

DEFENSA PLANETARIA

Una aproximación interdisciplinar
a la amenaza de impacto cósmico

Elisa Simó Soler
Eloy Peña Asensio

Dykinson, S.L.



Alba Soriano Arnanz, Albert Rimola, Alberto Coronel Tarancón, Anna Garcia Hom, Catia Faria, Elisa Simó Soler, Elisa Celia González Ferreiro, Eloy Peña Asensio, Jordi Solé i Ollé, José Ignacio Robles Sánchez, Josep Maria Trigo Rodríguez, Juan Manuel de Faramiñán Gilbert, Juan Miguel Sánchez Lozano, Julia de León, Nadjeđa Vicente Cabañas, Ramon J. Moles Plaza

DEFENSA PLANETARIA

ELISA SIMÓ SOLER
ELOY PEÑA ASENSIO
(Coordinación)

DEFENSA PLANETARIA

AUTORÍA:

ALBA SORIANO ARNAZ
ALBERT RIMOLA
ALBERTO CORONEL TARANCÓN
ANNA GARCIA HOM
CATIA FÁRIA
ELISA SIMÓ SOLER
ELISA CELIA GONZÁLEZ FERREIRO
ELOY PEÑA ASENSIO
JORDI SOLÉ I OLLÉ
JOSÉ IGNACIO ROBLES SÁNCHEZ
JOSEP MARIA TRIGO-RODRÍGUEZ
JUAN MANUEL DE FARAMIÑÁN GILBERT
JUAN MIGUEL SÁNCHEZ LOZANO
JULIA DE LEÓN
NADJEJDA VICENTE CABAÑAS
RAMON J. MOLES PLAZA

Dykinson, S. L.

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a Cedro (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con Cedro a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 917021970/932720407.

Este libro ha sido sometido a evaluación por parte de nuestro Consejo Editorial
Para mayor información, véase www.dykinson.com/quienes_somos

© Copyright by
Los autores
Madrid, 2023

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>

ISBN: 978-84-1122-441-3
Depósito Legal: M-31318-2023
DOI: 10.14679/2271

ISBN electrónico: 978-84-1170-831-9

Maquetación:
german.balaguer@gmail.com

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	13
ELISA SIMÓ SOLER Y ELOY PEÑA ASENSIO	

PRÓLOGO. EN TORNO A LA DEFENSA PLANETARIA	15
JUAN MANUEL DE FARAMIÑÁN GILBERT	

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA AMENAZA DE IMPACTO CÓSMICO ...	19
ELOY PEÑA ASENSIO, JOSEP MARIA TRIGO-RODRÍGUEZ, JULIA DE LEÓN Y ALBERT RIMOLA	

1. OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA: ORIGEN Y PROPIEDADES	20
1.1. Asteroides	23
1.2. Cometas.....	25
2. REGISTRO HISTÓRICO DE IMPACTOS CÓSMICOS	29
2.1. Chicxulub.....	30
2.2. Cráter Barringer	31
2.3. Tunguska	32
2.4. Shoemaker-Levy 9.....	33
2.5. Cheliábinsk	35
3. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE IMPACTO.....	35
4. DESCUBRIMIENTO Y MONITORIZACIÓN DE OBJETOS POTENCIALMENTE PELIGROSOS.....	37
5. ESTRATEGIAS DE DEFENSA: ¿DESTRUIR O DESVIAR?.....	40
5.1. Técnicas de mitigación	40
5.2. Las misiones DART y Hera.....	42
6. CONCLUSIONES.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

CAPÍTULO 2. CAMBIO CLIMÁTICO E IMPACTO CÓSMICO: SIMILITUDES Y DIFERENCIAS	49
JORDI SOLÉ I OLLÉ	

1. INTRODUCCIÓN	49
2. EFECTOS DE UN IMPACTO CÓSMICO EN LA TIERRA	51
2.1. Efectos físicos en zona continental.....	51

2.2. Efectos físicos en el mar: Tsunamis	52
2.3. Efectos en la atmósfera: alteración química	53
2.4. Efectos en el clima	53
2.5. Efectos en la biosfera	54
3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA TIERRA	54
3.1. Efectos en las zonas continentales	55
3.2. Efectos en el mar	55
3.3. Efectos en la biosfera	56
3.3.1. Impactos ecológicos del cambio climático	57
3.3.2. Impactos en los ecosistemas: cambios de estado en los ecosistemas ..	57
3.3.3. Impactos en el bienestar humano	58
4. SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS EN LOS IMPACTOS.....	59
5. ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN, GESTIÓN Y ADAPTACIÓN COMUNES A AMBOS FENÓMENOS	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

CAPÍTULO 3. DECISIONES CRUCIALES: METODOLOGÍAS MULTI-CRITERIO APLICADAS A LA DEFENSA PLANETARIA

JUAN MIGUEL SÁNCHEZ LOZANO

1. INTRODUCCIÓN	69
2. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTI-CRITERIO.....	71
2.1. Antecedentes: de la economía a la astronomía	72
3. DECISIONES EN DEFENSA PLANETARIA.....	75
3.1. Clasificación de objetos próximos a la Tierra potencialmente peligrosos...	75
3.2. La conexión con las fechas de impacto	79
3.3. Una primera evaluación de técnicas de desvío de asteroides.....	82
4. CONCLUSIONES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

CAPÍTULO 4. DEFENSA PLANETARIA Y OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA: DERECHO ESPACIAL EN VÍAS DE FORMACIÓN

ELISA CELIA GONZÁLEZ FERREIRO

1. DEFINICIÓN DE OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA (OCT).....	91
1.1. Análisis científico	92
1.2. Análisis Jurídico	93
2. DEFENSA PLANETARIA: PRINCIPIOS JURÍDICOS APLICABLES	94
2.1. Provecho e interés de todos los países. Incumbencia de la Humanidad	95
2.2. Cooperación Internacional: COPUOS, IAWN Y SMPAG	95
2.2.1. COPUOS.....	96
2.2.2. IAWN	97
2.2.3. SMPAG.....	97
2.3. No contaminación nociva del medioambiente terrestre ni espacial	98
2.4. Prohibición de colocar armas nucleares y de destrucción en masa	99
2.5. Conformidad con el Derecho Internacional	100

2.6. Deber de informar	101
3. CUESTIONES SOBRE LA RESPONSABILIDAD	102
3.1. Responsabilidad internacional del Estado	102
3.2. Responsabilidad por daños causados por objetos espaciales	103
4. LEGISLACIONES ESPACIALES NACIONALES	106
5. CONCLUSIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

CAPÍTULO 5. LA GOBERNANZA ESPACIAL Y LA REGULACIÓN DEL ESPACIO ULTRATERRESTRE ANTE LA IRRUPCIÓN DE ACTORES NO ESTATALES..... 113

JUAN MANUEL DE FARAMIÑAN GILBERT

1. INTRODUCCIÓN	113
2. LOS RETOS DE LA GOBERNANZA ESPACIAL.....	115
3. SOBRE LA NECESIDAD DE CREAR UN ORGANISMO INTERNA- CIONAL QUE CONTROLE LA EMERGENCIA DE ACTORES NO ESTATALES.....	121
4. REFLEXIONES FINALES.....	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

CAPÍTULO 6. UNA APROXIMACIÓN DE GÉNERO A LAS CRISIS HUMANITARIAS: IMPACTO CÓSMICO COMO SUPUESTO DE HECHO..... 133

ELISA SIMÓ SOLER

1. DEFENSA PLANETARIA CON PERSPECTIVA DE GÉNERO	133
2. EJERCICIO ANALÓGICO: MUJERES Y CRISIS HUMANITARIAS	137
2.1. Conflictos armados.....	138
2.2. Crisis climática	141
2.3. Pandemia por COVID-19.....	144
3. PROSPECTIVA DE GÉNERO E IMPACTO CÓSMICO	147
3.1. Representatividad y toma de decisiones	148
3.2. Ecofeminismo y cuidados.....	149
3.3. Situaciones de especial vulnerabilidad	150
3.4. Derechos asimétricos entre el Estado amenazado y el Estado de acogida	152
4. CONCLUSIONES.....	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154

CAPÍTULO 7. ENTIDAD Y GESTIÓN DE LA SEGURIDAD PLANETARIA 157

ANNA GARCIA HOM Y RAMON J. MOLES PLAZA

1. INTRODUCCIÓN	157
2. LA IDEA DE SEGURIDAD PLANETARIA	157

3.	ENTIDAD Y GESTIÓN DE LA AMENAZA DE OPP A LA SEGURIDAD PLANETARIA	163
4.	CONCLUSIONES	171
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171
CAPÍTULO 8. PSICOLOGÍA Y DEFENSA PLANETARIA		175
JOSÉ IGNACIO ROBLES SÁNCHEZ		
1.	INTRODUCCIÓN	175
2.	EVENTOS DE ALTÍSIMO IMPACTO Y MUY BAJA PROBABILIDAD	177
3.	COMUNICACIÓN DE RIESGOS EN LAS DISTINTAS FASES: ALERTA, IMPACTO Y RECUPERACIÓN.....	179
3.1.	Si hubiese que proceder a la evacuación masiva.....	182
3.1.1.	Evacuación horizontal.....	183
3.1.2.	Evacuación vertical.....	184
4.	REACCIONES GENERALIZADAS Y REACCIONES PARTICULARES	185
5.	PREPARACIÓN PSICOLÓGICA: FOMENTANDO LA RESILIENCIA	187
5.1.	Psicoeducación y planificación	188
5.2.	¿Cómo se puede llevar a cabo esa preparación?	190
5.2.1.	Un proceso de cuatro pasos	191
5.2.2.	¿Cómo anticipar sus reacciones? Guía práctica.....	191
6.	CONCLUSIONES	194
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195
CAPÍTULO 9. CÓMO SIMULAR Y CONTAR EL FIN DEL MUNDO		199
NADJEJDA VICENTE CABAÑAS		
1.	LA URGENCIA DE SIMULAR UN APOCALIPSIS.....	199
2.	CRONOLOGÍA DE UNA MUERTE ANUNCIADA	202
2.1.	Asteroides 8, la Tierra 1.....	203
3.	EJERCITANDO LA #DEFENSAPLANETARIA DESDE EUROPA Y LAS REDES	204
3.1.	Prepárate para el hipotético impacto de un asteroide	205
3.2.	Misión imposible: impacto en el corazón de Europa	206
3.3.	Día del asteroide.....	209
4.	COMUNICACIÓN EN TIEMPOS DE CRISIS.....	209
4.1.	Una escala para el pánico	210
4.2.	Comunicar el riesgo.....	211
4.3.	El papel de los expertos	212
5.	POST MORTEM	214
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	216

**CAPÍTULO 10. ¿QUÉ SIGNIFICA DEFENDER EL PLANETA EN EL AN-
TROPOCENO? INMUNIDAD Y AUTOINMUNIDAD DE LA DEFENSA
PLANETARIA** 219

ALBERTO CORONEL TARANCÓN

1. INTRODUCCIÓN. DEFENDER EL PLANETA EN EL ANTROPOCENO 219
2. EL PLANETA-OBJETO. EL PARADIGMA ASTRONÓMICO DE LA
DEFENSA PLANETARIA..... 220
3. DEL PLANETA-OBJETO AL PLANETA SUJETO: INTRODUCCIÓN
AL PARADIGMA GEOFISIOLÓGICO 222
4. HOMEOSTASIS E INMUNOLOGÍA DE GAÑA..... 225
5. INMUNIDAD Y AUTOINMUNIDAD DE LA DEFENSA PLANETARIA.. 230
6. CONCLUSIONES..... 233
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 234

**CAPÍTULO 11. NO MIRES ARRIBA, MIRA HACIA DELANTE. DEFENSA
PLANETARIA, ANIMALES NO HUMANOS Y LA IMPORTANCIA DEL
FUTURO** 237

CATIA FARIA

1. LA AMENAZA DE IMPACTO 237
2. ANTROPOCENTRISMO Y CONSIDERACIÓN MORAL 238
 - 2.1. Antropocentrismo 239
 - 2.2. El argumento de la superposición de las especies 240
 - 2.3. El argumento de la relevancia 242
3. DEFENSA PLANETARIA Y DISTINTAS POSICIONES ÉTICAS 245
4. ÉTICA DEL FUTURO 247
5. CONCLUSIÓN 248
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 249

**CAPÍTULO 12. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y OTROS RIESGOS
CATASTRÓFICOS O EXISTENCIALES** 253

ALBA SORIANO ARNAZ

1. INTRODUCCIÓN 253
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN..... 255
 - 2.1. La creciente penetración de la IA..... 255
 - 2.2. Algunos riesgos asociados a los usos actuales de la IA 256
3. LA IA COMO NUEVO RIESGO CATASTRÓFICO: PARALELISMOS
CON OTRAS GRANDES CRISIS..... 258
 - 3.1. Escenarios catastróficos..... 259
 - 3.1.1. Riesgos de una inteligencia artificial limitada 259
 - 3.1.2. El desarrollo de una «superinteligencia» 261
 - 3.1.3. Velocidad del despegue de la «superinteligencia» 261

3.1.4. La aparición de una IA general con efectos catastróficos.....	262
3.2. Lecciones derivadas del estudio de otras grandes catástrofes	263
3.2.1. Cambio climático.....	264
3.2.2. El impacto de un asteroide contra la Tierra	265
4. LA IA COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DE OTROS RIESGOS EXISTENCIALES	265
4.1. Prevención y gestión del cambio climático.....	266
4.2. Prevención y gestión del impacto de un asteroide contra la Tierra	266
5. CONCLUSIONES.....	267
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	267

PRESENTACIÓN

ELISA SIMÓ SOLER Y ELOY PEÑA ASENSIO

That's here. That's home. That's us.
Carl Sagan

Esta poderosa cita del eminente científico y divulgador encapsula nuestra singularidad, nuestro lugar en el cosmos y nuestro deber común de protegernos. La Tierra, nuestro hogar, es un tesoro preciado que merece ser preservado para las generaciones futuras, un gran ecosistema inquebrantablemente conectado con el universo que nos rodea, especialmente con la actividad del sistema solar del que formamos parte. Sin embargo, con esta conexión también surge la innegable posibilidad de que la Tierra se enfrente nuevamente al impacto de un gran objeto procedente del cosmos. Tal escenario nos sumerge en un paradigma sin precedentes para la humanidad que nos exige reflexionar, prepararnos y actuar de manera anticipada. En este libro, titulado *Defensa Planetaria*, abordamos esta inquietante realidad con una visión transversal, forjando una respuesta integral ante una futurible amenaza de escala planetaria.

