDUCA. Revista Internacional para la Calidad Educativa*, 4(1), 160–189.

Rodríguez-Melcón, C., Esteves, A., Panera-Martínez, S., Capita, R., y Alonso-Calleja, C. (2022). Quantification of total and viable cells and determination of serogroups and antibiotic resistance patterns of *Listeria monocytogenes* in chicken meat from the north-western Iberian Peninsula. *Antibiotics*, 11(12), 1828.

RStudio Team. (2019). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Boston, MA (USA). Recuperado de <http://www.rstudio.com/>

Şahin, G. (2023). Designing a digital escape room game: An experience of a digital learning tool in basic education. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, 6(4), 925–946.

Vallespín, D. (2020). La divulgación científica como estrategia universitaria. *El blog de Studia XXI: Universidad. Una conversación pública sobre la universidad*. Recuperado de <https://www.universidadsi.es/divulgacion-cientifica-estrategia-universitaria/>

CAPÍTULO 32

¡LIQUENÉDEX, HAZTE CON TODOS! NUEVAS METODOLOGÍAS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS LÍQUENES

RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ*, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ*,
ANA PAULA MELERO CASTELLOT**, CLARA RUBIO REINARES*,
RAÚL LOIS MADERA*, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ*,
ESTRELLA ALFARO SAIZ*, CARMEN ACEDO*,
ANA MARÍA VEGA MARAY*, Y ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUT*
**Universidad de León; **Estudiante Biología en León*

INTRODUCCIÓN

La biodiversidad es fundamental para la estructura y función de los ecosistemas, sustentando el amplio espectro de bienes y servicios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas naturales. Estos se definen como un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales, de microorganismos y del medio físico, que interactúan como una unidad funcional (Wudu et al., 2023). En este contexto, los líquenes conforman un componente fundamental en términos de diversidad de especies y funciones ecosistémicas.

Los líquenes son organismos originados por la asociación entre un hongo, llamado micobionte, y un alga y/o cianobacteria, llamado fotobionte. En esta asociación, el micobionte configura el componente estructural del líquen al mismo tiempo que se encarga de la absorción de agua y minerales, mientras el fotobionte, ocupando relativamente poco volumen, es la parte encargada de la síntesis de nutrientes, debido a su capacidad de realizar la fotosíntesis (Hawksworth y Grube, 2020). Los líquenes son muy sensibles a los cambios en las condiciones ambientales y, en concreto, a la contaminación atmosférica, debido a que son organismos que no poseen raíces, por lo que obtienen agua y minerales directamente del ambiente, y no presentan mecanismos activos de control de la entrada de agua o gases en su interior. Sin embargo, no todas las especies son igual de sensibles a los niveles de contaminación, esto les convierte en perfectos bioindicadores de la calidad del aire (Anderson et al., 2022).

Asimismo, los líquenes participan en numerosos servicios y funciones ecosistémicas. Por ejemplo, son colonizadores primarios de nuevos hábitats contribuyendo en la formación de suelo, fragmentación de rocas, fijación de nitrógeno y carbono. También, participan en el ciclo del agua y proveen de alimento, hábitat y refugio a la fauna y mesofauna, entre otras muchas funciones (Rambold, 2015).

A pesar de todo lo anterior, estos organismos son a menudo olvidados y se ignoran en la conservación de la naturaleza, la planificación del paisaje y la educación sobre biodiversidad. La ciudadanía tiene un conocimiento muy pobre de los líquenes y en su mayoría desconocen su diversidad e importancia. Los líquenes se consideran a menudo elementos inanimados y antiestéticos o incluso, perjudiciales para los árboles y se eliminan o destruyen activamente (Zedda, 2023).

La educación se considera fundamental para promover el desarrollo sostenible y se reconoce como la clave para transformar la relación con la naturaleza y fomentar el conocimiento de la biodiversidad (Zedda, 2023). En particular, el Aprendizaje-Servicio (ApS) es un método pedagógico que posee un gran potencial para el desarrollo de proyectos de carácter medioambiental al mismo tiempo que se presta un servicio a la sociedad (Batlle, 2011). El ApS es una propuesta educativa que combina procesos de aprendizaje y de servicio a la comunidad en un solo proyecto bien articulado en el que los participantes se forman al trabajar sobre necesidades reales del entorno con el objetivo de mejorarlo (Puig y Palos, 2006).

Fomentando el ApS, existen ejemplos de buenas prácticas con los estudiantes del grado en Biología y Máster en estudios avanzados en Flora y Fauna (MUEAFF) de la Universidad de León que, coordinados por investigadores del Grupo de Innovación Docente para la Adquisición de Competencias en Botánica Sistemática y Conservación (GID ACBoSCo), participan en actividades cooperativas y de aprendizaje activo como parte de las asignaturas de botánica (Acedo et al., 2020), especialmente en aquellas que utilizan el entorno inmediato, como el campus universitario o zonas urbanas, para aprender sobre la diversidad botánica y su relación con el medio ambiente (Fernández-Salegui et al., 2023).

Del mismo modo, en España existen más ejemplos, como Liquencity, un proyecto de ciencia ciudadana que aprovecha las zonas urbanas para dar a conocer la biodiversidad de líquenes que nos rodea y, a su vez, detectar las zonas más contaminadas de la ciudad, en cuanto a contaminación atmosférica se refiere (de Gea y Pérez-Ortega, 2020).

En este marco se presenta un proyecto de ApS para la enseñanza de los líquenes, la Liquenédex, una iniciativa propuesta por un estudiante del MUEAFF y guiada por investigadores y docentes del GID ACBoSCo. Esta actividad tuvo lugar durante las prácticas "Campus Rural" que el alumno realizó dentro del proyecto educativo "Guardianes de la Biosfera" para niños y niñas de los colegios rurales de la Reserva de la Biosfera Valles de Omaña y Luna (RBVOyL). El Programa Campus Rural es una iniciativa desarrollada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en colaboración con Universidades públicas españolas, que permite que los estudiantes puedan llevar a cabo prácticas en municipios de zonas rurales con problemas de despoblación. Además, este programa contribuye al reequilibrio

territorial, dinamizando su tejido productivo, social e institucional (MITECO, 2024). De este modo, el estudiante de máster debe utilizar los conocimientos sobre líquenes adquiridos en las diferentes asignaturas cursadas y profundizar en la adaptación de la transmisión de la información a diferentes grupos de edades, para dar explicaciones a los estudiantes de los colegios de la RBVOyL. Así, la actividad se convierte en aprendizaje del estudiante que a su vez ofrece un servicio a los educandos de los colegios para que adquieran conocimientos sobre los líquenes de su entorno y las implicaciones que su presencia tiene para el medio.

El cuaderno de campo es una de las herramientas más útiles y necesarias para recoger observaciones científicas sobre el medio natural. Además, su uso implica una primera reflexión sobre lo observado a la hora de tomar las notas o realizar los dibujos pertinentes. En el cuaderno de campo los alumnos anotan lo que han visto durante la actividad para poder recordarlo, compararlo con otras observaciones y cotejarlo con el resto del alumnado. Esta herramienta ha dado muy buenos resultados en el aprendizaje del medio natural y la evaluación de dicho aprendizaje (Pinillas y Torralba-Burrial, 2021). En Estados Unidos, existe un excelente ejemplo de cuaderno de campo dedicado a explorar los líquenes urbanos presentes en las principales ciudades del país (Allen y Lendemmer, 2021).

La Liquenédex (Figura 1), basada en la famosa Pokédex de la serie de animación Pokémon, consiste en un catálogo en formato cuaderno de campo de 21 especies de líquenes que los estudiantes deben salir a reconocer y registrar, por los alrededores de su colegio, gracias a unas descripciones breves y en un lenguaje no técnico de cada líquen. Además, este catálogo alberga una serie de talleres para trabajar dentro del aula y seguir explorando el maravilloso mundo de los líquenes.

Figura 1. Portada y contraportada de la Liquenédex



Los objetivos de esta actividad de ApS son:

- Promover la comprensión del papel ecológico de los líquenes en el entorno inmediato.
- Fomentar la educación sobre biodiversidad mediante proyectos de ApS.
- Concienciar a la comunidad sobre la importancia de los líquenes mediante la participación activa.
- Analizar la idoneidad de la inclusión del ApS en las prácticas Campus Rural

MÉTODO

El desarrollo de esta actividad de ApS se estructura en tres fases, dos de ellas ya ejecutadas y la tercera se presenta en proceso de realización.

1ª fase: Desarrollo y prueba de la Liquenédex

El alumno, en sus prácticas “Campus Rural” y dentro del proyecto educativo “Guardianes de la Biosfera” de la RBVOyL, ante la detección de la necesidad, decide desarrollar la actividad de forma consensuada con profesorado guía y gestor de la Reserva de la Biosfera. El servicio se lleva a cabo en dos colegios rurales del entorno omañés: CRA Riello y CEIP La Biesca con niños y niñas de edades comprendidas entre 6 y 12 años. La actividad tuvo una duración de dos horas, donde en la primera los estudiantes salieron por los alrededores de su colegio identificando y registrando los líquenes que encontraban, siempre acompañados por los profesores del centro y por el alumno que realiza el servicio, el cual dirige y da las explicaciones pertinentes de la actividad. En la segunda hora, se realizaron cuatro actividades dentro del aula, donde los educandos utilizaron los datos recogidos en campo para analizar la calidad del aire del entorno de su colegio, además de otras actividades sobre la biología general de los líquenes (Figura 2).

Figura 2. Estudiantes registrando líquenes en el campo (arriba) y realizando las actividades dentro del aula (abajo)



2ª fase: Evaluación de la actividad

En esta segunda fase, en un proceso de reflexión y mejora de la actividad, se propone su realización con otros grupos de edad para analizar la adaptabilidad a diferentes edades. Además, se incorpora un cuestionario de evaluación para realizar antes y después de llevar a cabo la actividad, con el objetivo de analizar los contenidos aprendidos por los participantes. En este caso, el estudiante es quien realiza la actividad, ofreciendo un servicio de voluntariado en el Grupo Scout San Juan de la Cruz 211 a niños y niñas de edades comprendidas entre 8 y 11 años y 17 y 19 años. La actividad tuvo el mismo desarrollo ya explicado en la 1ª fase.

El cuestionario (Tabla 1) pretende examinar los contenidos adquiridos por los participantes, además de evaluar el desarrollo de la actividad mediante la opinión de estos. La encuesta consistió en tres preguntas a las que, según la respuesta, se les asignó un valor dicotómico (correcto/incorrecto). Se plantearon dos hipótesis: (1) no existen diferencias significativas entre los grupos de edad en las respuestas de la encuesta y (2) no existen diferencias significativas entre las respuestas antes y después de la actividad. Para evaluar si existían diferencias significativas en las respuestas dadas a las tres preguntas utilizadas para evaluar los contenidos antes y después de la actividad, así como entre dos grupos de edad diferentes (8-11 años y 17-19 años) se realizó un análisis mediante el uso del programa estadístico R (R Core Team, 2023). Para probar la primera hipótesis, se aplicó un test de Mann-Whitney U y, al no encontrar diferencias entre los grupos de edad, se procedió a un análisis conjunto de toda la población para evaluar las diferencias entre los momentos de la encuesta (antes y después de la actividad). Para este análisis conjunto, se utilizaron tablas de contingencia y se aplicó el test exacto de Fisher, adecuado para análisis con frecuencias bajas.