La idea de defensa planetaria no se trata simplemente de una trama de ciencia ficción, sino de un desafío real y contingente que demanda la colaboración de diversos campos del conocimiento. Desde la astrofísica hasta la ecología, el derecho, la política, la filosofía, la comunicación y la psicología, cada disciplina constituye una pieza esencial para la construcción de dispositivos y estrategias que nos permitan mitigar los daños potenciales.

Este libro no solo es un esfuerzo colectivo de personas expertas en sus respectivos campos, sino también un hito significativo en la literatura hispanoamericana. Ha sido un privilegio coordinar esta obra que, a través de capítulos independientes, establece las bases para que diferentes áreas de investigación se acerquen a los estudios de riesgos globales, centrándose en la amenaza de impacto cósmico. Es un llamamiento a la conciencia de todas aquellas personas que miran hacia las estrellas y sienten la responsabilidad de cuidar la vida en nuestro planeta.

La clave de este trabajo radica en la adopción de un enfoque interdisciplinar. Al reunir saberes diversos, podemos apreciar la amplitud del desafío que enfrentamos y, más importante aún, formular soluciones sólidas y efectivas. La evaluación y reducción

de riesgos de impacto cósmico, el marco jurídico de protección, la gobernanza espacial, las implicaciones de género, la respuesta de la sociedad, los retos de la inteligencia artificial y elementos filosóficos en la defensa planetaria son solo algunas de las cuestiones que se exploran, ilustrando cómo diversas disciplinas se unen en un esfuerzo conjunto.

La amenaza de impacto cósmico también es un punto de partida para reflexionar sobre otros eventos con repercusiones globales, aquellos que trascienden las fronteras políticas y geográficas, y que nos demandan cooperación y coordinación a escala mundial. Es una llamada a la unión, a la colaboración entre Estados, instituciones y agentes privados para enfrentar los desafíos que el futuro nos depara.

Nos gustaría expresar nuestro agradecimiento a cada participante de este proyecto. Su dedicación y pasión han sido una fuente inagotable de aprendizaje. Esta iniciativa, que pretende trascender lo académico, no hubiera sido posible sin el apoyo de los siguientes proyectos, a quienes queremos agradecer la cofinanciación recibida:

- «Algorithmical Law» (PROMETEU/2021/009) coordinado por Andrés Boix Palop y financiado por la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital de la Generalitat Valenciana.
- «Aplicaciones de inteligencia artificial en defensa y seguridad aeroespacial» (Ref.: 22069/PI/22) coordinado por Juan Miguel Sánchez Lozano y financiado por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia a través de la convocatoria de Ayudas a proyectos para el desarrollo de investigación científica y técnica por grupos competitivos, incluida en el Programa Regional de Fomento de la Investigación Científica y Técnica (Plan de Actuación 2022) de la Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia.

En última instancia, aspiramos a que la lectura de esta obra sea sugestiva y motivadora, que inspire nuevas vías de investigación y sea semilla de políticas públicas que protejan la habitabilidad de la biosfera. La defensa planetaria no es solo una responsabilidad de una minoría, sino un deber para todos los seres humanos, porque en la vastedad del cosmos, aquí, en la Tierra, está nuestro hogar.

Las palabras de Carl Sagan resuenan con fuerza en estas páginas, recordándonos la fragilidad y valiosa excepcionalidad de nuestro planeta. Que este libro sea un faro que ilumine nuestro compromiso como responsables de la vida en este rincón del universo.

PRÓLOGO

EN TORNO A LA DEFENSA PLANETARIA

JUAN MANUEL DE FARAMIÑÁN GILBERT

DOI: 10.14679/2272

Hablar de defensa planetaria, ya no resulta una cuestión relacionada con futuribles, sino una realidad que amenaza la supervivencia de los seres humanos y su convivencia, así como el desarrollo sostenible de nuestro planeta.

La miscelánea de participantes y temas que recoge esta obra avalan su calidad científica como resultado del exhaustivo trabajo de selección y coordinación realizado por Elisa Simó Soler y Eloy Peña Asensio, sobre diferentes cuestiones relacionadas con la defensa planetaria.

En efecto, la obra que tengo el honor de prologar configura una propuesta de carácter científico e interdisciplinar, constituyendo una llamada de atención sobre los peligros que atenazan a la Tierra desde distintas perspectivas. Uno de los principales aportes de este libro lo constituye la conjunción de saberes desde distintas áreas de conocimiento lo cual permite obtener una visión integral, identificar las problemáticas y formular propuestas político-jurídicas potencialmente eficientes.

Desde esta perspectiva se plantean temas como la evaluación y mitigación de riesgos de impacto cósmico (Eloy Peña Asensio, Josep Maria Trigo Rodríguez, Julia de León y Albert Rimola), las analogías con el cambio climático y sus consecuencias, así como las estrategias factibles de mitigación (Jordi Solé i Ollé), las metodologías para la toma de decisiones (Juan Miguel Sánchez Lozano), la perspectiva del derecho del espacio ante los objetos cercanos a la Tierra (Elisa González Ferreiro), la gobernanza espacial y la irrupción de actores no estatales (Juan Manuel de Faramiñán Gilbert), una aproximación de género ante la gestión de las crisis humanitarias (Elisa Simó Soler), los nuevos retos de la inteligencia artificial (Alba Soriano Arnanz), la gestión de la seguridad planetaria (Anna Garcia Hom y Ramon J. Moles Plaza), los efectos psicológicos del impacto de objetos cercanos a la Tierra (José Ignacio Robles Sánchez),

la propuesta de cómo simular y contar el fin del mundo (Nadjejda Vicente Cabañas), los elementos filosóficos en la defensa del planeta en la era del Antropoceno (Alberto Coronel Tarancón), un acercamiento antiespecista (Catia Faria), son un ejemplo de la concepción holística con la que se desarrolla la defensa planetaria.

La cultura del Espacio y la ética espacial es uno de los temas de fondo que debemos tener en cuenta. En efecto, en el año 2000, con ocasión de constituirse el Comité de Ética en la Investigación Científica y Tecnológica (COMEST) de la UNESCO bajo la presidencia de la Excm. Sra. Vigdís Finnbogadóttir, y en particular con la creación de la Subcomisión para la Ética en las actividades del Espacio ultraterrestre dirigida por el Sr. Jens Erik Fenstad, se indicó ante los miembros de la Comisión para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas (COPUOS) que «la conquista del espacio no puede realizarse sin tener en cuenta los riesgos que comporta para la humanidad, la integridad y la dignidad humana», y se agregaba que «la ética de la política espacial debe llevarnos a interrogarnos sobre las motivaciones que subyacen en el acceso al espacio del ser humano y a la exploración del universo, así como el grado de aceptación por la opinión pública. La ética de la política espacial debe responder a las inquietudes de esta opinión pública para un acercamiento objetivo, independiente y transparente».

Otro de los temas sensibles relacionado con la defensa planetaria es la cuestión de los Objetos Cercanos a la Tierra (OCT). Lo constituyen asteroides y cometas con órbitas que los ubican aproximadamente a 150 millones de kilómetros de la Tierra. Se trata de una de las preocupaciones principales de las agencias espaciales dado que su cercanía pone en peligro la seguridad de la Tierra. Se han detectado casi treinta mil asteroides de este tipo de diferentes formas y tamaños, pudiendo suponer muchos de ellos un peligro potencial de impactar sobre nuestro planeta.

El Centro de Estudios de Objetos Cercanos a la Tierra (CNEOS) y la Oficina de Coordinación de Defensa Planetaria de la NASA estudian su acercamiento y evalúan los riesgos de impacto que puedan presentar. En este sentido, resulta importante destacar la misión DART o Prueba de Redirección de Asteroides Dobles de la NASA y la misión Hera de la ESA, que se ocupan de estudiar si un asteroide puede cambiar su dirección y velocidad al ser impactado por una nave espacial. La NASA ha comprobado que el impacto cinético de una sonda contra el asteroide Dimorphos alteró con éxito la órbita del asteroide, cambiando deliberadamente el desplazamiento de un objeto celeste, demostrando que existe la capacidad tecnológica de desviar un asteroide. Este es un primer paso crucial para desarrollar estrategias de mitigación efectivas.

En febrero de 2013, un asteroide rocoso de unos veinte metros de diámetro atravesó la atmósfera de la Tierra sobre la ciudad de Chelyabinsk, Rusia, a una velocidad cercana a los 70,000 kilómetros por hora, liberando una energía equivalente a unas treinta veces la potencia de la bomba de Hiroshima. Finalmente, estalló a una altura de aproximadamente veintiséis kilómetros sobre la superficie terrestre, generando una explosión que causó daños significativos y heridas a miles de personas, además de provocar una onda expansiva que afectó edificios en la zona cercana al impacto. Ello pone en evidencia la perentoria necesidad de mejorar los sistemas de rastreo de

OCT, como por ejemplo el proyecto NEO Surveyor de lanzar un telescopio que vigile la actividad de los asteroides cercanos a la Tierra como ha declarado la NASA.

Por todo ello, esta obra se configura como un compendio necesario y útil para comprender cuáles son las controvertidas aristas que presenta la defensa planetaria en momentos complejos en los que debemos tener presente como cuestión prioritaria la protección de nuestro planeta.

Vivimos tiempos de avances tecnológicos e incertidumbres éticas, lo que nos exige realizar un esfuerzo conceptual para establecer claramente las líneas que no deben ser cruzadas. En este sentido, las contribuciones recogidas en este libro representan un potente estímulo intelectual y un llamado de atención, especialmente en el ámbito del espacio ultraterrestre, para garantizar que se alerte adecuadamente a la comunidad internacional sobre la relevancia de las actividades espaciales.

Compilar temas de interés científico que a la vez puedan ser asequibles a la sociedad en general implica un esfuerzo de calidad y selección, tanto de participantes como de cuestiones a tratar, con el alcance global que se ha propuesto la coordinación y la vocación de anticipar los potenciales y reales peligros que abarca la defensa planetaria.

En momentos como los actuales en los que han surgido corrientes negacionistas que ignoran la existencia de un cambio climático sin precedentes que está azotando a la Tierra con terremotos, contaminación atmosférica, lluvias ácidas, inundaciones, sequías, cambios de temperatura fuera de los ciclos habituales de las estaciones, incendios incontrolados, maremotos o tsunamis, la investigación espacial resulta ser un instrumento oportuno e idóneo para la observación del planeta desde el espacio y la observación del espacio desde nuestros observatorios, con el fin de poder luchar contra el calentamiento global.

Confiamos en que esta obra abra nuevos interrogantes y resuelva algunas de las preguntas que se formula la comunidad internacional sobre el futuro de la humanidad, de nuestro planeta y también sobre la necesidad de tomar conciencia de que, dentro del Holoceno, el Antropoceno se ha convertido en una nueva era geológica, pues, como alerta Paul Crutzen, la Tierra está sufriendo por el impacto irreflexivo de los seres humanos y en contrapartida somos los mismos seres humanos quienes tenemos mucho que decir y hacer en favor de la defensa planetaria.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA AMENAZA DE IMPACTO CÓSMICO

ELOY PEÑA ASENSIO¹

Investigador Predoctoral, Universitat Autònoma de Barcelona e Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC)

JOSEP MARIA TRIGO-RODRÍGUEZ²

Científico Titular, Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC) e Institut d'Estudis Espacials de Catalunya

JULIA DE LEÓN³

Investigadora Distinguida, Instituto de Astrofísica de Canarias

ALBERT RIMOLA⁴

Profesor Interino, Universitat Autònoma de Barcelona

DOI: 10.14679/2273

Sumario. 1. OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA: ORIGEN Y PROPIEDADES. 1.1. Asteroides. 1.2. Cometas. 2. REGISTRO HISTÓRICO DE IMPACTOS CÓSMICOS. 2.1. Chicxulub. 2.2. Cráter Barringer. 2.3. Tunguska. 2.4. Shoemaker-Levy 9. 2.5. Cheliábinsk. 3. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE IMPACTO. 4. DESCUBRIMIENTO Y MONITORIZACIÓN DE OBJETOS

¹ Graduado en Ingeniería Aeroespacial por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Máster en Ciencia y Tecnología Aeroespacial por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y Máster en Astrofísica y Cosmología por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Es investigador predoctoral contratado por esta última universidad realizando su tesis sobre cuerpos pequeños del sistema solar.

² Licenciado en Física por la Universidad de Valencia en 1997, se doctoró en Física Teórica (Astrofísica) en 2002. En 2003 realizó un postdoctorado en el Instituto de Geofísica y Física Planetaria de la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA). En 2009 obtuvo su plaza de Científico Titular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el Instituto de Ciencias del Espacio (ICE, CSIC). Su investigación se centra en la formación de cuerpos menores del sistema solar primitivo (cometas y asteroides), el estudio de sus fragmentos en el espacio (polvo, meteoroides) y el análisis y caracterización de meteoritos.

³ Doctora en Astrofísica por la Universidad de La Laguna (Canarias). Su campo de especialización es la composición de los asteroides, en concreto los que se acercan a la Tierra y muy especialmente los que pueden ser visitados por sondas espaciales. Es parte del equipo científico de las misiones de NASA OSIRIS-REx y DART, y responsable científica del instrumento HyperScout-H a bordo de la misión de defensa planetaria Hera de la ESA. Trabaja como Investigadora Distinguida en el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC).