Tabla 1. Cuestionario entregado a los participantes

Evaluación de contenidos	
1. ¿Qué son los líquenes?	Antes y después de la actividad
2. Escribe el nombre de un líquen	
3. ¿Para qué se pueden utilizar los líquenes?	
Evaluación de la actividad	
4. ¿Qué te ha parecido la actividad? Descríbelo con una sola palabra.	Después de la actividad
5. ¿Volverías a hacer una actividad relacionada con líquenes?	

3ª fase (en desarrollo): Mejora y validación del cuestionario y actualización y publicación de la Liquenédex

Esta última fase es una propuesta para incorporar mejoras en la actividad en el futuro. Para ello, por un lado, se realizará una validación del cuestionario y, por otro

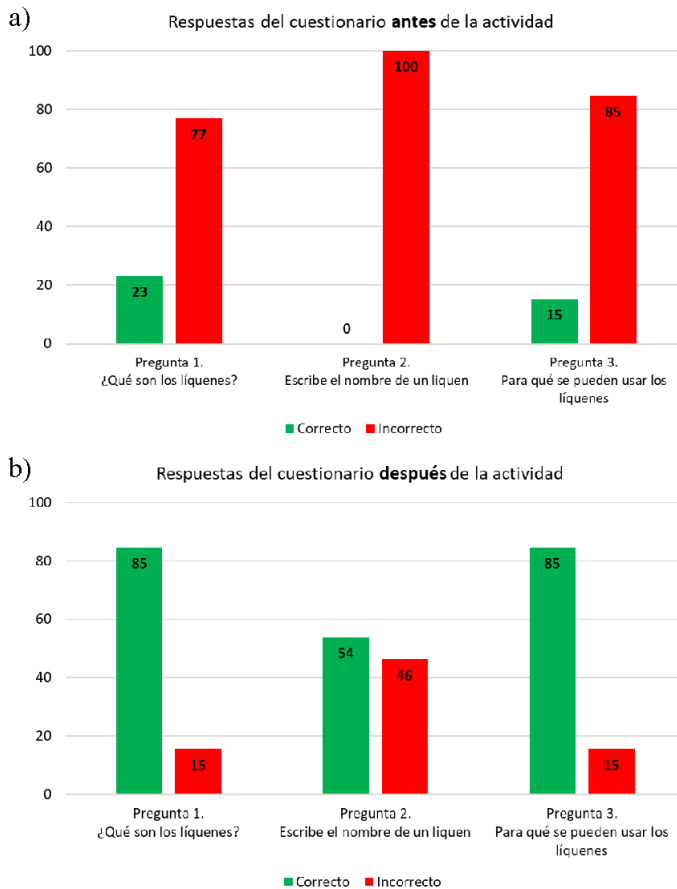
lado, se procederá a la publicación de la actividad Liquenédex para que pueda ser utilizada en otras actividades y centros educativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de contenidos

En cuanto a la evaluación de los contenidos, en la figura 3 a y b se muestran los resultados al cuestionario antes y después de la actividad, respectivamente.

Figura 3. Respuestas de los participantes al cuestionario sobre evaluación de los contenidos. a) antes de la actividad. b) después de la actividad



Respecto a las respuestas antes de la actividad, solamente un 23 % de los estudiantes sabía lo que era un líquen, frente al 77 % que no conocían este grupo de la biodiversidad. En cuanto a la pregunta 2, sobre el nombre de algún líquen, ninguno

de los asistentes respondió correctamente; mientras que a la pregunta 3, sobre si conocían usos de los líquenes, únicamente un 15 % respondió indicando algún uso.

Después de realizar la actividad, las respuestas correctas mejoraron considerablemente. Este resultado se corroboró mediante los resultados del test exacto de Fisher, que indicaron diferencias significativas en las respuestas antes y después de la actividad para las tres preguntas de la encuesta. Un 85 % aportó una definición correcta de liquen (el valor p para el test exacto de Fisher fue 0,0048, con una odds ratio de 15,72, sugiriendo que la probabilidad de responder correctamente esta pregunta aumentó significativamente tras la actividad); el 57 % respondió dando el nombre de un liquen (la pregunta 2 mostró un cambio completo en las respuestas afirmativas después de la actividad, con un valor p de 0,0052 y una odds ratio infinita para el test exacto de Fisher), respondiendo en algunos casos con el género *Ramalina* o *Parmelia*, la especie *Lasallia pustulata*, o Liquen geográfico. Este último se refiere a la especie *Rhizocarpon geographicum* y es de los pocos líquenes que tienen nombres vulgares. Respecto a la última pregunta, el 85 % respondió indicando un uso de los líquenes (el valor p para el test exacto de Fisher fue 0.0012 y la odds ratio de 24.62, lo que también indica un fuerte aumento en las respuestas afirmativas después de la actividad). Entre los usos nombrados por los educandos destacan: “para saber si el aire es malo o bueno”, refiriéndose a su uso como bioindicadores de la contaminación atmosférica y “para sacar colores”, es decir, para teñir.

En general, se observa que los estudiantes adquirieron conocimientos acerca de los líquenes y de sus usos, mejorando el porcentaje de acierto en todas las preguntas: del 23 % al 85 % en la pregunta 1; del 0 % al 54 % en la pregunta 2; y del 15 % al 85 % en la pregunta 3. Estos resultados reflejan un cambio significativo en las respuestas de los participantes, demostrando el impacto positivo de la actividad sobre las respuestas afirmativas en la encuesta post-actividad.

El estudio de los líquenes, y en general el reino de los hongos, es frecuentemente olvidado en los centros educativos. En general, el sistema educativo centra sus esfuerzos en la educación en el reino animal y vegetal (Zedda, 2023). Por ello, era de esperar que las respuestas al cuestionario antes de la actividad fueran mayoritariamente incorrectas, ya que los participantes no han recibido educación sobre estos organismos.

Si bien es cierto que, como ya se ha comentado, al comparar los dos grupos de edades mediante un test de Mann-Whitney U, no se encontraron diferencias entre ellos. Este resultado es muy positivo ya que demuestra que el estudiante ha sido capaz de adaptar la transmisión de la información para ser comprensible en ambos grupos de edades. Cabe destacar que la atención o la capacidad de concentración es un fenómeno que se genera a medida que el sujeto va desarrollándose, así pues, la atención para edades entre 8-11 se encuentra en torno a los 30 minutos, en cambio,

el grupo pre-adulto es capaz de mantener la atención por largos periodos de tiempo (Bayardo Flores, 2016).

Por último, conviene mencionar que, únicamente la mitad de los educandos (54 %) contestó con el nombre de un líquen después de la actividad, esto puede ser debido a que los líquenes, habitualmente, no tienen nombres comunes. Por lo que siempre se refería a ellos por su nombre científico, siendo poco atractivos y produciendo rechazo a memorizarlo.

Evaluación de la actividad

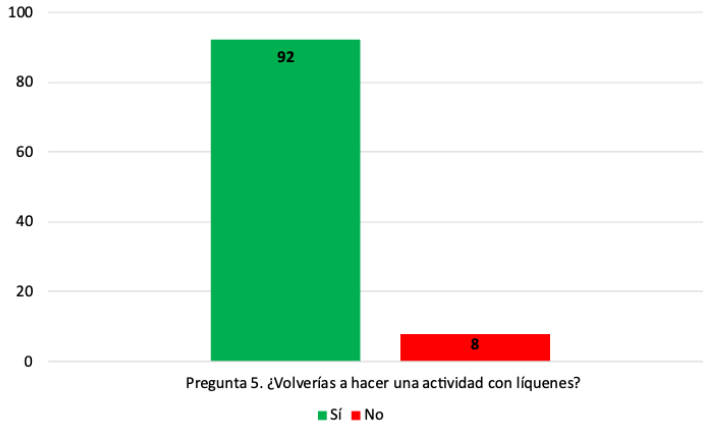
En cuanto a la evaluación de la actividad, las impresiones de los participantes sobre la actividad se muestran en la figura 4. Como se observa, todos los participantes describieron la sesión de forma positiva.

Figura 4. Nube de palabras generada a partir de las respuestas de los participantes a resumir en pocas palabras lo que les había parecido la actividad. Las palabras se muestran en distinta intensidad



Por otro lado, el 92 % de los participantes sí volvería a realizar una actividad con líquenes (Figura 5), lo que anima a seguir realizando actividades de ApS relacionadas con líquenes.

Figura 5. Respuestas de todos participantes a si volverían a realizar una actividad con líquenes



Finalmente, el alumno responsable de la actividad considera que la metodología ApS es muy útil para la enseñanza de estos organismos, así como para el crecimiento personal y profesional de quien la imparte (Puig Rovira y Palos Rodríguez, 2006). Esto se debe a su participación activa en todo el proceso, que incluye desde el planteamiento y desarrollo de la actividad, hasta la toma de decisiones, reflexión y el ajuste según lo observado.

CONCLUSIONES

En conclusión, la Liquenédex ha resultado ser una herramienta eficaz para la enseñanza de los líquenes, demostrando en todos los casos un incremento en los conocimientos sobre estos seres vivos al finalizar la sesión.

Igualmente, a través de esta actividad se ha conseguido que los ciudadanos participantes sean conscientes de la existencia de los líquenes y, además, de que quieran seguir aprendiendo sobre ellos en otras actividades relacionadas con estos organismos.

Además, esta actividad de ApS ha promovido un crecimiento profesional y crítico en el alumno, quien ha estado involucrado en todas las etapas del desarrollo del ApS, desde su propuesta inicial, la reflexión y los ajustes necesarios, hasta su finalización. Al mismo tiempo, ha integrado a todos los participantes del ApS (Universidad de León y RBVOyL) a lo largo de todo el proceso.

Por último y con todo lo ya expuesto, el ApS se considera una metodología adecuada para desarrollarse en prácticas como la “Campus Rural”.

REFERENCIAS

Acedo, C., Alfaro-Saiz, E., Alonso, Y., Fernández-Salegui, A. B., Fernández-Santos, D., González-Sierra, G., Lence, C., Lois, R., Pérez-Llamazares, A., Santamarina, S., y Trobajo, S. (2020). Prácticas de alto impacto y aprendizaje activo para la adquisición de competencias específicas en botánica. *AmbioCiencias*, 18, 106-120.

Allen, J. L., y Lendemer, J. C. (2021). *Urban Lichens: A Field Guide for Northeastern North America*. Yale University Press.

Anderson, J., Lévesque, N., Caron, F., Beckett, P., y Spiers, G. A. (2022). A review on the use of lichens as a biomonitoring tool for environmental radioactivity. *Journal of Environmental Radioactivity*, 243, 106797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106797>

Batlle, R. (2011). ¿De qué hablamos cuando hablamos de aprendizaje-servicio? *Crítica*, 972, 49-54.

Bayardo, E. (2016). Proceso de la atención y su implicación en el proceso de aprendizaje. *Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 7(3).

de Gea, A. B., y Pérez-Ortega, S. (2020). Liquencity: Busca líquenes urbanitas y conoce la calidad del aire de tu ciudad. *Conservación Vegetal*, 24, 42-45.

Fernández-Salegui, A. B., Rodríguez-Fernández, S., Alfaro-Saiz, E., Vega-Maray, A. M., y Acedo, C. (2023). El uso del entorno inmediato en educación superior. *Cuadernos de Pedagogía*, 546.

Hawksworth, D. L., y Grube, M. (2020). Lichens redefined as complex ecosystems. *The New Phytologist*, 227, 1281. doi: 10.1111/NPH.16630

MITECO. (2024). Programa Campus Rural. Prácticas Universitarias en Entornos Rurales. Recuperado el 8 de octubre de 2024. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/retodemografico/temas/campus_rural.html

Pinillas, S., y Torralba-Burrial, A. (2021). El cuaderno de campo como eje del aprendizaje de naturaleza cercana en Educación Infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3202. doi: 10.25267/REV_EUREKA_ENSEN_DIVULG_CIENC.2021.V18.I3.3202

Puig, J. M., y Palos, J. (2006). Rasgos pedagógicos del aprendizaje-servicio. En *Cuadernos de Pedagogía* (pp. 60-63).

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing* (Versión 4.3.0) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.R-project.org/>

Rambold, G. (2015). The diversity of lichenised fungi: Ecosystem functions and ecosystem services. En D. Upreti, P. Divakar, V. Shukla, y R. Bajpai (Eds.), *Recent Advances in Lichenology: Modern Methods and Approaches in Lichen Systematics and Culture Techniques, Volume 2* (pp. 121-146). Springer. doi: 10.1007/978-81-322-2235-4_7/TABLES/1

Wudu, K., Abegaz, A., Ayele, L., y Ybabe, M. (2023). The impacts of climate change on biodiversity loss and its remedial measures using nature based conservation approach: A global perspective. *Biodiversity and Conservation*, 32(12), 3681-3701. doi: 10.1007/S10531-023-02656-1/METRICS

Zedda, L. (2023). The importance of a transformative biodiversity education for perceiving, appreciating and supporting lichen diversity in German urban environments. *The Lichenologist*, 55, 161-168. doi: 10.1017/S0024282923000312

CAPÍTULO 33

CONCIENCIANDO: UN PASO MÁS EN EL APRENDIZAJE-SERVICIO

ANA PAULA MELERO CASTELLOT*, ANA MARÍA VEGA MARAY**,
ANA BELÉN FERNÁNDEZ SALEGUI**, RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ**,
CARMEN ACEDO**, ALBERTO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ**,
CLARA RUBIO REINARES**, SERGIO RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ**,
ESTRELLA ALFARO SAIZ**, Y RAÚL LOIS MADERA**
**Estudiante Biología en León; **Universidad de León*

INTRODUCCIÓN

Los estudiantes que continúan su formación en la universidad son los futuros transmisores de conocimientos académicos a generaciones futuras. Durante mucho tiempo se ha centrado la docencia en la exposición de lecciones magistrales en el aula. Existen nuevas metodologías que pueden y deben aplicarse en estudios superiores y que facilitan enormemente el aprendizaje (Furco, 2009).

Una de ellas es el Aprendizaje-Servicio (en adelante ApS) (Sigmon y William Ramsey, 1967), método que aboga por formar no sólo estudiantes sino ciudadanos, partiendo de la enseñanza horizontal, en la que el conocimiento pasa de unas personas a otras, con el fin de que siga siendo extendido y creando una larga cadena donde no se pierda la información. La evolución de este método contempla la inclusión de los propios estudiantes en el codiseño de las actividades (Ayuste et al., 2016), algo implementable en un entorno universitario en el que estas prácticas abordan desafíos de la vida profesional y permite a los estudiantes transferir lo aprendido a situaciones reales (Mayor Paredes, 2019). Además, estas herramientas de enseñanza alternativas y experienciales parecen ser muy eficientes cuando se trata de trabajar sobre temas relacionados con la sostenibilidad, los retos ambientales y el cambio de paradigma de la relación de la sociedad con la naturaleza (Hernández-Barco et al., 2020).

Partiendo de estos fundamentos y, desde el punto de vista de los estudiantes del grado en Biología, pero también de parte del profesorado, existen muchas opciones de mejora en la enseñanza de este tipo de grados. Las enseñanzas unilaterales fundamentadas en clases teóricas (Imbernón y Medina, 2008) apoyadas en proyecciones muy alejadas de estrategias educativas más efectivas y modernas son poco motivadoras. Especialmente de los grados relacionados con el medio ambiente, las salidas de campo proporcionan la posibilidad de observar la naturaleza de forma directa.

Ante la escasez de trabajos académicos centrados en el ApS desde el punto de vista del estudiante (Mayor, 2019), se propuso la realización de una breve encuesta

(Figura 1) para conocer el grado de satisfacción o incluso el conocimiento de los alumnos de la Universidad de León en su participación en actividades ya realizadas por profesorado del grupo de innovación docente ACBoSCo (GID ULE 39 para la Adquisición de Competencias en Botánica Sistemática, Conservación y Gestión) perteneciente al Área de Botánica de la misma institución.

De esta forma, en este trabajo supervisado por el equipo docente e investigador del área de Botánica, abordamos otro punto de vista, el del estudiante, y mejorar en el diseño de actividades para implementar este tipo de metodologías en estudios de grado en la universidad, que son perfectamente aplicables en cualquier nivel de enseñanza (Palos Rodríguez y Puig Rovira, 2006). Precisamente, son este tipo de estudios los que permiten la retroalimentación entre el alumnado y el profesorado, y la propuesta de mejoras o la consolidación de las partes positivas para crear un método bien diseñado y más efectivo.

Para este trabajo, nos planteamos dos fases diferenciadas; por un lado, el análisis de la participación de estudiantes en estas actividades y, por otro, el diseño de una propuesta de realización de prácticas externas curriculares basadas en el mismo método y sus posibles mejoras con visión de futuro.

El uso de infografías y videos centrado en el correcto tratamiento de materiales biológicos, principalmente de la conservación de plantas (Balding y Williams, 2016), puede ayudar a combatir la “ceguera botánica” referida a la escasez de conocimiento de la población por la biodiversidad vegetal (Wandersee y Schussler 1999).

Se plantean las prácticas como un ApS para la elaboración de material docente más visual facilitando la tarea de comprensión y ampliación de un imaginario diseñado por parte del alumnado y adaptado a las necesidades del propio alumnado. Así pues, se promueve el servicio solidario por parte del alumnado atendiendo necesidades de una comunidad e incluyendo contenidos curriculares para optimizar los aprendizajes (Tapia, 2008).

MÉTODO

Fase 1: Análisis de las diferentes experiencias de ApS en el Área de Botánica de la Universidad de León

Existen dos actividades principales en las que se han implementado actividades de ApS: ACTIVALEB (Alfaro-Saiz, Fernández-Salegui y Acedo, 2019) y Actividades ApS en el grupo de investigación TaCoBi (en adelante, ApS-TaCoBi). En primer lugar, las prácticas de diversos alumnos en el Herbario Jaime Andrés Rodríguez (LEB) de la Universidad de León, servicio de investigación de la universidad, se realizaron bajo la tutela de la directora y conservadora (<https://servicios.unileon.es/herbario/>) y el técnico del servicio. En segundo lugar, los estudiantes que realizaron sus prácticas en el grupo de investigación Taxonomía y Conservación de la Biodiversidad (TaCoBi), del

área de Botánica realizadas en diversos contextos, bajo la tutela de los investigadores de dicho grupo. Ejemplo de ello es la participación en actividades como la Exprociencia -evento de divulgación científica en la que participan muchos grupos de investigación de la universidad- o en el IV Biomaratón de Flora Española (Biomaratón de Flora Española, 2023) -una de las actividades promovidas durante la semana de la fascinación por las plantas (<https://www.biomaratonflora.com/>) en la que los estudiantes de la asociación universitaria Bioma participan en el diseño y acompañamiento del proyecto de rutas de observación de plantas en distintos lugares de la provincia de León, bajo el nombre de “BIOMA-ratón”. Además de estas dos actividades principales, ApS-TaCoBi incluye la participación en otros proyectos del grupo, más reducidos en cuanto al número de participantes. Esta dinámica promueve el aprendizaje entre profesores, estudiantes y participantes de la actividad, fomentando la equidad en la colaboración.

Una vez realizadas las tareas diseñadas por el alumnado, junto con sus tutores y acompañantes del proyecto, a los estudiantes se les pidió que contestaran a una encuesta compuesta por once preguntas análogas a cada actividad, varias de ellas con respuestas graduales adaptadas a la escala Likert (Likert, 1932) en el que las respuestas fueron asignadas a un valor del 1 al 5 en función de su percepción o actitud, además de otras preguntas en las que los estudiantes plasmaron su opinión y su experiencia (Figura 1). Como había dos grupos principales de actividades ApS, se evaluó la existencia de diferencias significativas entre los resultados de satisfacción entre ACTIVALEB y ApS-TaCoBi, en las dos variables de la encuesta: valoración de la experiencia y valoración del aprendizaje sobre el funcionamiento y las labores cotidianas que se llevan a cabo en un grupo de investigación. Para ello, se llevó a cabo un test no paramétrico de Mann-Whitney U, debido a la naturaleza no paramétrica de las variables ordinales, como resultado de la escala de Likert utilizada mediante el programa estadístico R (R Core Team, 2023). La hipótesis inicial o hipótesis nula (H_0) de partida fue la no existencia de diferencias significativas en la distribución de los puntajes de ambas variables (valoración de la experiencia y valoración del aprendizaje) entre los estudiantes que participaron en ACTIVALEB y ApS-TaCoBi.

Este análisis previo al eje principal de la actividad por parte de la estudiante en sus prácticas curriculares permite comprobar si es necesario reajustar la metodología y conocer los puntos débiles observados por alumnos que han vivido situaciones similares mejorando las actividades de ApS. Esto permite mejorar la calidad del diseño de las actividades pensando en trabajos futuros desde el punto de vista del estudiante, siendo útil para toda la comunidad educativa al centrarse en sus necesidades.