⁴ Doctor en Química Teórica y Computacional (2007) por la *Universitat Autònoma de Barcelona* (UAB). Profesor agregado del Dept. Química de la UAB. La investigación actual del Dr. Rimola se centra en estudiar fenómenos de superficies de los granos de polvo interestelar mediante simulaciones mecanocuánticas, con el que ha liderado proyectos a nivel nacional como intrnacional.

POTENCIALMENTE PELIGROSOS. 5. ESTRATEGIAS DE DEFENSA: ¿DESTRUIR O DESVIAR? 5.1. Técnicas de mitigación. 5.2. Las misiones DART y Hera. 6. CONCLUSIONES.

1. OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA: ORIGEN Y PROPIEDADES

El universo comenzó hace 13.800 millones de años con una abrupta expansión que continúa hoy en día. Durante los instantes iniciales, tras una fase de altísima densidad y temperatura, se sintetizaron los átomos más sencillos y abundantes, principalmente hidrógeno y helio. Se conformaron gigantescas nubes de gas y polvo que empezaron a colapsar debido a las interacciones electrostáticas y la atracción gravitatoria local inducida por las zonas más densas, naciendo así la primera generación estelar (**Weinberg 1978; Greene 2020**). Gracias a los procesos de fusión nuclear⁵, las estrellas formaron en su interior elementos más pesados que esparcirían⁶ al seno de las galaxias al finalizar su ciclo de vida favoreciendo el nacimiento de nuevas generaciones de estrellas (**Fernández-Soto 2020**).

El contenido químico de nuestra galaxia, la Vía Láctea, ha evolucionado significativamente como consecuencia de la muerte de estrellas previas al Sol. Durante el colapso gradual de la nebulosa que dio origen a nuestro Sol, se formó una estructura aplanada con un sentido de giro preferente⁷ conocida como disco protoplanetario, que ya contenía las cantidades necesarias de elementos para producir materiales sólidos, como rocas, hielos y materia orgánica (**Trigo-Rodríguez 2001, 2012**). La Figura 1 muestra el ciclo nebular de formación de estrellas y planetas.

Con el paso del tiempo el viento solar dispersó parte del gas de su entorno y la temperatura disminuyó bruscamente, lo que permitió que se condensaran diminutos granos de polvo de metal y roca. Estas partículas fueron coalesciendo⁸ en aglomerados cada vez más grandes hasta formar los asteroides y cometas (**Jones 2007**). La evolución del disco se regía por procesos estocásticos⁹ con impactos entre esos primeros cuerpos que, tras decenas de millones de años, crearon los embriones planetarios que finalmente dieron origen a los planetas. Hace unos 3.800 millones de años, gracias a una combinación idónea de composición, distancia al Sol, presencia de campo magnético y órbita e inclinación del eje de rotación estables, proliferaron, en al menos uno de ellos, la Tierra, los primeros organismos vivos (**Mochón 2018**).

⁵ A la creación de elementos químicos mediante reacciones de fusión nuclear en el interior de las estrellas se le denomina nucleosíntesis estelar.

⁶ Por medio del viento solar o al final de la etapa evolutiva de las estrellas con una potente explosión conocida como supernova.

⁷ Los planetas del sistema solar orbitan alrededor del Sol en el sentido contrario a las agujas del reloj (visto desde el polo norte del Sol) debido a la forma en la que colapsó nuestra nebulosa.

⁸ La coalescencia es el proceso por el cual dos o más partículas se aglutinan al hacer contacto para formar un único cuerpo mayor.

⁹ Un sistema se considera estocástico cuando es intrínsecamente no determinista, es decir, de naturaleza azarosa.

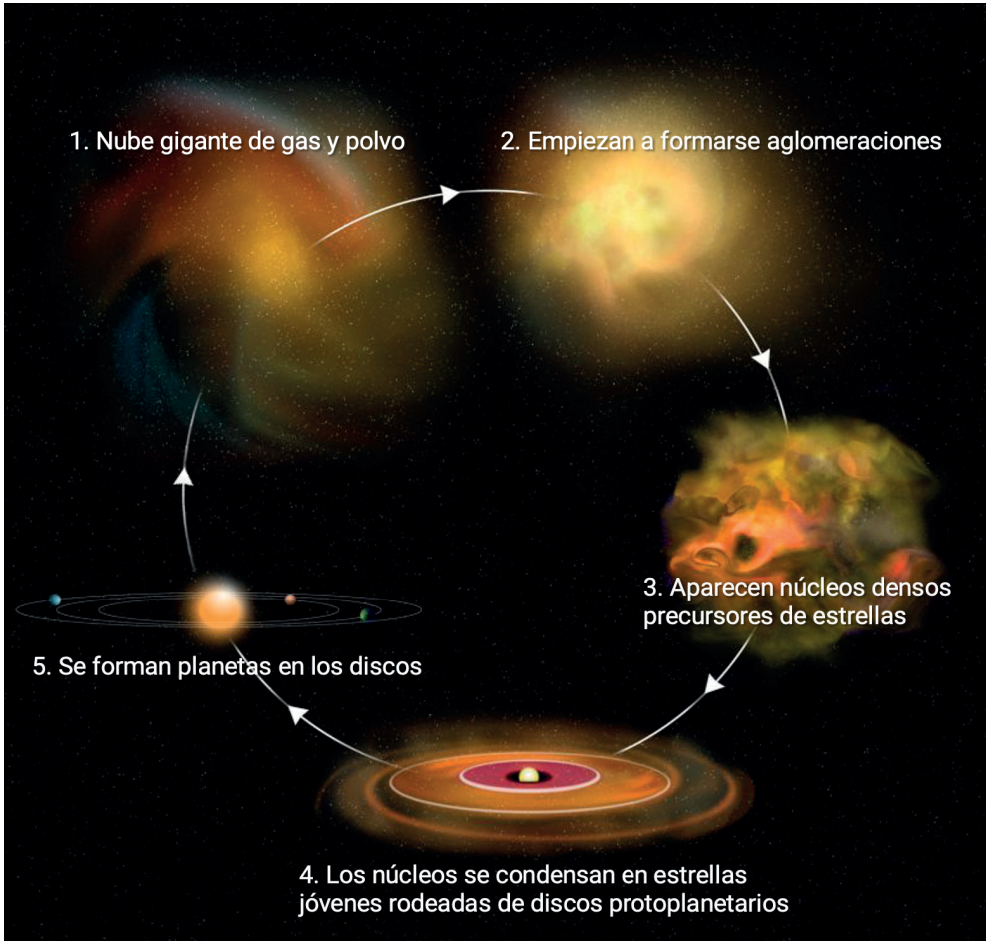


Figura 1. Ciclo nebular de formación de estrellas y planetas a partir de nubes de polvo y gas.
Adaptada de Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF.

Los asteroides son restos de esa fase primigenia de nuestro sistema solar iniciada hace unos 4.600 millones de años, bloques de formación que no fueron acretados¹⁰ ni por los planetas ni por el Sol. Son cuerpos rocosos que orbitan nuestra estrella y presentan tamaños relativamente pequeños, desde 1 metro hasta 1.000 km de diámetro según la definición establecida por la Unión Astronómica Internacional (IAU por sus siglas en inglés). En las zonas más exteriores del sistema solar, donde la radiación solar incidió menos y, por tanto, la temperatura era más baja, nacieron los cometas: bolas de nieve cósmicas formadas por volátiles¹¹ capturados en forma de hielo, polvo fino

¹⁰ Acretar es el proceso de acreción, que es definido como el crecimiento por adición de materia.

¹¹ Los volátiles son el grupo de elementos y compuestos químicos que pueden evaporarse fácilmente. Los que no se vaporizan con tanta facilidad se denominan sustancias refractarias.

y materia orgánica que también orbitan el Sol, pero con periodos orbitales en general mucho mayores que los de los asteroides. Estos objetos frágiles, constituidos por lo que se denominan «hielos sucios» (**Whipple 1950**), pueden superar varias decenas de kilómetros de radio.

Además de asteroides y cometas el espacio exterior cercano a la Tierra contiene un gran número de objetos sólidos de distintos tamaños. Los más pequeños (partículas de polvo interplanetario de escala micrométrica), que con gran diferencia son los más abundantes, chocan continuamente con nuestro planeta. También son los que menos peligro suponen, ya que se desintegran en la atmósfera o se depositan en la superficie en forma de polvo. Aunque el espacio interplanetario está aparentemente vacío lo cierto es que nuestra vecindad cósmica está repleta de pequeños objetos moviéndose a grandísimas velocidades. La muestra más evidente son los meteoros, conocidos vulgarmente como estrellas fugaces, un fenómeno luminoso producido por la ablación¹² de material extraterrestre al impactar contra la atmósfera a hipervelocidad (entre 40.000 y 260.000 km/h) (**Trigo-Rodríguez 2022**).

Prácticamente todos los objetos de mayor tamaño que llegan a la superficie de la Tierra como meteoritos pierden gran parte de su masa durante el frenado atmosférico y alcanzan la superficie como pequeñas rocas incapaces de poner en peligro la vida a una escala significativa. Como consecuencia de las continuas colisiones ocurridas a lo largo de la historia de nuestro sistema planetario hay muchos más objetos pequeños que grandes, por lo que la probabilidad de impacto disminuye exponencialmente al aumentar el diámetro. Por fortuna para la vida, los impactos catastróficos son mucho menos habituales que la colisión de partículas. Solo los proyectiles más grandes, aquellos objetos procedentes del espacio que chocan contra la Tierra con muy poca frecuencia, suponen un peligro potencial para los seres humanos y posiblemente para toda la vida del planeta.

A simple vista podemos intuir el torturado historial de impactos que acompaña a nuestro satélite natural. La superficie maltratada de la Luna nos da una idea de lo violento que puede ser el entorno cósmico cercano. La cara lunar visible está cubierta por cráteres de impacto, cicatrices orográficas fruto de la colisión de objetos sólidos. ¿Por qué nuestra vecina y compañera ha sido tan castigada? ¿Acaso el universo conspira para que la vida en la Tierra pueda prosperar? La realidad es que nuestro planeta ha sufrido más impactos que la Luna por el mero hecho de ser más grande y masivo.

Sin embargo, existen algunas diferencias: i) la mayor parte de la superficie terrestre no es rocosa sino líquida por lo que pocas colisiones han sido capaces de dejar registros evidentes, ii) el calor almacenado en el interior de la Tierra ha mantenido ciclos incesantes de actividad geológica donde el vulcanismo y la tectónica de placas que regeneran la superficie han enmascarado los cráteres de impacto, iii) la presencia de la atmósfera terrestre ejerce un papel de escudo protector desintegrando los asteroides y cometas de decenas de metros de diámetro que intersectan nuestro camino a velocidades hipersónicas.

¹² Fenómeno físico de pérdida de masa de un objeto por fundido, vaporización y pulverización debido a la fricción sufrida con la atmósfera a alta velocidad.

La Tierra ha sufrido y sufre, incluso más que la Luna, la ininterrumpida acometida de proyectiles cósmicos sujetos al azar implícito de la mecánica celeste. La primera tarea es entonces identificar qué puede exponer a nuestro planeta a una amenaza de colisión catastrófica. Estos cuerpos potencialmente peligrosos son pequeños objetos¹³ (en comparación con las estrellas o planetas), o fragmentos de los mismos fruto de procesos de disrupción¹⁴, cuyas órbitas alrededor del Sol los acercan eventualmente a nuestro planeta.

1.1. Asteroides

Los asteroides son mayoritariamente cuerpos rocosos que orbitan alrededor del Sol. Su nombre procede del griego *asteroeidēs* que significa «como una estrella». Suelen estar formados por los mismos materiales que los planetas interiores (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte), aunque existen suficientes variaciones en su composición como para clasificarlos en dos grandes categorías (**DeMeo y Carry 2013**):

- Los asteroides tipo C (la «C» proviene de *carbonaceous*), similares en composición a los meteoritos condritas carbonáceas, son ricos en carbono y están formados por silicatos hidratados (arcillas) y compuestos orgánicos. Estos cúmulos de escombros prístinos presentan superficies oscuras (reflejan muy poco la luz del Sol) y son los más comunes.
- Los asteroides tipo S (la «S» procede de *stony*), pétreos o rocosos, se componen mayoritariamente de silicatos, así como de pequeñas cantidades de níquel y hierro. Casi una quinta parte de los asteroides pertenecen a esta categoría.

Además, existen otros grupos, como los asteroides tipo M (o metálicos) que están formados por níquel y hierro, o los tipo V (por el asteroide Vesta), o basálticos, conformados casi en su totalidad por un tipo concreto de silicatos, los piroxenos. Tanto los asteroides tipo M como los tipo V son muestras del núcleo y de la corteza de objetos de mayor tamaño que sufrieron procesos de diferenciación¹⁵ y posterior fragmentación (exponiendo su núcleo) debido a grandes colisiones.

En la composición de los asteroides no diferenciados, los tipo C y tipo S, se encuentran materiales anteriores a la formación de los planetas. Gracias a su reducido diámetro, estos objetos permitieron que el calor primigenio escapara al espacio sin alterar de manera sustancial su composición. Como resultado, han permanecido prácticamente inalterados desde su formación, vagando en solitario durante miles de

¹³ Los denominados «cuerpos pequeños del sistema solar» son objetos que orbitan el Sol que no se clasifican como planeta, planeta enano, o satélite natural. El término fue definido por primera vez en 2006 por la Unión Astronómica Internacional (UAI o IAU en inglés).

¹⁴ A consecuencia de colisiones con otros objetos o por el tirón gravitatorio producido por un cuerpo masivo en un encuentro cercano, los asteroides y cometas experimentan procesos de fragmentación conocidos como disrupción. Así mismo, los cometas, debido a su composición, pueden sublimar sus gases en un paso cercano al Sol provocando la separación y eyección de fragmentos.