Precisamente, esa preparación previa unida a la colaboración de profesoras del Área de Botánica y la información de lo que se realizará en las futuras prácticas

permite una co-creación y asienta unas bases que facilitan la estructura y el desarrollo de las mismas. El hecho de que este trabajo sea realizado en colaboración tanto por docentes como por estudiantes es un ejercicio de horizontalidad y transparencia. Esta colaboración produce resultados valiosos para la mejora de las actividades educativas, al involucrar activamente a todas las partes implicadas.

Fase 2: Diseño de una actividad de Aprendizaje-Servicio en un contexto de prácticas curriculares en el grupo de investigación TaCoBi

Esta fase consiste en el desarrollo de las actividades que, tras el estudio de la fase anterior, permite implementar mejoras a través del estudio de las fortalezas y las debilidades de la misma.

El proceso de diseño de la actividad ApS comenzó con una etapa de observación y diagnóstico de carencias o dificultades de distintas asignaturas. Así pues, la parte más importante donde podrán verse resultados, comienza con la búsqueda de los puntos débiles en las asignaturas del Grado en Biología impartidas por profesorado del área de Botánica y se basa, además, en su experiencia. Con ello, se van a generar una serie de estrategias que permitan mejorar los conocimientos impartidos en dichas asignaturas e idear una serie de actividades que permitan al alumnado comprender mejor algunos conceptos estudiados o, simplemente, ampliar conocimientos en las distintas áreas a tratar.

Una vez detectadas las necesidades en el diseño de las actividades se requiere de una planificación conjunta entre estudiantey profesorado, asegurando que las actividades y materiales desarrollados respondan a las necesidades observadas, así como al aprendizaje de la alumna que lo desarrolla, detectando las asignaturas y las competencias del Grado en Biología que se quieren trabajar. Con todo ello se plantean las diferentes tareas y configuraciones del ApS, acordándose varios formatos para cumplir con las mejoras propuestas derivadas de la anterior fase:

-Póster informativo o infografía: láminas con información concisa y muy visual para facilitar el aprendizaje y comprensión de figuras biológicas y sus partes principales, en ocasiones con un carácter más artístico y en otras más esquemático. Este formato es seguramente el que más se adapta a cualquier rango de edad y a cualquier temática.

-Video: imágenes en movimiento con breves explicaciones de carácter divulgativo sobre aspectos técnicos e incluso tutoriales, facilitando así la realización, por parte de los alumnos, de algunas tareas propuestas por profesores en las aulas, las cuales no han sido explicadas de una forma detallada o la explicación ha sido teórica. Es importante que sean claros y sencillos para que puedan llevarse a cabo sin ninguna problemática y consigan el fin para el que son creados. Ejemplo de ello es la generación de material audiovisual en el que se expongan los conocimientos y

especialmente las habilidades necesarias para el adecuado procesamiento de material vegetal y fúngico, lo cual es fundamental para el desarrollo de las actividades prácticas en botánica y que se ha detectado como una carencia, tanto por parte de los estudiantes, como de los docentes.

-Fichas: breves guías de campo ilustradas con información sobre las especies seleccionadas, facilitando así su búsqueda y reconocimiento en la naturaleza. Además, permiten acercar a la ciudadanía la ciencia de una forma atractiva, sencilla y dinámica, así como el reconocimiento de especies endémicas y con distintos usos para el ser humano.

Una vez escogidos los formatos de divulgación principales comienza la recogida de datos e información que será incluida en los mismos y que irá acompañada por un guion con los aspectos más importantes a reflejar en el trabajo. Para ello el alumno seleccionará aquella información que será procesada por la estudiante para dar el servicio al resto de alumnado, por lo que ésta es, probablemente, la etapa que requiere de mayor precisión y dedicación.

Con fines estéticos, se contará con algún ilustrador que facilite la tarea de plasmar en forma de dibujo o esquema el tema en cuestión o de fotografías que cedan fotografías de carácter científico para la correcta comprensión del tema a tratar, ya que igual de importante es la información como la base visual que lo acompaña.

Cuando se unen imagen e información, pasa de nuevo a ser revisado por todos los agentes implicados con el fin de detectar posibles errores aún subsanables, así como, mejoras y carencias de la información mostrada.

RESULTADOS

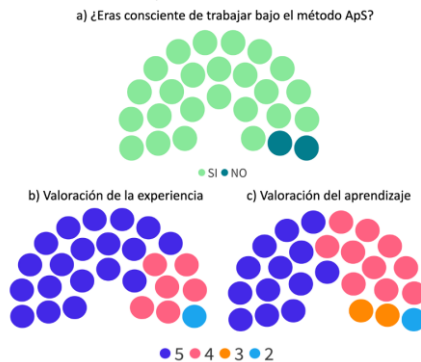
Fase 1: Análisis de las diferentes experiencias de ApS en el Área de Botánica de la Universidad de León

La población final, por tanto, constó de 26 estudiantes que participaron en las experiencias de ApS propuestas por los profesores.

En primer lugar, se analizaron de manera conjunta los resultados de los cuestionarios obtenidos de las actividades de ApS realizadas en el marco de ACTIVALEB y ApS-TaCoBi, ya que los resultados del Test de Mann-Whitney U no nos permitió rechazar la hipótesis nula en ninguno de los casos, puesto que el resultado del test presentó un nivel de significación menor de 0,05 para las variables valoración de la experiencia y valoración del aprendizaje. Esto quiere decir que, en ambos casos no hay suficiente evidencia estadística para concluir que las respuestas de los estudiantes difieren significativamente entre las actividades ACTIVALEB y ApS-TaCoBi (Figura 1). Tras analizar las respuestas de los participantes en las diferentes actividades, las calificaron con una valoración muy alta, siendo la media obtenida de

4,67 para la variable valoración de la experiencia y 4,37 para la variable valoración del aprendizaje sobre un máximo de 5.

Figura 1. Resultado de las valoraciones obtenidas en las encuestas realizadas a los estudiantes para las preguntas a) ¿Eras consciente de trabajar con una metodología de Aprendizaje-Servicio? b) Valoración de la experiencia c) Valoración de tu aprendizaje sobre el funcionamiento y las labores cotidianas que se llevan a cabo en la actividad de Aprendizaje- Servicio en la que has participado



Se observa que existe una alta satisfacción por parte de los alumnos en la participación en actividades planteadas mediante el ApS (Figura 1). Además, las palabras que los asistentes utilizaron para resumir la actividad tenían connotaciones positivas, como puede verse en la nube de palabras de la Figura 2 destacando palabras como “conocimiento”, “interés” y “utilidad”. Los resultados, por tanto, muestran una acogida positiva y una opción viable a futuro para este tipo de actividades.

Figura 2. Resultado de las palabras resumen de la experiencia vivida por los estudiantes



Tras analizar todos los comentarios del cuestionario, se propone hacer hincapié en las propuestas de cambios, dedicando esfuerzo en buscar nuevas metodologías y actualizaciones, así como a reforzar los aspectos positivos enumerados por los estudiantes.

El alumnado destaca como características positivas el dinamismo y equidad del método de trabajo, la libertad y aprendizaje obtenidos e, incluso, la importancia de la información que se comparte y el trato con la gente para la continuidad del ciclo que es el método ApS.

Por otro lado, como aspectos a mejorar indican la posible monotonía en algunas actividades y el tiempo que puede llevar en ocasiones acostumbrarse a nuevos métodos de trabajo y a rutinas desconocidas.

Fase 2: Diseño de una actividad de Aprendizaje-Servicio en un contexto de prácticas curriculares en el grupo de investigación TaCoBi

La fase 2 implica una propuesta que implemente los resultados obtenidos de la fase anterior. Por un lado, implementar una propuesta que resuelva las carencias encontradas en las actividades implementadas en dicha fase, tales como la monotonía de algunas tareas (punto negativo destacado en reiteradas ocasiones por los estudiantes de las actividades ApS analizadas), permite desde un inicio corregirlo. En esta etapa se recogen, además, las asignaturas y competencias que pretenden ser trabajadas en esta propuesta (Tablas 1 y 2).

Se propone también, como otro aspecto a mejorar, el hecho de promover la equidad y el buen trato en ambas direcciones de la relación estudiante-tutor, para implementar un diseño basado en la cooperación e implicación. Por último, otra de las cuestiones de mejora a implementar es el de hacer los resultados de las actividades ApS más accesibles para la sociedad, tanto educativa, como la sociedad general.

Ejemplo de un resultado de los esperados en esta fase son, como se aprecia en la Fig. 1, propuestas ya realizadas a través de la Asociación Universitaria Bioma para la Expociencia, que pretendían acercar ciencia a estudiantes de secundaria y bachillerato.

Figura 3. Pósters divulgativos, a la izquierda principales diferencias entre una bacteria y un virus, a la derecha partes y cortes histológicos de una planta



Como resultado final de la propuesta, se pretende aportar mediante una serie de nuevos materiales confeccionados por la alumna, un suplemento que permita al alumnado completar conocimientos que no se muestran en profundidad en las aulas y que se hayan generado en base al conocimiento y la experiencia de los propios estudiantes. De esta forma, se ahonda en la implementación y mejora de las metodologías ApS de forma extracurricular para que poco a poco sea un recurso curricular en las guías docentes de más asignaturas presentes en grados de ciencias, y conseguir de este modo la institucionalización del ApS en la Universidad a nivel curricular.

Tabla 1. Principales asignaturas del Grado en Biología de la Universidad de León, relacionadas con la actividad de Aprendizaje-Servicio en las prácticas curriculares para el grado universitario de Biología. FB (Formación básica), OB (Obligatoria) y OP (Optativa)

Asignatura	Curso	Tipo
Biología I	1º	FB
Biología II	1º	FB
Botánica fundamental	2º	OB
Fisiología vegetal	2º	OB
Fisiología vegetal aplicada	3º	OB
Botánica avanzada y aplicada	3º	OB
Fisiología ambiental de las plantas	4º	OP
Metabolismo secundario de las plantas	4º	OP
Biología de la conservación	4º	OP

Tabla 2. Competencias que se esperan desarrollar durante el desarrollo de las prácticas

Competencias básicas	
1.	Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.
2.	Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
3.	Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.
4.	Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
Competencias generales	
	Utilizar correctamente la terminología específica de la disciplina
Competencias transversales	
Instrumentales	Capacidad de organización y planificación
Instrumentales	Comunicación oral y escrita
Instrumentales	Capacidad de análisis o síntesis
Instrumentales	Capacidad de gestión de la información

Tabla 2. Competencias que se esperan desarrollar durante el desarrollo de las prácticas (continuación)

Competencias transversales	
Personales	Trabajo en equipo
Personales	Razonamiento crítico
Personales	Compromiso ético
Sistémicas	Aprendizaje autónomo
Sistémicas	Adaptación a nuevas situaciones
Sistémicas	Creatividad
Sistémicas	Iniciativa y espíritu emprendedor
Competencias específicas	
·Niveles de organización en los sistemas vivos. Obtención, manejo e identificación de organismos.	
·El comportamiento de los seres vivos, análisis e interpretación.	
·Estructura y dinámica de poblaciones. Muestreo, caracterización y manejo de poblaciones y comunidades.	
·Métodos y procedimientos para la gestión, conservación y restauración de poblaciones y ecosistemas.	
·Trabajar de forma adecuada en un laboratorio biológico. Protocolos y procedimientos.	