¹⁵ La diferenciación es el proceso de separación de los componentes de un cuerpo como resultado de su evolución química y física al desarrollar capas de composición distinta.

millones de años. Son auténticos fósiles espaciales que encapsulan información sobre los componentes iniciales de nuestra nebulosa solar y del entorno galáctico en el que se formó nuestra estrella.

La mayoría de estos cuerpos sólidos orbita en el Cinturón de Asteroides¹⁶ situado entre Marte y Júpiter. Hasta la fecha se han identificado más de un millón de objetos en este cinturón, si bien se estima que puede contener hasta cien millones de asteroides mayores de 100 m (**Holsapple 2022**). Existen otros grupos, como los asteroides troyanos de Júpiter, que coorbitan junto con el planeta alrededor del Sol, o los denominados Objetos Cercanos a la Tierra (OCT o NEO en inglés) cuyas órbitas los acercan a la vecindad terrestre (a menos de 150 millones de kilómetros). Estos asteroides próximos a nuestro planeta pueden ser clasificados a su vez en tres grandes grupos de acuerdo con sus órbitas: Apolo, Atenas y Amor. Los dos primeros grupos tienen órbitas que cruzan la de la Tierra, mientras que el tercero solo se aproxima, pero no la cruza. Existe un cuarto grupo, los Atiras, cuyas órbitas están contenidas (son «interiores») en la órbita terrestre.

En la Figura 2 se muestra una imagen ilustrativa de los tres grupos principales de asteroides clasificados atendiendo a sus órbitas, así como el Cinturón Principal de Asteroides.

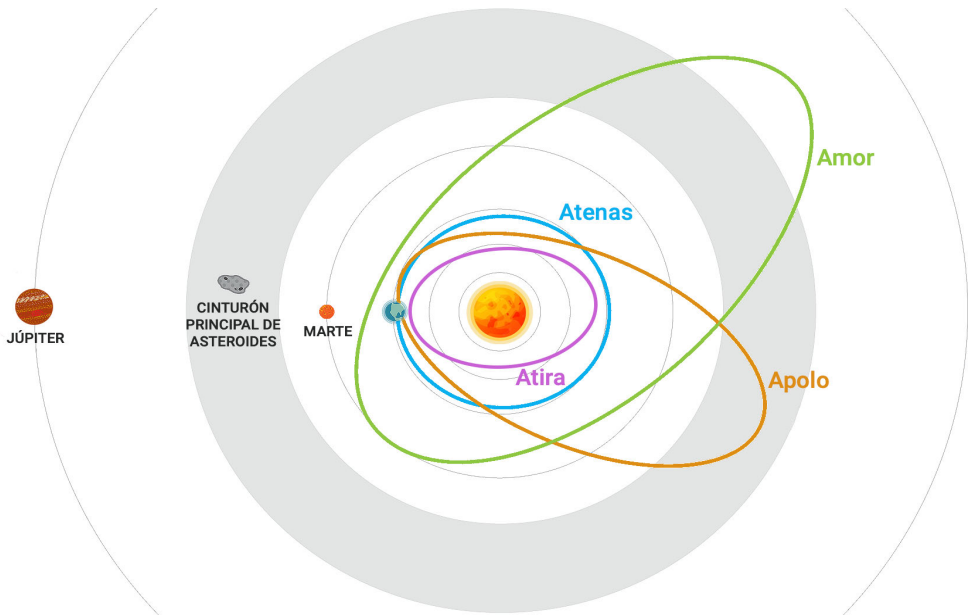


Figura 2. Grupos principales de asteroides cercanos a la Tierra según sus órbitas, junto con el Cinturón Principal de Asteroides ubicado entre Marte y Júpiter. Figura adaptada de la Sociedad Astronómica de Lahore.

¹⁶ El Cinturón de Asteroides es una región del sistema solar en forma de toroide situada aproximadamente entre las órbitas de Marte y Júpiter a una distancia dos veces y media la que separa la Tierra del Sol. Contiene un gran número de cuerpos sólidos con forma irregular y de diversos tamaños. También se denomina Cinturón Principal de asteroides o Cinturón Principal.

1.2. Cometas

Los cometas son conglomerados de gases congelados (principalmente agua, CO y CO₂), rocas y polvo sobrantes de la formación de nuestro sistema planetario¹⁷. La mayor parte se encuentra en las afueras del sistema solar donde la radiación del Sol no es tan agresiva y el agua puede permanecer en estado sólido. Algunos provienen de un amplio disco poblado de cuerpos helados, situado más allá de la órbita de Neptuno llamado Cinturón de Edgeworth-Kuiper o cinturón transneptuniano (**Fernández 2020**). Este tipo de cometas puede sufrir perturbaciones en su movimiento y ver reducidas sus órbitas acercándose al interior del sistema solar, pasando a denominarse cometas de la familia de Júpiter (o JFC por sus siglas en inglés) y suelen tener periodos orbitales de menos de 20 años. Otros cometas, conocidos como de periodo largo (superior a 200 años), provienen de la Nube de Oort¹⁸, una esfera en el borde exterior del sistema solar que está miles de veces más lejos del Sol que el Cinturón de Edgeworth-Kuiper. Finalmente, existen cometas procedentes de la región externa de la Nube de Oort que tardan mucho más en orbitar alrededor del Sol, pudiendo necesitar millones de años para completar una sola revolución a nuestra estrella. La Figura 3 muestra una ilustración de la escala de tamaños del Cinturón Principal, el Cinturón de Edgeworth-Kuiper y la Nube de Oort en el sistema solar.

Los cometas no son tan grandes como los asteroides (en promedio tienen unos 10 km de diámetro), se encuentran a mayores distancias y poseen superficies muy oscuras, por lo que son difíciles de detectar. Debido a sus largos periodos orbitales suelen ser descubiertos durante su acercamiento al sistema solar interior por ser el momento en que se vuelven más brillantes: cuando un cometa se acerca al Sol, los hielos que lo componen se subliman¹⁹ y forman, junto con las partículas de polvo²⁰ arrastradas, una brillante atmósfera denominada coma, que orbita localmente alrededor del núcleo del cometa.

¹⁷ La misión Stardust de la NASA fue la primera en recoger muestras de un cometa, 81P/Wild 2, que pudieron analizarse en nuestros laboratorios e indicaron por vez primera que algunos cometas podrían tener materiales expulsados por el Sol en sus fases tempranas de formación (**Brownlee et al. 2006; Trigo-Rodríguez 2008**).

¹⁸ La Nube de Oort es una predicción teórica de la región más exterior del sistema solar y la población de pequeños objetos helados que la componen. Aunque se han presentado múltiples evidencias de su existencia, nunca se ha observado directamente. El borde exterior está tan alejado del Sol (a unos 3 años luz) que está más cerca de Alpha Centauri (la estrella más próxima al Sol) que de la Tierra.

¹⁹ Proceso por el que una sustancia pasa súbitamente de estado sólido a gaseoso.

²⁰ Esas partículas son agregados débilmente unidos por hielos y materia orgánica por lo que al ser expuestos a la radiación solar se van pulverizando hasta las dimensiones micrométricas, contribuyendo a reflejar la luz del Sol.

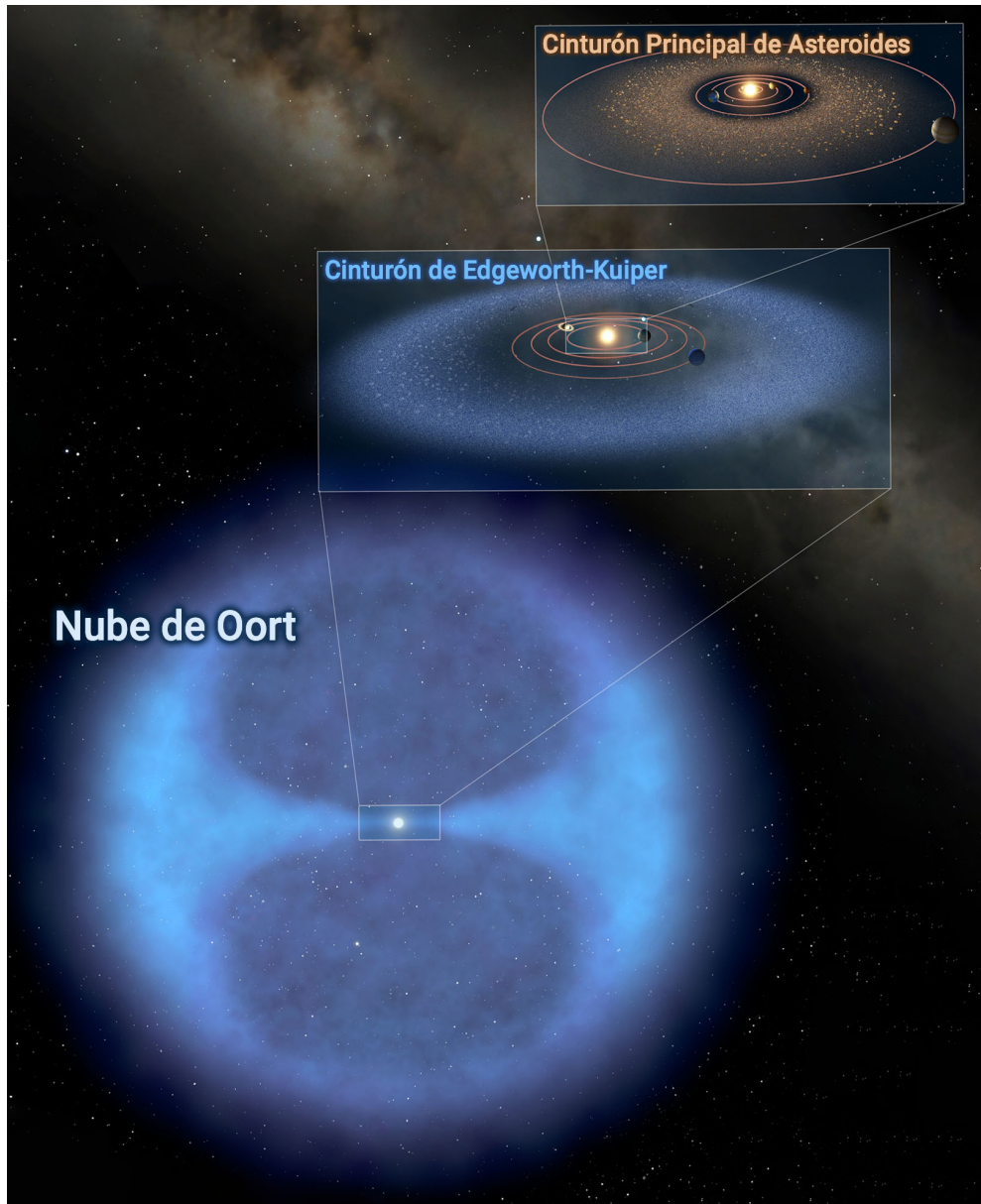


Figura 3. Ilustración del sistema solar con la Nube de Oort, el Cinturón de Edgeworth-Kuiper y el Cinturón Principal de Asteroides. Adaptada de Getty Images.



Figura 4. Arriba: Cometa C/1995 O1 (Hale-Bopp), fotografiado el 14 de marzo de 1997. Crédito: ESO/E. Slawik. Abajo: Imagen del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko tomada el 31 de enero de 2015 por la sonda Rosetta a una distancia de 28 km. Crédito: ESA/Rosetta/NAVCAM.

A medida que el polvo y el gas de la coma se expanden en el espacio, el cometa forma dos colas, una denominada iónica, compuesta por moléculas y radicales ionizados, y otra conocida como cola de polvo, producidas por la presión de la luz solar que incide sobre sus diminutas partículas micrométricas. La cola de iones se forma a partir de los gases volátiles de la coma, ionizados por los fotones ultravioletas del Sol y arrastrados por el viento solar. Apunta casi exactamente en dirección opuesta al Sol y brilla con un color azulado debido a la presencia de iones CO^+ (Rodgers et al. 2004). La cola de polvo sigue la dirección opuesta al movimiento del cometa y forma una larga estructura curvada que suele ser de color amarillento. Precisamente estas colas son las que dieron lugar a su nombre: la palabra cometa procede del griego *kometes*, que significa «de pelo largo». La Figura 4 muestra al cometa Hale-Bopp de 60 km de diámetro con sus dos colas visibles a simple vista en 1997 y el cometa de 4 km 67P/Churyumov-Gerasimenko fotografiado por la sonda espacial Rosetta de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Una de las características de las órbitas de los cometas es que son muy excéntricas, lo que implica que cuando están lejos del Sol su movimiento es lento, pero se aceleran drásticamente conforme se adentran hacia el centro del sistema solar (hasta 2 o 3 veces la velocidad típica de los asteroides). Que sean difícilmente observables al provenir de los confines del sistema solar y que al pasar cerca de la Tierra tengan velocidades extremadamente altas, confiere a los cometas su fama de «destructores de mundos».

Algunos cometas, aunque en mucha menor medida que los asteroides, también son clasificados como OCT, ya que tienen órbitas que les acercan eventualmente a la Tierra. Actualmente, existen un total de 118 cometas de este tipo, es decir, apenas un 0,4% del total.

La mayor parte de lo que sabemos sobre los asteroides y los núcleos cometarios procede de las observaciones realizadas de forma remota con telescopios (tanto terrestres como espaciales), utilizando instrumentos denominados espectrógrafos²¹. Dado que solo tenemos acceso a la luz reflejada en la superficie de estos objetos, resulta muy difícil obtener información acerca de la estructura interna de los mismos que es crucial para predecir cómo se comportarían en caso de impacto. El análisis de los meteoritos en el laboratorio nos permite conocer propiedades típicas del interior de estos cuerpos, como la densidad. Sin embargo, solo podemos «asignar» densidades a los asteroides en función de la mayor o menor similitud de sus espectros con los de los meteoritos, por lo que es un método con mucha incertidumbre. Afortunadamente, este paradigma está cambiando con el envío de misiones espaciales (como Pioneer 10, Stardust, Hayabusa,

²¹ El espectrómetro óptico o espectroscopio es un instrumento capaz de analizar diferentes longitudes de onda de la radiación electromagnética. Cada elemento o molécula al emitir o absorber fotones energéticos produce un espectro particular que puede ser identificado gracias a este dispositivo. Esto permite analizar la composición de las colas de los cometas cuando son atravesadas por un haz de luz y de las superficies de asteroides y núcleos cometarios a partir de la luz reflejada en ellas.

Hayabusa 2, Rosetta, Deep Impact, OSIRIS-REx, Lucy, etc.)²² tanto para el análisis *in situ* como para el retorno de muestras vírgenes de material.

2. REGISTRO HISTÓRICO DE IMPACTOS CÓSMICOS

Los impactos entre cuerpos celestes no solamente no son una rareza, sino que son condición *sine qua non* para la formación de los sistemas planetarios y, por ende, de la vida. La teoría del gran impacto (**Hartman y Davis 1974; Canup 2004**) afirma que la existencia de la Luna se debe a una gigantesca colisión de un protoplaneta del tamaño de Marte, Tea, con una joven Tierra en los albores de su historia. La Luna cumple un papel importante en el desarrollo de la vida al estabilizar la inclinación de la Tierra sobre su eje contribuyendo a mantener el clima. Asimismo, se ha propuesto que los impactos de cometas y asteroides hidratados trajeron el agua a la Tierra y se ha sugerido que los orígenes de la vida pudieron haberse visto inducidos por la colisión de objetos contra la superficie terrestre que transportaban minerales catalíticos e incluso compuestos orgánicos (**Rotelli et al. 2016**).

Esta visión de la historia de la Tierra surgió hace relativamente poco tiempo debido, sobre todo, a la falta de observaciones directas y a la dificultad de reconocer los signos de un impacto terrestre a causa de la erosión y la meteorización²³. Hasta los años sesenta, fruto de la encomiable labor desarrollada por el geólogo Eugene Shoemaker, se pensaba que la formación de cráteres era exclusivamente el resultado del vulcanismo.

Los primeros registros de caídas de meteoritos datan del año 861, en Nogata, ciudad de Fukuoka (Japón). Un gran resplandor fue reportado por diferentes testigos visuales un 19 de mayo. A la mañana siguiente, habitantes de la zona recuperaron el meteorito en un agujero producido por el impacto. Esta piedra espacial se ha conservado en el santuario sintoísta de Suga Jinja, cuya fecha (7 de abril del tercer año de Jogan, es decir, 19 de mayo de 861 en el calendario juliano) está escrita en la caja de madera que la contiene, siendo considerada la caída de meteorito avistada más antigua de la historia (**Shima et al. 1983**).

Incluso durante la Ilustración, era difícil asimilar que pudieran caer rocas del cielo o que repentinamente se iluminase una noche oscura, configurando cierta áurea mística en torno al fenómeno meteórico. En la época precientífica, cuando las opiniones sobre la mayoría de los temas se basaban en creencias religiosas, la idea de que ciertas rocas pudieran proceder del espacio exterior estaba directamente descartada por la sencilla razón de que las rocas son terrestres y el firmamento es celestial, por lo que

²² Los esfuerzos de retorno de muestras a los laboratorios constituyen un avance sin precedentes en la comprensión de estos objetos. Las misiones de la Agencia Espacial Japonesa (JAXA) Hayabusa y Hayabusa 2 han traído material de la superficie de dos asteroides muy diferentes, Itokawa (tipo S) y Ryugu (tipo C). Gracias a ambas misiones sabemos que los materiales del regolito que conforman sus superficies poseen propiedades esencialmente idénticas a las de los meteoritos que llegan a la Tierra (**Nakamura et al. 2011; Noguchi et al. 2022**).

²³ La meteorización es la descomposición de rocas, suelos y minerales por la interacción con el agua, la atmósfera y los organismos biológicos.

no podía haber ninguna conexión entre ambas esferas. Aunque esa era la opinión establecida por los eruditos cristianos medievales, su origen se remonta a la Antigua Grecia. El filósofo Aristóteles sostenía que no existen cuerpos pequeños más allá de la Luna siendo la Tierra el origen de todas las rocas y que, si parecían caer del cielo, era porque habían sido transportadas por fenómenos meteorológicos. A principios del siglo XIX, tras la revolución francesa, el físico Jean-Baptiste Biot recopiló una serie de declaraciones de personas que observaron la caída de material procedente del espacio exterior, iniciando el debate científico sobre el origen extraterrestre de las rocas caídas del cielo (**Llorca 2004**).

El reconocimiento del peligro de impacto cósmico se remonta, al menos, a los científicos ingleses Isaac Newton y Edmond Halley con sus trabajos sobre el Gran Cometa de 1680 donde demostraron que su órbita cruzaba la de la Tierra, aunque el cometa fue descubierto por el astrónomo alemán Gottfried Kirch. Tuvo una repercusión notable en la época como lo atestiguan los escritos y pinturas que inspiró, llegando a realizarse monedas conmemorativas en el siglo XVII.

Desde entonces, los registros de estos acontecimientos han experimentado un constante aumento. A continuación, exploraremos algunos de los eventos de impacto más representativos, los que han dejado una profunda huella tanto en las sociedades modernas como en la comunidad científica.

2.1. Chicxulub

El interés moderno por las amenazas cósmicas se reavivó en la década de los ochenta, cuando el físico experimental estadounidense Luis Walter Álvarez laureado con el premio Nobel en 1968, junto con su hijo el geólogo Walter Álvarez y un equipo científico, presentaron pruebas de que el impacto de un gran objeto fue el responsable de la extinción masiva de finales del Cretácico (hace 66 millones de años), en la que perecieron la inmensa mayoría de dinosaurios no aviares y gran parte de la vida marina (**Álvarez et al. 1980**). Este evento es un cronohorizonte geológico conocido como el límite Cretácico-Paleógeno (K-Pg), anteriormente denominado Cretácico-Terciario (K-T). Observaron que el núcleo de rocas asociadas a esta época presentaba una fina capa que separaba estos dos períodos con una concentración particularmente alta de iridio, el metal más pesado. Debido a la elevada densidad de este elemento, la cantidad inicialmente presente en la Tierra se hundió hacia el interior en el proceso de diferenciación de la misma, mientras que el iridio que encontramos en las capas externas tiene su origen en la deposición gradual de material meteorítico procedente del espacio. Este pico de iridio en el límite K-Pg era equiparable al volumen de un objeto de composición asteroidal de más de 10 km de diámetro (**Schulte et al. 2010**).

Diversos equipos científicos han identificado el lugar exacto del impacto, el cráter de Chicxulub, frente a la península de Yucatán en el Golfo de México, que coincide con una colisión de un proyectil de dichas características (**Hildebrand et al. 1991**). También se han encontrado indicios de que impactos catastróficos similares pudieron haber desencadenado otras extinciones masivas. Además de causar una devastación inmediata

local junto a los consiguientes terremotos, incendios y tsunamis, las colisiones de grandes objetos pueden perturbar el medio ambiente de la Tierra a nivel global al eyectar gran cantidad de material a la atmósfera (ver Figura 5), ocasionando una disminución drástica de la cantidad de luz solar que llega a la superficie y, por tanto, un descenso prolongado de temperaturas que provocaría la pérdida de la vida vegetal y, con ello, la interrupción del ciclo de regeneración de oxígeno y producción de nutrientes básicos.

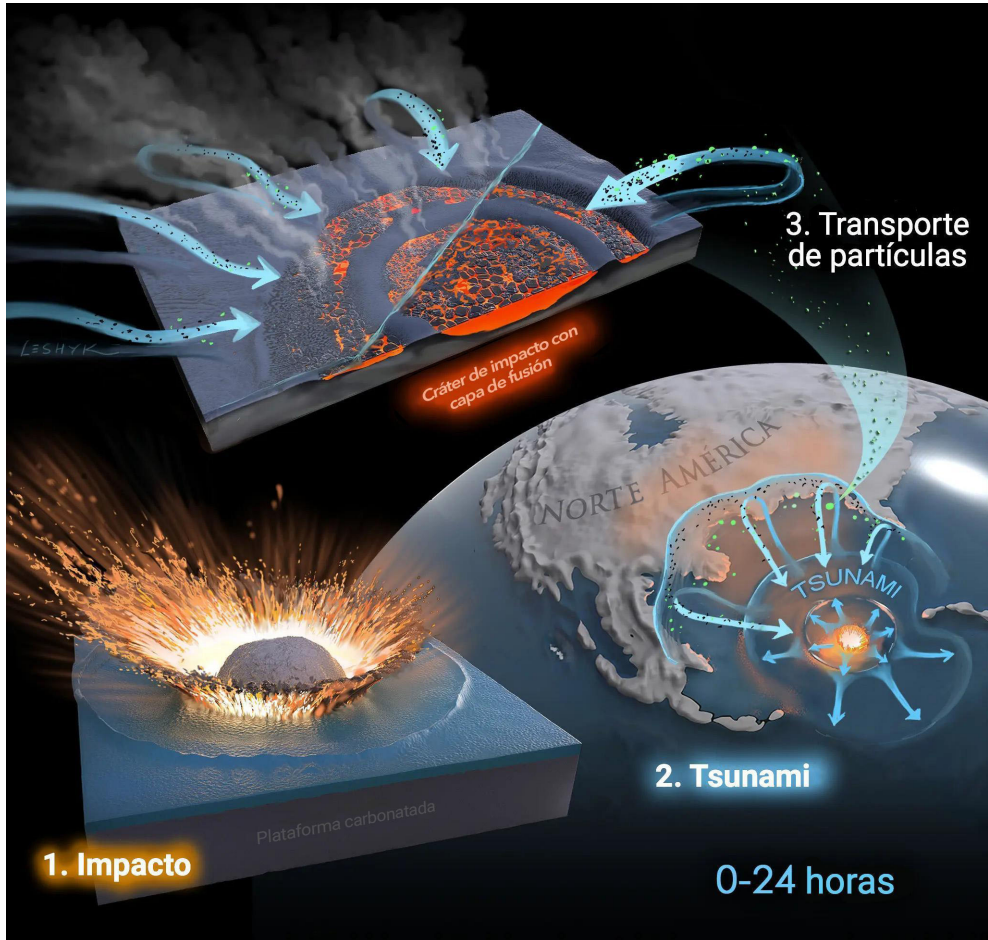


Figura 5. Ilustración de algunos de los fenómenos físicos ocurridos en el primer día tras el impacto de Chicxulub. Adaptada de Victor O. Leshyk/GEOLGY/GSA.

2.2. Cráter Barringer

Los impactos terrestres relativamente grandes como el que produjo hace 50.000 años el cráter Barringer, conocido localmente como *Meteor crater*, al noreste de Flagstaff (Arizona), son poco frecuentes (Kring 2007). Si relacionamos el diámetro del asteroide

metálico (42 m) y el cráter que produjo (1,2 km) podemos imaginar la capacidad destructiva que poseen los impactos a grandes velocidades (Figura 6). El cráter Barringer se atribuyó a una explosión volcánica prehistórica, del mismo modo que los cráteres de la superficie de la Luna se explicaron inicialmente de manera similar.

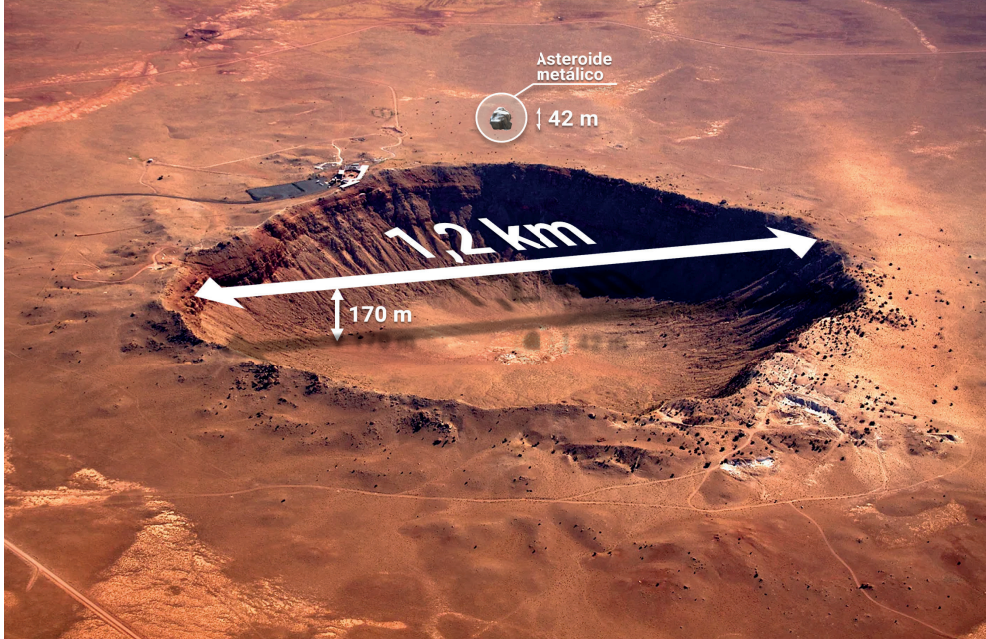


Figura 6. Vista aérea del cráter Barringer en Arizona. Se incluye en la imagen una ilustración del posible asteroide metálico que lo produjo. Adaptada de Chris Saultit.