Aun existiendo aspectos positivos, se obtuvieron algunos comentarios negativos que permiten mejorar las dinámicas de las actividades y que plantean nuevas vías de desarrollo. Algunos de ellos fueron la percepción de monotonía en algunas tareas, lo que plantea la necesidad de diversificar las actividades para mantener el interés de los estudiantes, así como flexibilidad en los tiempos de acomodación a nuevas tareas.

En la fase de desarrollo se planteó la creación de material didáctico más visual y atractivo para facilitar la tarea a estudiantes de la adquisición de competencias y aptitudes complementarias a las impartidas por los profesores en las aulas. Esto no solo repercutirá en los estudiantes, sino que también permitirá una mayor accesibilidad y participación del público general, combatiendo fenómenos como la “ceguera botánica” y promoviendo la difusión del conocimiento científico.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio sobre la implementación del ApS en la docencia universitaria a través de los análisis realizados en dos actividades promovidas por el GID ACBOSCO de la Universidad de León y las posteriores encuestas, confirman que dicho método es efectivo, permitiendo aplicar conocimientos adquiridos en experiencias reales.

El análisis estadístico permite concluir que, independientemente de la tarea llevada a cabo por el alumno, se obtienen una serie de beneficios destinados al aprendizaje. Esto se respalda con los comentarios positivos obtenidos en las encuestas en las que se destacaron aspectos como la utilidad del aprendizaje práctico y el interés generado en los estudiantes.

En conclusión, el ApS es una metodología con una buena acogida por parte del alumnado que ha participado en las distintas actividades del GID ACBOSCO en el Área de Botánica de la Universidad de León. Esto permite ver el gran potencial que puede suponer ampliar estas metodologías en otras áreas del conocimiento en grados universitarios con la expectativa de que se convierta en un recurso curricular habitual en los grados de ciencias, implementando así el trabajo en equipo y la creación de redes de conocimiento interdisciplinares.

Consideramos que es indispensable para la implementación del método el clima de igualdad entre estudiantes y profesorado, permitiendo el aprendizaje horizontal y la co-creación de espacios de enseñanzas bilaterales en ambas direcciones. Por un lado, se considera importante hacer partícipe al estudiantado de su propio aprendizaje, siendo capaces de transmitir los conocimientos adquiridos durante el grado a la población que quiere acercarse más a la ciencia. Por otro lado, el profesorado y los investigadores, que son partícipes y piezas fundamentales en este tipo de metodologías, se animan a crecer y avanzar en la carrera, permitiendo ser parte de un equipo.

Sin la participación conjunta de profesores, alumnos y ciudadanos, no funcionarían actividades como esta. La ciencia debe llegar a cualquier persona, ya que la ignorancia y el desconocimiento llevan a la regresión, falta de respeto por el medio y pérdida de biodiversidad. Para avanzar, primero se debe conocer y para conocer se deben enseñar, por eso se aboga por la formación integral de estudiantes que pasarán a ser ciudadanos responsables y por tanto conservadores del planeta que habitamos.

REFERENCIAS

Alfaro-Saiz, E., Fernández-Salegui, A. B., y Acedo, C. (2019). ACTIVALEB herbario digital vivo: herramienta de aprendizaje activo y de servicio. En *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura* (pp. 445-456). Dykinson.

Ayuste, A., Escofet, A., Obiols, N., y Masgrau, M. (2016). Aprendizaje-servicio y codiseño en la formación de maestros: vías de integración de las experiencias y perspectivas de los estudiantes. *Bordón*, 68(2), 169-183.

Balding, M., y Williams, K. J. H. (2016). Plant blindness and the implications for plant conservation. *Conservation Biology*, 30(6), 1192-1199.

Biomaratón de Flora Española. (2023). Recuperado el 6 de septiembre de 2024. Recuperado de <https://www.biomaratonflora.com/>

Furco, A. (2009). *Institutionalizing Service-Learning in Higher Education*. University of Minnesota, Office for Public Engagement.

Hernández-Barco, M., Sánchez-Martín, J., Blanco-Salas, J., y Ruiz-Téllez, T. (2020). Teaching Down to Earth—Service-Learning Methodology for Science Education and Sustainability at the University Level: A Practical Approach. *Sustainability*, 12(2), 542.

Imbernón, F., y Medina, J. L. (2008). *Metodología participativa en el aula universitaria: La participación del alumnado*. Barcelona: Octaedro.

Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 5-55.

Márquez-Corro, J. I., Jiménez-Mejías, P., Fernández-Mazuecos, M., Ramos-Gutiérrez, I., Martín-Hernanz, S., Martín-Bravo, S., Alfaro Saiz, E., Blanco-Salas, J., Borrás, J., Capó, M., Carrera-Bonet, D., de la Fuente Brun, P., Fernández-Lesaga, A., Garnatje, T., Gorriz-Huarte, L., Molino, S., Nualart, N., y Mairal, M. (2021). I Biomaratón de Flora Española: ciencia ciudadana para visibilizar la biodiversidad vegetal. *Conservación vegetal*, 25, 33-37.

Mayor, D. (2019). El aprendizaje-servicio como eje articulador de procesos de desarrollo personal-estudiantil y social en el estudiantado universitario. *Perfiles educativos*, 41(166), 124-140.

Palos, J., y Puig, J. M. (2006). Rasgos pedagógicos del aprendizaje-servicio. *Cuadernos de pedagogía*, (357), 60-63.

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing* (Versión 4.3.0) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.R-project.org/>

Tapia, M. N. (2008). *Aprendizaje y servicio solidario*. Buenos Aires: Ciudad Nueva.

Wandersee, J. H., y Schussler, E. E. (1999). Preventing Plant Blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 82-86.

CAPÍTULO 34

PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON OPENSSE EN ASIGNATURAS DE ÁLGEBRA

FRANCISCO MIGUEL GARCÍA OLMEDO Y PEDRO GONZÁLEZ RODELAS

Universidad de Granada

INTRODUCCIÓN

En los cursos de iniciación a los grados de Matemáticas o Ingeniería Informática suele haber asignaturas de contenido simbólico como es el caso del "Álgebra". Pese a tener esta asignatura un nivel acorde al curso, es imprescindible introducir en ellas el dominio euclídeo de polinomios con coeficientes en un cuerpo y también el cálculo matricial simbólico.

En este contexto los alumnos encuentran un nivel de abstracción en la exposición que puede ser chocante a primera vista. Por ello es considerado imprescindible que las clases teóricas sean acompañadas de un contenido eminentemente práctico, Para ello podemos ilustrar los contenidos teóricos con, por ejemplo, la explicación en el aula de prácticas de los fundamentos matemáticos del algoritmo criptográfico Rijndael; consideramos que esto es una innovación de calidad por su sencillez y eficacia, además de que no hemos encontrado material pedagógico que proporcione este enfoque.

En el laboratorio de estas asignaturas tendremos a disposición un software gratuito que incluso podría venir ya instalado por defecto en los sistemas operativos; se trata del robusto paquete de herramientas de administración y bibliotecas relacionadas con la criptografía conocido con el nombre OpenSSL y que da sustento a otro paquete llamado OpenSSH y a los navegadores cuando necesitan acceder de forma segura a sitios que interactúan con el protocolo conocido como HTTPS.

En la faceta de cifrado este software permite emplear el criptosistema denominado AES que representa una modificación del algoritmo Rijndael. La simplicidad conceptual de AES en lo que se refiere al uso de matrices, polinomios y cuerpos finitos podría permitir una somera exposición de su fundamento que sería fácilmente entendida gracias a las clases teóricas. La vistosa contrapartida práctica que afanzara definitivamente las ideas podría ser un ejercicio de comunicación cifrada y firmada con ficheros pdf voluminosos, simulando ser un tutorial de un producto industrial o asimilable empleando para ello, por ejemplo, los propios apuntes de clase.

En este capítulo desarrollamos el escenario descrito y ejemplificamos el ejemplo de comunicación con AES en el contexto del formato de comunicación SMIME, cuyo

uso es tan poco explicado en la bibliografía -incluso la especializada- y que nosotros desarrollaremos detalladamente.

La matemática bajo AES

El sistema de cifrado AES (acrónimo de "Advanced Encryption Standard") basado en el algoritmo Rijndael, palabra del neerlandés, es un esquema de cifrado por bloques creado en Bélgica y adoptado como estándar por el gobierno de EEUU. Fue anunciado por el NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) como FIPS PUB 197 el 26 de noviembre de 2001 después de un proceso de estandarización que duró cinco años. Alcanzó oficialmente el grado de estándar efectivo el 26 de mayo de 2002. La cifra fue desarrollada por Joan Daemon y Vincent Rijmen, ambos estudiantes de la Katholieke Universiteit Leuven, y fue sometida a un proceso de selección denominado AES bajo el nombre de "Rijndael". En la práctica AES fue adoptado como sustituto del archiconocido criptosistema clásico de cifrado por bloques DES al ser éste considerado vulnerable en cierta medida. AES es una elegante y sencilla aplicación tanto del álgebra básica de primer curso de cualquier grado de matemáticas como de programación.

En las clases prácticas de matemáticas previas pondremos en claro la matemática que subyace a AES. Las líneas generales de ese contenido serán como especificamos seguidamente.

En primer lugar trataremos el apartado de AES y los cuerpos finitos según el siguiente esquema:

- Definiremos el polinomio $m(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x + 1$ perteneciente al dominio euclídeo $\mathbb{Z}_2[x]$ y demostraremos que en él es irreducible.
- Concluiremos que $\mathbb{Z}_2[x]_{m(x)}$ es un cuerpo, enseñando al alumno a encontrar el inverso de cada elemento no nulo del conjunto subyacente, lo que conllevará una aplicación del Algoritmo Extendido de Euclides. Por supuesto que abundaremos en ejemplos.
- Explicaremos cómo representar los elementos de $\mathbb{Z}_2[x]_{m(x)}$ como bytes, para seguidamente trasladar las operaciones suma y producto del cuerpo a las operaciones con bytes representadas ahora como \oplus y \cdot respectivamente.

Después de un número conveniente de ejercicios, que podemos llevar a cabo a mano o con software especial tipo Sagemath, pasaremos a estudiar cómo intervienen los polinomios de grado tres en la implementación de AES. Para ello consideraremos:

- El anillo de polinomios $GF(2^8)[x]$ y la aritmética de $GF(2^8)[x]_{u(x)}$, donde
- $u(x) = x^4 + 1$.

- En este nuevo anillo volveremos a considerar las operaciones de suma y producto, representadas respectivamente por $+$ y \otimes .
- La operación $+$ se reduce a efectuar \oplus por cada pareja de coeficientes, mientras que \otimes invocará la aritmética matricial según los coeficientes de los polinomios en un producto de una matriz 4×4 por otra 4×1 . Encontrar esas matrices es un ejercicio sencillo de gran interés, pues intervienen varios aspectos interesantes de aritmética modular.
- Uno de los ejemplos visitados será el de multiplicar polinomios $b(x)$ por $a(x) = \{01\}x^3 + \{00\}x^2 + \{00\}x + \{00\}$, en cuyo momento haremos observar que $a(x) \otimes b(x)$ supone un giro de paso uno en el sentido contrario al de las agujas del reloj (destrógiro) en los coeficientes de $b(x)$.

Al explicar someramente el algoritmo cifrador de AES nos detendremos en la transformación `SubBytes()` pues nos permitirá poner en práctica de forma vistosa todo lo anterior. De forma análoga visitaremos las transformaciones `ShiftRows()` y `MixColumns()`, las cuales merecen análogo comentario de vistosidad.

APLICACIÓN EN LABORATORIO DE LOS CONTENIDOS MATEMÁTICOS BAJO AES

El supuesto de laboratorio es estar en la necesidad de transmitir cifrado y firmado un manual extenso en formato `.pdf`. Podríamos pensar que es el manual de un producto industrial de alta tecnología aún en pruebas, que debemos hacer llegar con las máximas medidas de seguridad a un equipo colaborador.

Hoy por hoy este tipo de operación puede ser llevado a cabo de forma óptima con S/MIME de OpenSSL. Destacaremos que es una herramienta muy poco documentada debido a que es empleada por los clientes de correo de forma transparente al usuario, con unas soluciones tecnológicas no divulgadas. Seremos nosotros quienes pongamos aquí en claro esas soluciones, además de que el cifrado lo haremos con AES para dar continuidad a las clases prácticas.

Cifrado y Firma de un Emisor a un Receptor

Consideramos que los emisores y receptores disponen de los certificados necesarios en la carpeta ``keys`` a la altura de la que podríamos llamar ``sender`` o ``receiver``. Los documentos a manipular estarán en la carpeta ``message`` a la altura de la de las claves ``keys``.

Nos situamos en el directorio ``sender`` (el usuario Bob) y firmamos el fichero `.pdf`, en este caso ``gdh.pdf`` con nuestro certificado para tranquilidad del receptor. Usamos la opción ``binary`` ya que no es un fichero de texto.

```
openssl smime -sign --binary -nodetach-in ../message/gdh.pdf \  
-out gdh.pdf.sgn \  

```

```
-signer ../keys/bob.cert.pem \  
-inkey ../keys/bob.key.pem
```

Esto origina el fichero `gdh.pdf.sgn`. Observe que el fichero firmado ha sido convertido a base 64 y que acaba con un renglón en blanco. Una vez efectuada la firma, ciframos el fichero con `aes-256-cbc`, si no especificamos método de cifrado la cifra por defecto será con triple DES; para ello usando la clave publica del receptor (usuario Carol), que ya tenemos en nuestro poder, ejecutamos:

```
openssl smime -encrypt -aes-256-cbc -in gdh.pdf.sgn \  
-out gdh.pdf.sgn.enc ../keys/carol.cert.pem
```

Esto produce el fichero `gdh.pdf.sgn.enc` que inmediatamente enviamos al receptor. Recibido el fichero `gdh.pdf.sgn.enc`, lo desciframos usando la clave privada del receptor:

```
openssl smime -decrypt -in gdh.pdf.sgn.enc \  
-out gdh.pdf.sgn -recip ../keys/carol.cert.pem \  
-inkey ../keys/carol.key.pem
```

Una vez descifrado el fichero `gdh.pdf.sgn.enc` y obtenido el fichero `gdh.pdf.sgn` tomamos conocimiento de su origen con la información que contiene el certificado:

```
openssl smime -pk7out -in gdh.pdf.sgn | openssl pkcs7 -print_certs -noout
```

operación que proporciona el siguiente diálogo:

```
subject=CN = bobNew@example.com \  
issuer=C = GB, ST = England, O = Alice Ltd, CN = Alice
```

y entonces sabemos que el mensaje estaría vinculado a un tal Bob (que figura como bobNew).

Una vez verificado el origen, extraemos el mensaje original, evitando la comprobación de certificados `-noverify` ya que se trata de certificados autofirmados:

```
openssl smime -verify -noverify -in gdh.pdf.sgn -out gdh.pdf
```

lo que ofrece el mensaje de verificación correcta:

```
Verification successful
```

Como prueba adicional, comprobamos el checksum del fichero `pdf` para comprobar que es el mismo:

```
$ sha256sum gdh.pdf \  
971166aa9d995922149023da8789a7b5c5ba737d984f05d84ef84e408a6921d1 \  
gdh.pdf
```

Por último, abriremos con los medios de cada cual el fichero `gdh.pdf` para leer su contenido.

El Caso del formato Binario con Varios Firmantes

Reproducimos sin comentarios extensos el proceso de apartados anteriores efectuado para ficheros en binario, como puede ser el caso de ficheros en formato `.pdf`.

Contamos con la siguiente estructura de directorios:

```
$ ls
sender          keys            message         receiver
```

En `message` figura el fichero `gdh.pdf` que será sobre el que haremos la prueba. Para comenzar le practicaremos un resumen con el algoritmo `sha256`:

```
sha256sum ../message/gdh.pdf
971166aa9d995922149023da8789a7b5c5ba737d984f05d84ef84e408a6921d1
gdh.pdf
```

Firma y Cifrado

Nos situamos en el directorio `sender` (el usuario Carol) y firmamos el `.pdf` con nuestro certificado para tranquilidad del receptor. Usamos mejor la opción `binary` ya que no es un fichero de texto.

```
openssl smime -sign -binary -nodetach -in ../message/gdh.pdf \
-out gdh-pendiente.pdf.sgn -signer ../keys/eve.cert.pem \
-inkey ../keys/eve.key.pem
```

Esto origina el fichero `gdh-pendiente.pdf.sgn`. Una vez efectuada la firma, ciframos el fichero con `aes-256-cbc`; para ello usando la clave pública del receptor (usuario Carol) que ya tenemos en nuestro poder.

```
openssl smime -encrypt -aes-256-cbc -in gdh-pendiente.pdf.sgn \
-out gdh-pendiente.pdf.sgn.enc ../keys/carol.cert.pem
```

Esto produce el fichero `gdh-pendiente.pdf.sgn.enc` que inmediatamente enviamos al segundo firmante, Carol. Ésta lo descifra:

```
openssl smime -decrypt -in gdh-pendiente.pdf.sgn.enc \
-out gdh-pendiente.pdf.sgn -recip ../keys/carol.cert.pem \
-inkey ../keys/carol.key.pem
```

obteniendo el fichero `gdh-pendiente.pdf.sgn` del que verifica la firma:

```
openssl smime -pk7out -in gdh-pendiente.pdf.sgn | \
openssl pkcs7 -print_certs -noout
```

operación que proporciona el siguiente diálogo:

```
subject=CN = eve@example.com
```

```
issuer=C = GB, ST = England, O = Alice Ltd, CN = Alice
```

seguidamente ejecuta:

```
openssl smime -verify -noverify -in gdh-pendiente.pdf.sgn \
```

```
-out gdh.pdf
```

lo que ofrece el mensaje de verificación correcta:

```
Verification successful
```

Visiona el fichero `gdh.pdf` o hace una comprobación mediante `sha256` para saber de qué se trata:

```
sha256sum ../message/gdh.pdf
```

```
971166aa9d995922149023da8789a7b5c5ba737d984f05d84ef84e408a6921d
```

1 gdh.pdf

y obtiene la conformidad, por lo que pasa a incluir su firma como segunda firma:

```
openssl smime -resign -in gdh-pendiente.pdf.sgn \
```

```
-out gdh.pdf.sgn -signer ../keys/carol.cert.pem \
```

```
-inkey ../keys/carol.key.pem
```

Observe que ha desaparecido la opción `-binary-nodetach` y la razón para ello es que tras la primera firma el fichero `gdh-pendiente.pdf.sgn` ya está en base 64 y no es binario por tanto.

Finalmente, cifra para Bob:

```
openssl smime -encrypt -aes-256-cbc -in gdh.pdf.sgn \
```

```
-out gdh.pdf.sgn.enc ../keys/bob.cert.pem
```

y le envía el fichero `gdh.pdf.sgn.enc`.

Recepción, Descifrado y Verificación

Una vez que Bob ha recibido el fichero `gdh.pdf.sgn.enc`, lo desciframos usando su clave privada:

```
openssl smime -decrypt -in gdh.pdf.sgn.enc -out gdh.pdf.sgn \
```

```
-recip ../keys/bob.cert.pem -inkey ../keys/bob.key.pem
```

Una vez descifrado el fichero `gdh.pdf.sgn.enc` y obtenido el fichero `gdh.pdf.sgn` tomamos conocimiento de su origen con la información que contiene el certificado:

```
openssl smime -pk7out -in gdh.pdf.sgn | \
```

```
openssl pkcs7 -print_certs -noout
```

operación que proporciona el siguiente diálogo:

```
subject=/CN=eve@example.com
```

```
issuer=/C=GB/ST=England/O=Alice Ltd/CN=Alice
```

```
subject=/CN=carol@example.com
```

```
issuer=/C=GB/ST=England/O=Alice Ltd/CN=Alice
```

y entonces sabemos que el mensaje estaría vinculado a una tal Eve y Carol.

Una vez verificado el origen, extraemos el mensaje original, evitando la comprobación de certificados `-noverify` por las particularidades del ejemplo:

```
openssl smime -verify -noverify -in gdh.pdf.sgn -out gdh.pdf
```

lo que ofrece la señal de verificación correcta:

Verification successful

y obtiene el fichero `gdh.pdf` que coincide con el original.

Ejemplo de Firma por Varios Firmantes para Varios Receptores

Mostraremos ahora el caso del envío de un fichero de texto plano, digamos `message.txt` firmado por partida doble, es decir figurarán dos firmantes, y el mensaje doblemente firmado será cifrado para dos receptores distintos.