Hasta 1903-1905 no se identificó correctamente el cráter Barringer como cráter de impacto, y en 1963 las investigaciones de Eugene Merle Shoemaker demostraron de forma concluyente esta hipótesis (**Shoemaker 1963**). Los hallazgos de la exploración espacial de finales del siglo XX y el trabajo de científicos como Shoemaker evidenciaron que la craterización por impacto es, con diferencia, el proceso geológico más extendido en los cuerpos sólidos del sistema solar. Todos presentan cráteres y no hay razón para creer que la Tierra se hubiera librado de algún modo del bombardeo espacial.

2.3. Tunguska

El último impacto registrado con efectos devastadores ocurrió cerca del río Tunguska (sierra siberiana) el 30 de junio de 1908, cuando un objeto de unos 70 metros destruyó 80 millones de árboles instantáneamente con una energía equivalente a 12 megatonnes de TNT (energía similar a las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki), que hubiera ocasionado decenas de miles de víctimas de haber ocurrido en un área metropolitana. A pesar de que el evento tuvo lugar en la taiga, una zona despoblada, se

reportaron al menos tres personas fallecidas. Las primeras expediciones no encontraron restos de meteoritos por lo que se sugirió que podría haberse tratado de un cometa, ya que debido a su fragilidad pueden desintegrarse en la atmósfera sin producir grandes fragmentos ni cráteres. Sin embargo, un siglo más tarde, nuevos estudios científicos han podido identificar los restos microscópicos remanentes del evento (**Longo et al. 1994; Kvasnytsya et al. 2013**), reforzando la hipótesis del impacto por un objeto asteroidal, si bien su naturaleza cometaria sigue siendo debatida.

Los informes de quienes presenciaron el acontecimiento de Tunguska ayudaron a esbozar una imagen de lo ocurrido. Cuando la bola de fuego²⁴ surcó el cielo generó una onda expansiva y un incremento súbito de la temperatura, aniquilando a todos los seres vivos de la zona, un gran bosque de 2.150 km² que quedó completamente arrasado. Las fotografías de la Figura 7 revelan el alcance y la fuerza del evento, mostrando árboles abatidos y quemados apuntando radialmente hacia el centro del impacto.



Figura 7. Árboles derribados por la explosión de Tunguska. Fotografías de la expedición de 1927 de la Academia Soviética de Ciencias dirigida por Leonid Kulik.

La gran explosión producida se pudo registrar en toda Asia y Europa, incluso fueron detectadas ondas de aire por estaciones sísmicas de América del Norte. La onda de impacto fue equivalente a un terremoto de magnitud 5,0 en la escala de Richter. También, la inyección de polvo en suspensión fue descrita hasta meses después del evento. Se considera que es el mayor evento de este tipo registrado en la historia.

2.4. Shoemaker-Levy 9

El cometa Shoemaker-Levy 9 fue descubierto por Carolyn Shoemaker, Gene Shoemaker y David Levy en una fotografía tomada el 18 de marzo de 1993 con el telescopio Schmidt de 0,4 metros en el Monte Palomar, California. Cuando se descubrió, ya se había desgarrado en más de 20 pedazos que orbitaban alrededor de Júpiter con periodos de dos años. Observaciones adicionales revelaron que el cometa se había

²⁴ Comúnmente a un meteoro muy brillante se le denomina bola de fuego, aunque esta fase luminica es en realidad plasma y gases ionizados.

acercado a Júpiter en julio de 1992 y se había fragmentado debido a las poderosas fuerzas gravitatorias del planeta (**Fortov et al. 1996**).

La desintegración de un cometa en múltiples fragmentos no es en hecho común, y observar un cometa capturado en órbita alrededor de Júpiter es aún más inusual, pero lo más insólito fue descubrir que los fragmentos iban a estrellarse contra Júpiter. Los observatorios de todo el mundo estaban en posición de presenciar –por primera vez en la historia– una colisión entre dos cuerpos del sistema solar. Los sucesivos impactos se produjeron en un periodo de 6 días en julio de 1994 y fueron registrados con múltiples instrumentos y desde diferentes localizaciones.

Los fragmentos chocaron contra Júpiter con la fuerza de 300 millones de bombas atómicas, produciendo enormes penachos²⁵ de entre 2.000 y 3.000 kilómetros de altura y calentando la atmósfera hasta temperaturas que alcanzaron los 40.000 grados Celsius. Shoemaker-Levy 9 dejó cicatrices oscuras y anilladas que finalmente se acabaron desvaneciendo por los vientos existentes en la atmósfera del planeta (Figura 8).

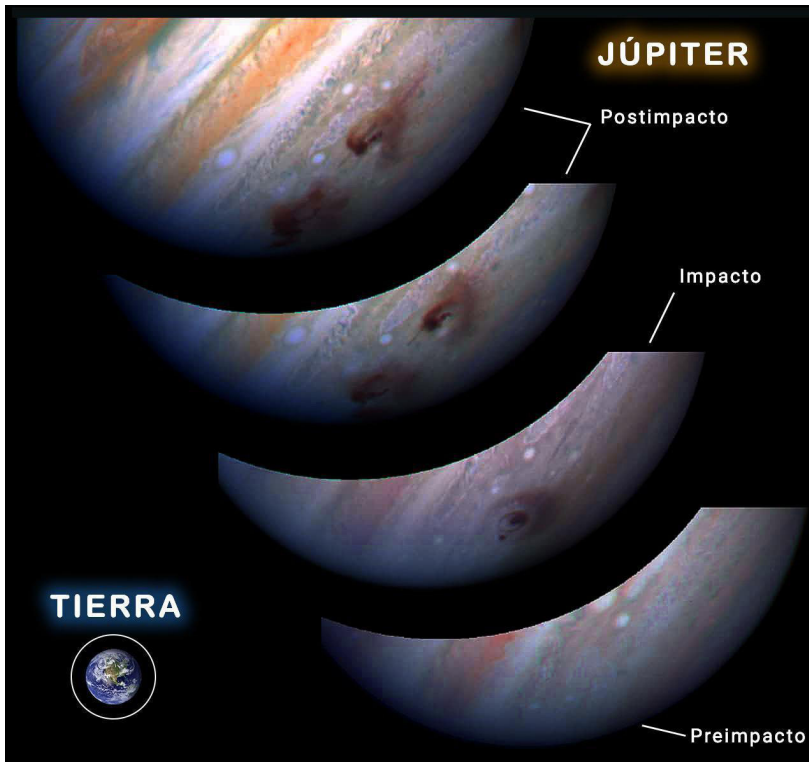


Figura 8. Mosaico de imágenes Júpiter tomadas por el telescopio espacial Hubble tras el impacto del cometa Shoemaker-Levy 9 con la Tierra a escala para comparación. Adaptada de R. Evans, J. Trauger, H. Hammel y el HST Comet Science Team (NASA).

²⁵ Penacho o pluma es una nube de polvo (similar a la coma de un cometa) producida por la excavación de un cráter o por la sublimación de materiales volátiles durante una colisión.

2.5. Cheliábinsk

En febrero de 2013, una roca de unos 20 metros pasó desapercibida para todos los observatorios del mundo impactando en la ciudad rusa de Cheliábinsk ante miles de personas que presenciaron el evento (la Figura 9 muestra una fotografía casual de la estela persistente que originó). La propia onda expansiva y la energía que irradió ocasionaron 1.600 personas heridas. El asteroide de 13.000 toneladas entró en la atmósfera a 69.000 km/h produciendo un brillo mayor que el del Sol al liberar 440 kilotonnes de TNT (**Borovička et al. 2013; Brown et al. 2013**). No pudo ser detectado previamente al impacto, ya que su procedencia coincidía con la posición del Sol, haciendo imposible a los telescopios observar adecuadamente esa zona del cielo.

La mayor parte de los meteoritos generados por este evento fueron fácilmente encontrados gracias a que cayeron en las inmediaciones y en el propio lago Chebarkul dejando, el mayor de ellos, un gran agujero en su superficie helada. Se pudieron recuperar 6 toneladas de material, siendo el mayor meteorito de 650 kg aproximadamente²⁶.



Figura 9. Nube de vapor persistente dejada por el asteroide que impactó en Cheliábinsk.

Crédito: M. Ahmetvaleev.

3. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE IMPACTO

La IAU, junto con la Spaceguard Foundation y otras organizaciones, celebraron en junio de 1999 una reunión en la ciudad de Turín (Italia) para tratar el peligro de colisión de asteroides. Uno de los resultados de este encuentro fue la denominada Escala de Turín, una métrica para describir el riesgo de impacto de asteroides y cometas que funcionó como un llamamiento a la cooperación internacional y a la financiación de iniciativas de vigilancia del cielo (**Binzel 2000**). El propósito era establecer un sistema análogo a la escala de Richter para terremotos. Unos años más tarde, en 2002, se propuso una nueva métrica que además tenía en cuenta el tiempo previo de alerta, la Escala de

²⁶ El análisis de varios de estos meteoritos en el Instituto de Ciencias del Espacio (ICE, CSIC), ha proporcionado información muy valiosa de cara a desarrollar técnicas de defensa contra asteroides (**Moyano-Cambero et al. 2017**).

Palermo (**Chesley et al. 2002**). Ambas se usan actualmente ya que ofrecen información complementaria: la escala de Turín estima principalmente el riesgo en función de la energía cinética del objeto (proporcional a su tamaño y velocidad) y la probabilidad de impacto²⁷, mientras que la escala de Palermo lo hace en función del tiempo restante para la colisión y el riesgo de impacto de objetos de una población aleatoria (contabiliza la probabilidad de que un impacto de otro objeto mayor ocurra antes).

La escala de Turín utiliza un código de colores subdividido del 1 al 10 (Figura 10), y fue diseñada con la finalidad de ser fácilmente interpretable por el gran público: (i) blanco, cuando no hay riesgo de impacto, (ii) verde, para objetos generalmente recién descubiertos que pasan cerca de la Tierra pero sin riesgo de impacto aparente, (iii) amarillo, si merece la atención de la comunidad astronómica para profundizar en su estudio, típicamente con un 1% de probabilidades de colisión y capacidad de provocar un daño local, (iv) naranja, cuando supone una amenaza importante pero con gran incertidumbre, pudiendo ser objetos grandes que en un tiempo de un siglo supondrían una catástrofe global y (v) rojo, si la colisión es certera y las consecuencias pudieran ser devastadoras a escala planetaria. Esta métrica es muy útil para la comunicación del riesgo, lo que conlleva, por el contrario, que a nivel técnico no ofrezca gran detalle. Por otro lado, la escala de Palermo asignaría un valor de 0.0 a un objeto si su probabilidad de colisión con la Tierra es similar a la de uno aleatorio con la misma o mayor energía de impacto. De esta manera, -1 indicaría que un impacto de un objeto aleatorio es diez veces menos probable y +1 diez veces más probable.

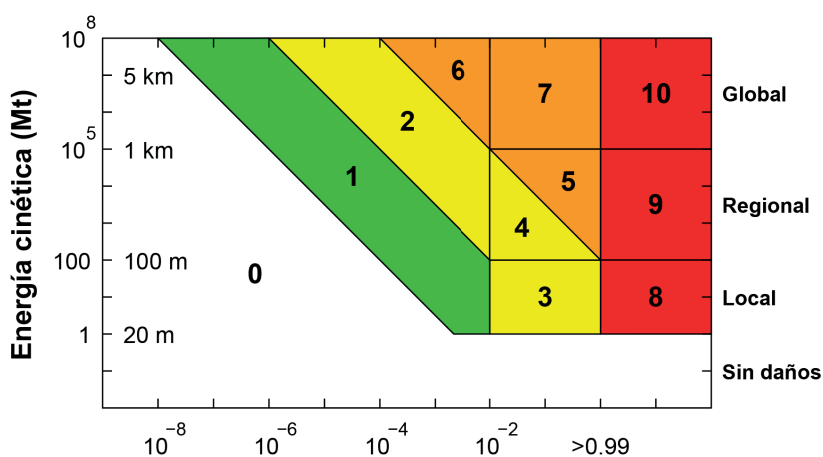


Figura 10. Escala de Turín con las diferentes clasificaciones según el daño causado. Se muestra la probabilidad de impacto en función de la energía cinética y el diámetro aproximado para un asteroide típico. Adaptada de **Binzel (2000)**.

²⁷ La probabilidad de impacto se determina prediciendo el movimiento del objeto con base en a las observaciones de su trayectoria previa. Su movimiento estará definido por unos parámetros con unas incertidumbres asociadas. Se construye entonces una población de clones que representa el rango de error de su órbita, siendo la probabilidad de impacto proporcional al número de clones que colisionan con la Tierra.

En la actualidad se han descubierto aproximadamente 30.000 objetos en órbitas cercanas a la Tierra, OCT, conformados por asteroides y cometas de periodo corto de más de un metro de diámetro. Se catalogan como Objetos Potencialmente Peligrosos (OPP o PHOs por sus siglas en inglés) si su tamaño supera los 140 metros y se acercan a la Tierra a menos de 20 veces la distancia Tierra-Luna (unos 7,5 millones de km), existiendo actualmente alrededor de 2.000 OPP, aunque ninguno con posibilidades de impacto en el próximo siglo. Hay 160 OPP con diámetro superior a un kilómetro que podrían causar más de mil millones de muertes si colisionaran con nuestro planeta.

Se estima que la energía liberada por un impacto de este tipo de objetos oscila entre un megatón y mil millones de megatonnes, es decir, entre 70 y 70 mil millones de veces la energía de la bomba atómica lanzada sobre Hiroshima en 1945. Los objetos menores de 50 metros difícilmente causarían daños en la superficie terrestre, sin embargo, los mayores podrían salvar la protección natural que nos ofrece nuestra atmósfera y generar estallidos atmosféricos o, incluso, excavar cráteres (**Trigo Rodríguez 2022**). La frecuencia de impacto de un objeto como el de Tunguska se encuentra entre 250 y 500 años, mientras que un evento capaz de provocar una extinción masiva se estima que ocurre de media cada 100 millones de años. Sin embargo, estos datos son solo aproximaciones estadísticas. Cualquier localización de la Tierra tiene, a grandes rasgos, la misma probabilidad de recibir el impacto de un cuerpo celeste, siendo además el ángulo de impacto completamente aleatorio, por lo que el valor promedio es de 45 grados. La Tabla 1 muestra las posibles víctimas ocasionadas por un impacto en función de su diámetro y ocurrencia.