Firma por Parte del Primer Firmante

- Primera firma, por parte de Eve:
openssl smime -sign -in message.txt -out message.txt.sgn \
-signer eve.cert.pem -inkey eve.key.pem -text
- Para pasar con seguridad el fichero a firma del segundo firmante, el primero hará el envío del documento firmado envuelto por una capa de cifrado:
openssl smime -sign -in message.txt -out message.txt.sgn \
-signer eve.cert.pem -inkey eve.key.pem -text

Firma por Parte del Segundo Firmante

- En otro lugar y por separado se producirá la segunda firma del documento a partir de `message.txt.sgn` siendo generado el fichero `message.txt.2.sgn`.
- El segundo firmante recibe el fichero firmado y cifrado `message.txt.sgn.enc` y lo descifra:
openssl smime -encrypt -in message.txt.sgn
-out message.txt.sgn.enc alice.cert.pem
- Comprobará los detalles de la identidad de los firmantes:
openssl smime -pk7out -in message.txt.sgn | \
openssl pkcs7 -print_certs -noout
- Seguidamente verificará el mensaje y obtendrá el texto firmado en el fichero `messageNew.txt`:
openssl smime -verify -text -in message.txt.sgn -noverify \
-out messageNew.txt
- Practicadas estas pesquisas, leído el mensaje `messageNew.txt` que fue firmado por el primer firmante y estando de acuerdo con el mismo, pasa a incluir su firma; esto lo hará sobre la primera como sigue:
openssl smime -resign -in message.txt.sgn \
-signer alice.cert.pem -inkey alice.key.pem \
-out message.txt.2.sgn
- Este último firmante, a saber Alice, cifrará con AES256 el resultado de la firma múltiple `message.txt.2.sgn` para los receptores Bob y Carol:

```
openssl smime -encrypt -aes256 -in message.txt.2.sgn \  
-out message.txt.2.sgn.enc bob.cert.pem carol.cert.pem
```

Finalmente enviará a ambos el fichero `message.txt.2.sgn.enc`.

De Parte de Uno de los Receptores

- En primer lugar descifrará el mensaje cifrado que le ha llegado, lo hará con AES256:

```
openssl smime -decrypt -in message.txt.2.sgn.enc \  
-out message.txt.2.sgn -recip bob.cert.pem \  
-inkey bob.key.pem
```

- Comprobará los detalles de la identidad de los firmantes:

```
openssl smime -pk7out -in message.txt.2.sgn | \  
openssl pkcs7 -print_certs -noout
```

Finalmente verificará el mensaje y obtendrá el texto firmado en el fichero `messageNew.txt`:

```
openssl smime -verify -text -in message.txt.2.sgn -noverify \  
-out messageNew.txt
```

De Parte del Otro de los Receptores

- En primer lugar descifrará el mensaje cifrado que le ha llegado, lo hará con AES256:

```
openssl smime -decrypt -in message.txt.2.sgn.enc \  
-out message.txt.2.sgn -recip carol.cert.pem \  
-inkey carol.key.pem
```

- Comprobará los detalles de la identidad de los firmantes:

```
openssl smime -pk7out -in message.txt.2.sgn | \  
openssl pkcs7 -print_certs -noout
```

- Finalmente verificará el mensaje y obtendrá el texto firmado en el fichero `messageNew.txt`:

```
openssl smime -verify -text -in message.txt.2.sgn -noverify \  
-out messageNew.txt
```

y esto concluye el proceso.

El Emisor Genera su Clave Privada y Su Certificado

Si los comunicantes no disponen de certificados generados por una autoridad de certificación legítima, pueden generar ellos mismos su par de claves; deberán hacer partícipes a los comunicantes de la clave pública que han generado.

El emisor genera su clave privada con un módulo de 4096 bits

```
openssl genrsa -out userS.key 4096
```

y seguidamente genera él mismo su certificado:

```
openssl req -new -x509 -days 1825 \  
-subj "/C=ES/ST=Spain/L=Ab/O=Cd/CN=UserS" \  
-key userS.key -out userS.cert.pem
```

El receptor hace lo propio. Crea su clave privada:

```
openssl genrsa -out userR.key 4096
```

y emite su propio certificado:

```
openssl req -new -x509 -days 1825 \  
-subj "/C=ES/ST=Spain/L=Ab/O=Cd/CN=UserR" \  
-key userR.key -out userR.cert.pem
```

Ahora el usuario emisor deberá tener acceso legítimo al certificado del receptor y lo usará para comunicarse con él como hemos ejemplificado más arriba.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

Es bien conocida la necesidad de afianzar las explicaciones en clases teóricas de matemáticas con clases prácticas. En nuestra exposición hemos sugerido dos niveles de concreción de esas prácticas para los conocimientos de cuerpos finitos y cálculo matricial:

- Una tanda de clases de prácticas que toquen la división de polinomios con coeficientes en un cuerpo, el Algoritmo Extendido de Euclides sobre dominios euclídeos genéricos, su particularización al caso de los anillos de polinomios con coeficientes en un cuerpo, cálculo matricial genérico, transformaciones elementales, cálculo de la Forma de Hermite, como consecuencia el cálculo eficiente de la inversa de una matriz, etc. Como parte final de esas prácticas y como módulo integrador proponemos incluir un tratamiento somero del sistema de cifrado AES. Con dicho tratamiento será mostrada una aplicación de lo abstracto al mundo real tangible.
- Unas clases de laboratorio que idealmente deberían incluir la implementación de los mencionados algoritmos. Si esto no es posible por falta de conocimientos de programación en grados que incluyen la programación tangencialmente o con poco énfasis, entonces al menos deberían ser usados los algoritmos a través de paquetes de cálculo tipo Sagemath.
- En cualquiera de los casos un tercer grado de concreción de las explicaciones teórico-prácticas ya en laboratorio consiste en una aplicación que muestre en una situación real el uso de AES.

En este capítulo hemos mostrado el uso de AES en detrimento de DES, anterior estándar con menos trasfondo matemático, dentro del protocolo SMIME que ofrece cualquier versión de OpenSSL. Nos hemos decantado por esta aplicación debido a la relación con el temario teórico ---según se ha explicado--- y a la opacidad de los libros especializados y los tutoriales al respecto.

REFERENCIAS

Baase, S. (1978). *Computer Algorithms. Introduction to Design and Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, 1978.

Fips 197, Advanced Encryption Standard (AES). Recuperado de:
<https://csrc.nist.gov/pubs/fips/197/final>

Lidl, R. y Niederreiter, H. (1994). *Introduction to finite fields and their applications*. Cambridge University Press.

Lipson, J.D. (1981). *Elements of Algebra and Algebraic Computing*. Addison-Wesley Publishing Company.

Viega, J., Messier, M., y Chandra, P. (2002). *Network Security with OpenSSL*. O'Reilly.

CAPÍTULO 35

GRAPHIC EXPRESSION IN ENGINEERING: SMART CITY

FERNANDO LOZANO RIVAS

Universidad de Murcia

INTRODUCTION

Throughout history, several definitions of a city have been proposed, and many of them present great differences, but at the same time they are not contradictory, but complementary, because a city as such is a complex phenomenon that can be analyzed from different levels.

Therefore, we can summarize that a city is a large-scale concentration of people, formed by a defined orographic space, in which there is a group of dwellings, and which has a uniform and centralized administration. Where commercial relations with other cities are produced, with a social fabric sectorized by the division of labor specializations.

This aggregation is usually the result of anthropic acts and can be influenced by climatic variables and other types of natural actions and different circumstances (Magnano, 2003). At the same time, it is difficult to give an exact definition of the term urbanism, since this discipline incorporates concepts from different sectors of knowledge, in addition to having a very broad area of practice and study. Therefore, we understand urbanism as a multidisciplinary science that encompasses the study, planning and management of the city, encompassing different disciplines such as architecture, engineering, sociology, law, economics and ecology (Borges, 2014).

But the consequences of this model are very different and have a negative and direct impact on the population, therefore the conception that we all have about the term urbanism is discarded, since it presents a very limited vision of the problems related to the city, in addition to basing the solution to these problems on design, leaving aside other variables. It is at this point when a space is created, for the implementation of new disciplines, such as urban planning or sustainable development, with the intention of solving these problems with a multidisciplinary character (Cedeño & Torres, 2021).

This creates the need to orient urban planning towards a more ecological vision that takes into account the needs of the population and uses resources in a sustainable manner.

There is a need for a discipline to be used for the solution of different urban problems, taking into account the environment, complying with different approaches, scales and different ways of dealing with these problems. This discipline receives the

name of Ecourbanism, which, relying on the previous urban planning tools, proposes EcoCity as a tool that deals with giving solution to the different urban problems at the same time (Chang & Sheppard, 2013).

The term “Ecourbanism”, “ecological urbanism” or “sustainable urbanism”, or other terms that may be used by other authors, refers to the current trend in the disciplinary application of urban planning. The objective of this trend is to minimize the environmental impacts between urbanization and natural environments, embracing population and economy, where construction is done in a balanced way and infrastructures use resources in a safe and efficient manner. The antithesis to the dominant economic development model in society, in which all territories compete for the maximum consumption of resources.

The term “EcoCity” was first proposed by Richard Register, founder and president of EcoCity Builders. Nowadays this term has become globalized, so it is not possible to give an exact definition of what an “EcoCity” is. Different projects have been developed with different areas of focus

and call themselves Ecocities. These refer directly to the scale of application of “Ecourbanism”. Some authors trace the creation of Ecocities to Ebenezer Howard's “Garden City” movement (Howard, 1898), which incorporated nature into cities, with the creation of green belts, residences, industry and agriculture (Roseland, 1997).

It is a polycentric urban system, with a compact configuration, composed of neighborhoods or neighborhood units that have transportation services, streets for pedestrian use and green areas, elements of cultural heritage and capable of hosting multiple functions, all this to achieve a space rich in cultural development, sustainable, healthy and with a high quality of life for the population, creating a

of identity among its inhabitants (Gaffron & Skala, 2005). Some authors such as Rohrcheer and Spath state that the creation of Ecocities can be based on the restructuring of socio-technical systems of energy, transport and environment, driven by public pressure. Where measures are converted into action plans that rely on different actors and serve as a guide for the implementation of different activities (Rohracher & Spath, 2014). Others like Cugurullo argue that the characteristics of these Ecocities, based on interdisciplinarity and their different scales of application, once they unite in urban experimentation, create a tension that can destabilize the project (Cugurullo, 2017).

The main differences between an EcoCity and other models of traditional urbanism are those that refer to the demand of the inhabitants, such as pedestrian circulation, in addition to the use of public transportation as the main source of travel in EcoCities. The aim of EcoCities is to reduce incoming and outgoing flows as much as possible. At the level of the development of new urbanization areas, there are other

differences such as the correct management of energy, the reduction of environmental impacts and the creation of a more attractive city for its inhabitants.

METHODOLOGY

A bibliographic analysis, a meta-analysis, was carried out, which consisted of searching for information in Web Of Science (WOS), owned by the company Clarivate Analytics, which is a collection of databases of bibliographic references and citations of periodicals that collect information from 1900 to the present. Thanks to Journal Citation Reports (JCR), which is precisely a database that provides a wide range of practical applications, it contains statistical data that provide a systematic and objective way to determine the relative importance of a topic. I searched the JCR archives via WOS for the term “Ecocity” in papers for the entire available period. I filtered and selected those papers that contained the word Ecocity in their title, resulting in a total of 205 scientific articles.

The selection criterion for importance was based on citations, I selected all those papers with more than 50 citations by other authors. authors, thanks to this, a total of 23 papers have been obtained.

RESULTS

Forty-nine percent of the 205 existing records are related to the Environmental Sciences area of Ecology. There are other areas of knowledge that are relevant, for example, 23% of the articles are related to engineering, 21% to geography, 18% to business economics, 7% to social problems, and 7% to the environment. Author Jeffrey R. Kenworthy lists the critical dimensions of an Ecocity, which are related to different areas of study, he further argues that failure to address these dimensions will drastically reduce any attempt at a sustainable city project (Kenworthy, 2006), the ten dimensions are:

1. The Ecocity has a compact, mixed-use urban form, where land is used efficiently, protecting the natural environment, biodiversity and food production areas.

1. The Ecocity has a compact, mixed-use urban form, where land is used efficiently, protecting the natural environment, biodiversity and food production areas.

2. Nature permeates the city's spaces, there is a strong relationship between the surrounding natural spaces and the city, while the city core provides greater food security.

3. Pedestrian and bicycle traffic is encouraged, with importance also given to rail travel.

4. Extensive use of environmental technologies in water, energy and waste management. Closed-loop systems.

5. The city is differentiated into several cores, circulation and access between them is by public transport. These cores absorb residential growth and employment.

6. The city has public spaces where culture and the community develop in an equitable manner.

community, in an equitable manner.

7. The physical structure and the urban environment of the city present the necessary characteristics to satisfy the needs of its inhabitants.

8. The economic fabric of the city is based on technological innovations, creativity and identity of the environment, culture, history, social quality and environmental quality of the city's public environments.

9. Participation, debate and decision making will be the driving force in the future planning of the Ecocities.

10. Decision-making is based on sustainability and public participation, based on democracy and in an inclusive manner.

By analyzing the origin of the different publications related to the term Ecocity, we can know which journals focus on the research and practice of sustainable urban planning.

In addition, the analysis of these journals shows which is the public, scientific or general, to which these publications are addressed, on the other hand, what is the objective of the journal, if it has an informative character only or more oriented towards the debate among specialists in the field, in general, the characteristics that have an impact on the recognition of these publications. It is important to mention that the main WOS collection is divided into "Art and Humanities Citation" (A&HCI), "Science Citation" (SCI), "Emerging Sources Citation Index" (ESCI), "Conference Proceedings Citation Index" (CPI), "Book Citation Index" (BKCI) and finally "Social Science Citation" (SSCI). On the other hand, the other 3 databases that make up WOS are: "Conference Proceedings Citation Index" (CPI), "Book Citation databases that make up WOS are: "KCI-Korean Journal Database", "Russian Science Citation Index" and "Scielo citation Index".

The journal with the highest number of publications with the term Ecocity in its title is "Journal of Cleaner Production", with 11 publications, representing 5% of the articles studied, followed by "Journal of Urban Technology", with 6 publications, representing 2.9%. Journal of Cleaner Production is an international and cross-disciplinary journal, which focuses on the disciplines, focusing on the research and practice of cleaner production, environment and sustainability. It currently serves as a platform for addressing and debating cleaner production in a theoretical and practical way, covering environmental and sustainability issues in business, government, educational institutions, and other sectors, regions and societies. Through their published articles, they aim to help societies become more sustainable

(Klemeš, J. 2022). On the other hand, Journal of Urban Technology publishes articles that review and analyze developments in urban technologies, as well as articles that study the history and the political, economic, environmental, social, aesthetic and ethical effects of these technologies. The goal of the journal is, through education and debate, to maximize the positive and minimize the negative effects of technology in cities (JUT, 2024).

Of the 205 records found, 154 contain no information about the funding agency, which represents 75% of the articles.

The funding agency that supported the largest number of publications, nine publications, corresponding to 4.3% of the publications, was the National Natural Science Foundation of China (NSFC), an institution that reports directly to the State Council, and its function is to manage the National Natural Science Fund of the Central Government of China (NSFC, 2022).

In Europe we find a body that supports according to the analysis 3 articles of the 205 present, 1.4% of the total number of articles, the “European Commission”, which is the executive, politically independent body of the European Union, its purpose is to draft proposals for new European legislation and to implement the decisions of the European Parliament and the EU Council (European Commission, 2024).

In recent years, in addition to sustainability policies led by international organizations and national governments, private sector actors have experienced a large increase, which has been referred to as “green capitalism”, which is based on leveraging economic efficiency to solve environmental problems (Chang & Sheppard, 2013).

One can relate the practice of valuing a city for its ecological characteristics, in order to improve its profitability by creating a brand that differentiates them from others, and the public participation in environmental regulation, such as green consumerism and energy self-production, as the nexus points between Eco-cities and “green capitalism.”

In the data analysis we found 692 different authors, the author who participates in the largest number of articles is Dr. Martin De Jong who works at the Department of Business and Social Management of the Rotterdam School of Management (RSM) Erasmus University Rotterdam, he appears in 14 articles of the 205 found, representing 6.8% of these.

The article by Jong that has been cited the most times from the set of records found after performing the search is “Exploring the Relevance of the Eco-City Concept in China:

The Case of Shenzhen Sino-Dutch Low Carbon City”, which has been cited 80 times, and which aims to explain the differences that appear between the original Eco-City concept and its application phase in China, why these differences appear and

what their applications are. It is concluded with that a dialogue on international Eco-city frameworks and standards is necessary, in addition to imposing new ecology-based standards in China's institutional system for performance evaluation of the different policy makers in charge of the future of the country's urban development (de Jong, Yu, & Wang, 2013).

The second author with the most records is Dr. Federico Caprotti professor of human geography at the University of Exeter UK, with 7 articles, representing 3.4% of the total.

The article by Caprotti that has been cited most often from the set of records found after performing the search is "Critical research on eco-cities? A walk through the Sino-Singapore Tianjin Eco-City, China", which has been cited 138 times, the article highlights the need to consider scale in the future of Eco-cities, questions the different definitions of Eco-cities in order to analyze critical analyses of marketing, presentation and the actual built urban environments in Eco-city projects. Finally, the article argues that research on Ecocities projects should take into account high-tech urban environments and those that host large populations with unfavorable conditions (Caprotti, 2014).

It is important to recognize the first author who appears in the historical line naming in the title of an article the word Ecocity is Dr. Oleg Yanitsky, with the article "Towards an eco-city; problems of integrating knowledge with practice" (Yanitsky, 1982). Dr. Oleg Yanitsky was head of the MAB-13 working group at the Institute of the International Labor Movement of the Academy of Sciences of the former USSR in Moscow.

In his article Dr. Oleg Yanitsky, pointing out the necessary relationship that must exist between science and urban life, places on three levels the integration of emerging knowledge, spatio-temporal, socio-functional and historical-cultural. He highlights the problems of interdisciplinarity, the socio-functional concept of an Ecocity, the urban design and finally the different application scenarios (Yanitsky, 1982).

Of the articles studied that contain the word Ecocity in their title, 49.27% come from China. This is largely because most academic interest in the topic of eco-cities has focused on China. With the rapid development of the economy, China, the country with the largest population on the planet, is experiencing the largest scale of rural-to-urban migration in human history. This poses a great challenge for urban growth, it is expected that about 300 million people will move from the countryside to cities, estimates believe necessary to build 400 new cities in the coming decades, this implies a large impact on the ecological footprint per capita once this (Cheng & Hu, 2010).

An example of an Eco-city project in China is Dongtan, the world's first sustainable and carbon neutral city, where priority is given to protecting the regional

environment while promoting the development of the economy and society, offering high quality living and working conditions for its inhabitants. The first phase of construction of this city is intended to house 10,000 inhabitants and will consist of three villages interconnected by public transportation and bicycle lanes. This project is intended to serve as a model for the creation of Eco-cities in China and around the world.

DISCUSIÓN/CONCLUSIONES

Driven by population growth in cities and advancing technologies, the development of sustainable urban planning has accelerated in the last two decades.

Studies on how Eco-cities contribute to society, the economy and the environment are growing in number over the years, thanks among others to funding from different governments and private sector interests.

Some countries such as China, due to its high rate of economic growth, are suffering a rural exodus, cities are growing at an accelerated pace, in some cases it is necessary to create new cities, in these cases it is betting on Ecocities.

But the practical application of Ecocities in different projects, expose some deficiencies in this development model, so it is considered necessary to renew the measures when the scale or the environment require it, taking into account the components of the city and research areas more broadly.

REFERENCES

- Borges Martins, P.A. (2014). *Urbanismo bioclimático: de la ciudad antigua a la ecociudad*. Rio de Janeiro: Universidad Federal do Rio de Janeiro.
- Caprotti, F. (2014). Critical research on eco-cities? A walk through the Sino-Singapore Tianjin Eco-City, China. *Cities*, 10-17.
- Cedeño Valdiviezo, A. & Torres Lima, P. (2021). Capítulo 5. De la ciudad-jardín al concepto de eourbanismo. Enfoques del Eourbanismo para ciudades de America Latina. Parte I. *Premisas Conceptuales y Enfoques Metodológicos*, 74-87.
- Chang, I.C. & Sheppard, E. (2013). China's Eco-Cities as Variegated Urban Sustainability: Dongtan Eco-City and Chongming Eco-Island. *Journal of Urban Technology*, 57-75.
- Cheng, H. & Hu, Y. (2010). Planning for sustainability in China's urban development: Status and challenges for Dongtan eco-city project. *Journal of Environmental Monitoring*, 119-26.
- Cugurullo, F. (2017). *Exposing smart cities and eco-cities: Frankenstein urbanism and the sustainability challenges of the experimental city*. Environment and Planning.
- De Jong, M., Yu & Wang, D. (2013). Exploring the Relevance of the Eco-City Concept in China: The Case of Shenzhen Sino-Dutch Low Carbon City. *Journal of Urban Technology*, 95-113.

Gaffron, H. & Skala, F. (2005). *La ecociudad: un lugar mejor para vivir. Proyecto ECOCITY Manual para el diseño de ecociudades en Europa*. Libro I. Viena: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.

Howard, E. (1898). *Tomorrow: A Peaceful Path to Real Reform*.

JUT (2024). Journal of Urban Technology and Sustainability. Obtenido de Journal of Urban Technology and Sustainability: Recuperado de: <https://journaluts.emnuvens.com.br/journaluts/index27>

Klemeš, J. (2022). Elsevier. Obtenido de Journal of Cleaner Production : <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production>

Magnano L, V. (2003). La historia de la Planificación urbana como proyecto histórico. *RA Revista de Arquitectura*, 45-48.

NSFC (2022). *Fund it*. Recuperado de: <https://fundit.fr/en/institutions/national-natural-science-foundation-china-nsfc>

Roseland, M. (1997). Dimensions of the eco-city. *Cities*, 197-202.

Yanitsky, O. (1982). Towards an eco-city; problems of integrating knowledge with practice. *International Social Science Journal XXXIV*, 469-480.