Tabla 1. Frecuencias de impacto y víctimas estimadas en función del tamaño del objeto (NASA 2007).

Evento	Diámetro	Víctimas	Frecuencia
Grandes bólidos	< 50 m	0	Anual
Tunguska	> 50 m	5.000	250-500 años
Daño regional	> 140 m	50.000	5.000 años
Daño regional alto	> 300 m	0.5 M	25.000 años
Daño global bajo	> 600 m	5 M	70.000 años
Daño global medio	> 1 km	1.000 M	1 M años
Daño global alto	> 5 km	2.000 M	6 M años
Extinción masiva	> 10 km	6.000 M	100 M años

Debido a la naturaleza estocástica de estos fenómenos podríamos enfrentarnos a un evento de estas características en cualquier momento, estando el planeta continuamente expuesto al azar de esta violencia cósmica a la que nos somete nuestro vecindario solar.

4. DESCUBRIMIENTO Y MONITORIZACIÓN DE OBJETOS POTENCIALMENTE PELIGROSOS

Se estima que anualmente llegan a la Tierra 40.000 toneladas de material espacial generando alrededor de 17.600 meteoritos, de los cuales se han recuperado 50.000

ejemplares a lo largo de la historia (**Peucker-Ehrenbrink y Schmitz 2001; Evatt et al. 2020**). Desde 1955 la Base de Datos de Impactos Terrestres ha sido mantenida y actualizada por el Observatorio Dominion y, posteriormente, por la Universidad de Nuevo Brunswick en Canadá, siendo contabilizados 190 cráteres o estructuras de impacto hasta el día de hoy.

En 1898 se descubrió el primer asteroide cercano a la Tierra y no fue hasta 1932 que se identificó el primero que cruzaba la órbita terrestre. En esa misma década fueron aumentando los descubrimientos y cada vez se hacía más evidente la naturaleza rocosa de estos objetos y su relación con los meteoritos.

El interés político llegó tras la publicación del libro *Cosmic Catastrophes* de Chapman y Morrison en 1989 y la comparecencia del segundo autor en la audiencia de la Cámara de Representantes de Estados Unidos el 26 de junio de ese mismo año. La atención siguió aumentando con la publicación de un documento donde el *American Institute of Aeronautics and Astronautics* (AIAA) describía con detalle la amenaza de los OCT y reclamaba que se invirtiera en la detección de estos objetos, así como en las opciones de deflexión (desvío) y destrucción de los mismos.

A finales de la década de 1980 se estableció un nuevo paradigma sobre el peligro de impacto cuando las técnicas avanzadas de búsqueda telescópica identificaron asteroides que se aproximaban a la Tierra a distancias comparables a las de la Luna. Estos descubrimientos fueron noticia e inspiraron al Congreso de Estados Unidos a solicitar a la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) que examinase la amenaza de impacto cósmico y los métodos de mitigación. Esto condujo a la definición del Spaceguard Survey para defender a nuestro planeta de amenazas de impacto, aprobado formalmente en 1998. La NASA declaró que el objetivo oficial de su programa era la detección del 90% de la población de objetos cercanos a la Tierra mayores de 1 kilómetro en una década.

A partir de este momento, los instrumentos y esfuerzos dedicados a esta cuestión fueron proliferando gracias al aumento de la inversión en sistemas de observación de OPP (**Schmidt 2018**). En 1993 comenzó el programa LONEOS (*Lowell Observatory Near-Earth-Object Search*) en Flagstaff, Arizona. Un equipo del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL por sus siglas en inglés) llegó a un acuerdo en 1996 para utilizar el telescopio GEODSS de Hawái, propiedad de las Fuerzas Aéreas estadounidenses, para desarrollar el programa de vigilancia conocido como NEAT (*Near-Earth Asteroid Tracking*). Uno de los programas de seguimiento más exitosos hasta la fecha ha sido LINEAR (*Lincoln Near-Earth Asteroid Research*), una iniciativa del Laboratorio Lincoln del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), financiada por el Departamento de Defensa de Estados Unidos y la NASA a finales de 1997 que desempeñó un papel fundamental en la consecución de los objetivos marcados por la NASA. Curiosamente, programas de seguimiento con menos recursos como el del Observatorio Astronómico de Mallorca (OAM) en España también fueron capaces de descubrir miles de asteroides gracias a la monitorización rutinaria del firmamento.

En el año 2000, el gobierno británico creó un grupo de trabajo sobre los objetos cercanos a la Tierra potencialmente peligrosos que dio lugar a la creación de la primera organización gubernamental dedicada exclusivamente a estudiar el peligro de impacto, el *Near Earth Objects Information Centre*. Más recientemente, a medida que el Spaceguard Survey se acercaba a su objetivo, la NASA encargó a un nuevo grupo (*NEO Science Definition Team*, SDT) que asesorara sobre las posibilidades de ampliar las búsquedas de OCT a tamaños más pequeños.

Con el paso de los años surgieron otros programas de gran relevancia como el *Catalina Sky Surveys* (CSS), el Pan-STARRS (*Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System*), el NEOWISE para descubrir asteroides y cometas utilizando el telescopio espacial *Wide-field Infrared Survey Explorer* (WISE) o la iniciativa *Gaia Follow-Up Network for Solar System Objects* (Gaia-FUN-SSO).

En 2020, se conocían unos 900 OCT de al menos 1 kilómetro de diámetro y se estima que solo se ha descubierto un tercio de los objetos capaces de ocasionar daños de nivel regional en la Tierra. Los objetivos actualizados de la NASA a este respecto aspiran a catalogar todos los asteroides y cometas cercanos a nuestro planeta de más de 140 metros.

El interés por parte de la comunidad científica en la vigilancia de OPP sigue creciendo como atestigua la futura misión espacial NEO Surveyor dedicada en exclusiva a descubrir objetos de esta categoría para 2028. Así mismo se creó en 2013 la *International Asteroid Warning Network* (IAWN) como resultado de las recomendaciones aprobadas por la ONU para crear un grupo internacional de organizaciones involucradas en la detección, seguimiento y caracterización de los OCT que dé una respuesta global ante una amenaza de impacto.

Actualmente, la NASA mantiene operativo el sistema Sentry, un sistema de monitorización de colisiones altamente automatizado que escanea continuamente el catálogo de asteroides más actualizado en busca de posibles impactos contra la Tierra en los próximos 100 años. Cada vez que se detecta una alerta, se analiza y los resultados se publican inmediatamente en la plataforma online del Centro de Estudios de Objetos Cercanos a la Tierra (CNEOS). En su página web se puede encontrar la evolución del número total de asteroides próximos a la Tierra en función del año de descubrimiento y de su tamaño, la cual está adquiriendo progresivamente una tendencia exponencial gracias a los últimos esfuerzos realizados, como se observa en la Figura 11.

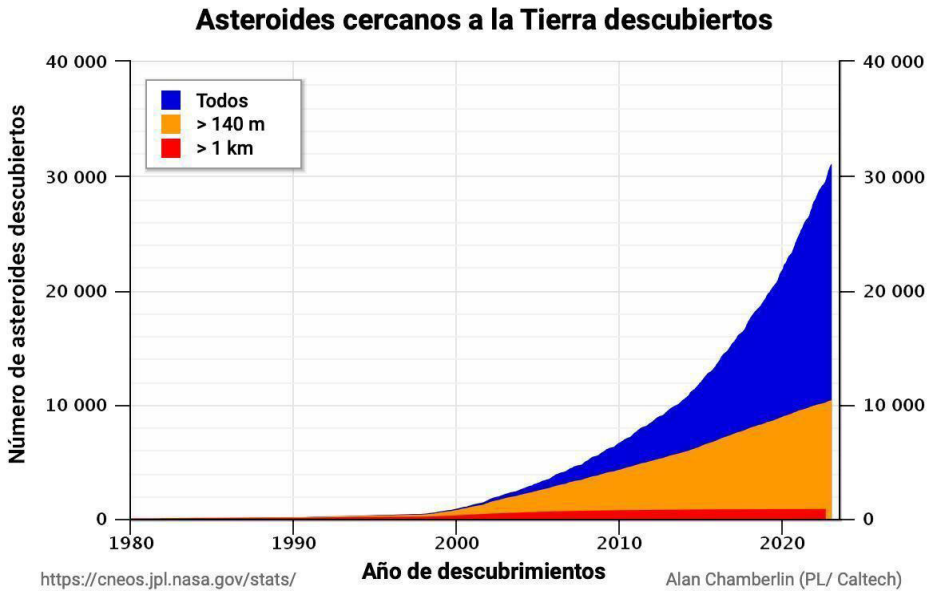


Figura 11. Número total de asteroides cercanos a la Tierra en función del año de descubrimiento. Crédito: CNEOS/NASA.

5. ESTRATEGIAS DE DEFENSA: ¿DESTRUIR O DESVIAR?

En la cultura popular se ha instaurado una mirada del espacio exterior como un entorno esencialmente hostil, un medio inhóspito y plagado de amenazas para la vida humana, entre ellas, un cuerpo celeste con rumbo hacia la Tierra. La célebre cinta apocalíptica *Armageddon* ha moldeado el imaginario colectivo definiendo cómo debería responder la humanidad ante esta situación: utilizar las bombas más potentes para hacer estallar el objeto en cuestión. Sin embargo, para la comunidad científica, la destrucción de un cuerpo astronómico que se dirigiese a nuestro planeta no sería la opción preferente.

5.1. Técnicas de mitigación

La mitigación de la amenaza de impacto cósmico puede adoptar tres formas: destruir, desviar (deflectar en lenguaje técnico) o evacuar. En la práctica estas opciones serían complementarias, aunque las estrategias de evacuación quedan fuera de la perspectiva astronómica. La planificación de misiones de destrucción con artefactos explosivos conlleva, además de las tensiones entre países inherentes a la movilización de armamento pesado y nuclear, riesgos añadidos desde un punto de vista meramente técnico. Una explosión que fragmentase el objeto aumentaría el área efectiva de impacto sobre la Tierra e impediría nuevos intentos de mitigación, aunque si produjera

un gran porcentaje de fragmentos pequeños estos no podrían sobrevivir a la entrada atmosférica y se desintegrarían casi por completo antes de tocar el suelo. Si el objetivo se multiplicase en numerosos cuerpos y además se esparciera, las posibles técnicas a utilizar y su efectividad se podrían ver limitadas. Aun así, se ha realizado un gran progreso en el plano teórico para establecer la capacidad actual de utilizar dispositivos de detonación para destruir asteroides o cometas que supongan un peligro.

En los últimos años, han proliferado las propuestas de técnicas de deflexión con diferentes tecnologías, siendo algunas de ellas (**Colombo et al. 2006; Anthony y Emami 2018**):

- Impactador cinético. El método más directo y tecnológicamente viable para desviar un asteroide es estrellar una sonda espacial directamente contra él. La transferencia de momento²⁸ durante el impacto proporcionaría suficiente energía para desviar el asteroide de su rumbo de colisión con la Tierra.
- Explosión cercana. Se plantea la detonación de un dispositivo nuclear a una distancia óptima del asteroide para que la energía irradiada en la explosión alterase su movimiento.
- Espejo solar. Un dispositivo hinchable o una estructura de gran extensión que desplegara espejos para focalizar la luz del Sol en la superficie del asteroide aumentaría puntualmente la temperatura y produciría la sublimación de volátiles, generando un pequeño y constante impulso.
- Sublimación por láser. Un método de redirección similar al anterior, pero utilizando un láser para sublimar el material de la superficie.
- Eyector de masa. Un artefacto tipo catapulta capaz de lanzar desde la superficie del asteroide material excavado aplicando una reacción contraria que alterase su órbita.
- Haz de iones. Una sonda suspendida sobre el asteroide aplicaría un chorro de partículas para crear una fuerza de empuje sobre un punto establecido variando su dirección.
- Propulsión. Al acoplar unos motores a la superficie de un objeto pequeño se podría ejercer un impulso paulatino que modifique su trayectoria
- Remolcador. Una o varias sondas espaciales arrastrarían el objeto utilizando algún medio físico (arpón, red, contacto directo o incluso un imán).
- Tractor gravitatorio. Método en el que se haría uso de la atracción gravitatoria entre dos cuerpos masivos. Una sonda posicionada cerca del objetivo produciría

²⁸ El momento de un objeto es el producto de su masa y velocidad, también se le denomina cantidad de movimiento o momento lineal. El principio de conservación del momento indica que en una colisión entre dos cuerpos la cantidad de movimiento total permanece constante en el tiempo. Por lo que, si un objeto pequeño choca con otro más grande perdiendo su velocidad, esta será transferida a consecuencia de la tercera ley de Newton (acción-reacción).

un tirón sobre el mismo que, acumulado durante décadas, daría como resultado un cambio significativo de la trayectoria.

- Pintura reflectante. Aplicando una película de material a la superficie del asteroide se conseguiría alterar su albedo, es decir, la cantidad de radiación solar que refleja. Esto conllevaría que la fuerza de radiación ejercida por el Sol variase y, consecuentemente, también lo hiciera su órbita.

Alguna de estas técnicas requiere de la detección de la amenaza con años de antelación. Incluso considerando las más efectivas, actualmente no sería posible evitar el impacto de un asteroide tal y como se demostró en el simulacro de impacto realizado en la 7ª Conferencia de Defensa Planetaria (2021) de la *International Academy of Astronautics* (IAA). Se concluyó que no es materialmente factible preparar el lanzamiento de las misiones espaciales con las capacidades necesarias en un margen de 6 meses, por esta razón, se propone desarrollar bases lunares permanentes con tecnologías de mitigación a distancia y sistemas de defensa de respuesta temprana que orbiten la Luna para acelerar los tiempos de reacción ante una amenaza de impacto.

Dado el estado actual de la tecnología, la opción preferida para desviar la órbita de un OPP es el impactador cinético. Diferentes estudios han demostrado que la deflexión por impacto es más eficaz que una detonación cercana de una carga nuclear. La apuesta por este tipo de técnica se ha evidenciado con las misiones DART y Hera.

5.2. Las misiones DART y Hera

La NASA y la ESA empezaron sus planes por separado para probar estrategias de deflexión de asteroides, hasta que en 2015 establecieron una colaboración denominada AIDA (*Asteroid Impact and Deflection Assessment*) que incluía el lanzamiento de dos naves espaciales distintas que trabajarían en sinergia (**Cheng et al. 2015, 2018**): DART y Hera.

La prueba de redireccionamiento de un asteroide binario (*Double Asteroid Redirection Test* o DART), es la primera misión dedicada a probar el método de desviación de asteroides cambiando su movimiento en el espacio a través de un impacto cinético. Liderada por la Universidad John Hopkins y la NASA, fue lanzada por la empresa SpaceX en 2021 teniendo como objetivo el sistema de dos asteroides formado por Didymos (el cuerpo principal de 780 metros de diámetro) y Dimorfos (de 170 metros y 5,5 millones de toneladas que orbita a su alrededor). La sonda de 610 kg impactó de frente contra Dimorfos a una velocidad de 24.000 km/h, desacoplando previamente su nanosatélite italiano llamado LICIAcube que documentaría las consecuencias primeras de la colisión. Poniendo en perspectiva las masas se entiende que se eligiera este sistema binario para el primer ensayo: Dimorfos orbita a Didymos con un periodo de unas doce horas, por lo que un pequeño cambio en su velocidad (siendo lo esperado del orden de un centímetro por segundo) podría evaluarse con facilidad. La misión fue todo un éxito y se pudo reducir el periodo orbital en 32 minutos, tal y como midieron

observatorios de todo el mundo (Daly et al. 2023; Thomas et al. 2023). En 2026²⁹, gracias a la misión Hera (Michel et al. 2022), junto con las sondas Juventas y Milani que viajarán acopladas, se investigarán las propiedades internas de Dimorfos y medirán con gran detalle las consecuencias del impacto de DART sobre el sistema. La figura 12 muestra una infografía de ambas misiones.

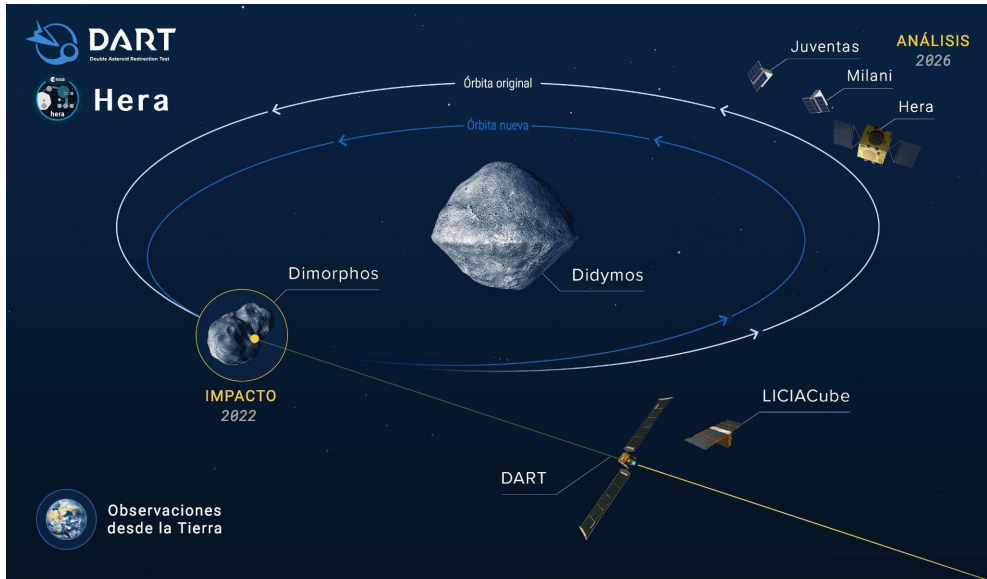


Figura 12. Infografía esquemática del impacto de la misión DART que acortó el periodo orbital de Dimorfos alrededor de Didymos y de la misión Hera que realizará el análisis posterior. Adaptada de JHUAPL y ESA.

Cabe destacar que, si bien DART es la primera misión diseñada para comprobar nuestra capacidad de desviar la órbita de un asteroide, no fue la primera sonda que impactó intencionalmente un cuerpo celeste. La misión Deep Impact (Impacto Profundo) de la NASA estrelló una sonda espacial contra el cometa Tempel 1 para estudiar su composición interior gracias a la nube de partículas generada tras la colisión (Meech et al. 2005). El impacto, junto con la nube de materiales expulsado desde el cráter resultante, produjo una ligera desviación de su órbita al cometa.

El creciente interés internacional por el desarrollo de tecnologías de defensa planetaria queda patente con el anuncio de la Administración Espacial Nacional de China (CNSA) de sus planes para realizar una prueba de redireccionamiento de un asteroide, siendo su objetivo deflectar en 2026 el asteroide 2020 PN1 de 40 metros de tamaño. Así mismo, la CNSA también declaró en abril que establecerá un sistema de alerta temprana y desarrollará un software para simular operaciones contra OCT.

²⁹ La misión conjunta se vio afectada por el retraso en la aprobación del proyecto Hera y, por ello, la misión de la ESA llegará años después del impacto de la sonda DART.

Es de esperar, aunque no en un futuro próximo, que España siga este mismo camino. En 2022 se aprobó el proyecto de la nueva Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación que autoriza la creación de la Agencia Espacial Española³⁰ adscrita al Ministerio de Ciencia e Innovación y el Ministerio de Defensa con un trasfondo dedicado a la seguridad nacional y, por extensión, a la defensa planetaria.

6. CONCLUSIONES

Históricamente, el estudio de catástrofes de dimensiones planetarias ha estado más asociado a una visión mítico-religiosa que a un intento de comprensión racional. Gracias a los avances de la ciencia y la tecnología en el siglo XX hemos identificado amenazas que anteriormente habían pasado inadvertidas; ahora conocemos los peligros que alberga nuestro vecindario cósmico. La defensa planetaria ya no es simplemente un tópico de la ciencia ficción sino un campo de la ciencia real, pudiendo afirmarse que el éxito de la misión DART inaugura un nuevo horizonte para la seguridad de la Tierra.

A pesar de que se hayan descubierto casi la totalidad de los OCT capaces de ocasionar una devastación global, el riesgo más preocupante reside en la población de cuerpos entre los 50 y 140 metros de diámetro debido a una combinación de alta frecuencia de impacto, daños potenciales considerables y dificultad para detectarlos con la tecnología actual.

El primer paso en la construcción de una defensa planetaria ya está en marcha: la evaluación de la amenaza de impacto se perfecciona continuamente a medida que se monitoriza el cielo con mayor precisión y se están desarrollando las tecnologías para su mitigación. Sin embargo, son necesarios más esfuerzos, cooperación y conocimientos para preparar e implementar de manera efectiva estrategias que eviten o reduzcan posibles daños. Es indispensable alcanzar una coherencia entre los actores, instrumentos y procedimientos que permita responder a las amenazas cósmicas que puedan llegar a afectar a la integridad de los sistemas terrestres.

Tanto la humanidad como todas las formas de vida viajamos por el cosmos en una nave espacial natural que puede verse dramáticamente afectada por acontecimientos sobre los que no tenemos control, pero que sí podemos prevenir. La Tierra es vulnerable y las amenazas cósmicas despiadadas y de un enorme potencial destructivo. El lenguaje de la defensa planetaria nos sitúa a todos los seres vivos en el mismo plano, ya que los objetos astronómicos no entienden de especies, razas, géneros ni fronteras. La ciencia nos dice que existen grandes cometas y asteroides aún por descubrir y que continuamente estamos recibiendo nuevos impactos. Entonces, ¿es posible que vuelva a suceder una colisión catastrófica? Ciertamente sí. La pregunta es si tendremos tiempo para prepararnos.

³⁰ A finales de 2022 el Consejo de Ministros adoptó la decisión de que la ciudad de Sevilla sea la sede de la Agencia Espacial Española.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F. y Michel, H. V. (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208(4448), 1095-1108.
- Anthony, N., y Emami, M. R. (2018). Asteroid engineering: The state-of-the-art of Near-Earth Asteroids science and technology. *Progress in Aerospace Sciences*, 100, 1-17.
- Binzel, R. P. (2000). The Torino impact hazard scale. *Planetary and Space Science*, 48(4), 297-303.
- Borovička, J., Spurný, P., Brown, P., Wiegert, P., Kalenda, P., Clark, D. y Shrubny, L. (2013). The trajectory, structure and origin of the Chelyabinsk asteroidal impactor. *Nature*, 503(7475), 235-237.
- Brown, P. G., Assink, J. D., Astiz, L., Blaauw, R., Boslough, M. B., Borovička, J., ... y Krzeminski, Z. (2013). A 500-kiloton airburst over Chelyabinsk and an enhanced hazard from small impactors. *Nature*, 503(7475), 238-241.
- Brownlee, D. et al. (2006). Comet 81P/Wild 2 under a microscope. *Science*, 314, 1711-1716.
- Canup, R. M. (2004). Dynamics of Lunar Formation. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 42, 441-475.
- Chapman, C. R., y Morrison, D. (1994). Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard. *Nature*, 367(6458), 33-40.
- Cheng, A. F., Atchison, J., Kantsiper, B., Rivkin, A. S., Stickle, A., Reed, C., ... y Ulamec, S. (2015). Asteroid impact and deflection assessment mission. *Acta Astronautica*, 115, 262-269.
- Cheng, A. F., Rivkin, A. S., Michel, P., Atchison, J., Barnouin, O., Benner, L., ... y Thomas, C. (2018). AIDA DART asteroid deflection test: Planetary defense and science objectives. *Planetary and Space Science*, 157, 104-115.
- Chesley, S. R., Chodas, P. W., Milani, A., Valsecchi, G. B., y Yeomans, D. K. (2002). Quantifying the risk posed by potential Earth impacts. *Icarus*, 159(2), 423-432.
- Colombo, C., S Cuartielles, J. P., Vasile, M., y Radice, G. (2006, October). A comparative assessment of different deviation strategies for dangerous NEO. In AIAA 57th International Astronautical Congress (pp. AC-06).
- Daly, R. T., Ernst, C. M., Barnouin, O. S., Chabot, N. L., Rivkin, A. S., Cheng, A. F., ... y Zhang, Y. (2023). Successful Kinetic Impact into an Asteroid for Planetary Defense. *Nature*, 1-3.
- DeMeo, F. E. y Carry, B. (2013). The taxonomic distribution of asteroids from multi-filter all-sky photometric surveys. *Icarus*, 226, 723-741.
- Evatt, G. W., Smedley, A. R. D., Joy, K. H., Hunter, L., Tey, W. H., Abrahams, I. D. y Gerrish, L. (2020). The spatial flux of Earth's meteorite falls found via Antarctic data. *Geology*, 48(7), 683-687.
- Fernández, J. A. (2020). Introduction: The Trans-Neptunian belt – Past, present, and future. En D. Prialnik, M. Antoinetta Barucci y L. Young (Eds.), *The Trans-Neptunian Solar System* (p. 1-22). Elsevier.

- Fernández-Soto, A. (2020). *Tras el Big Bang. Del origen al final del Universo*. Editorial Shackelton Books.
- Fortov, V. E., Gnedin, Y. N., Ivanov, M. F., Ivlev, A. V. y Klumov, B. A. (1996). Collision of comet Shoemaker–Levy 9 with Jupiter: what did we see. *Physics-Uspekhi*, 39(4), 363.
- Greene, B. (2020). *Hasta el final del tiempo: Mente, materia y nuestra búsqueda de significado en un universo en evolución*. Editorial Crítica.
- Hartmann, W. K. y Davis, D. R. (1974). Satellite-sized planetesimals and lunar origin. *Icarus*, 24, Issue 4, 504-515.
- Hildebrand, A. R., Penfield, G. T., Kring, D. A., Pilkington, M., Camargo Z, A., Jacobsen, S. B. y Boynton, W. V. (1991). Chicxulub crater: a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology*, 19(9), 867-871.
- Holsapple, K. A. (2022). Main belt asteroid collision histories: Cratering, ejecta, erosion, catastrophic dispersions, spins, binaries, tops, and wobblers. *Planetary and Space Science*, 219, id.105529.
- Jones, B. W. (2007). *Discovering the Solar System*, 2ª Ed. Editorial John Wiley y Sons.
- Kring, D. A. (2007). *Guidebook to the geology of barringer meteorite crater*. Arizona (aka Meteor Crater) (p. 150). Houston: Lunar and Planetary Institute.
- Kvasnytsya, V., Wirth, R., Dobrzhinetskaya, L., Matzel, J., Jacobsen, B., Hutcheon, I., Tappero, R. y Kovalyukh, M. (2013). New evidence of meteoritic origin of the Tunguska cosmic body. *Planetary and Space Science*, 84, 131-140.
- Llorca, J. (2004). *Meteoritos y cráteres: fragmentos de otros mundos que caen a la Tierra*. Editorial Milenio.
- Longo, G., Serra, R., Cecchini, S. y Galli, M. (1994). Search for microremnants of the Tunguska Cosmic Body. *Planetary and Space Science*, 42(2), 163-177.
- Meech, K. J., Ageorges, N., A'Hearn, M. F., et al. (2005). Deep Impact: Observations from a Worldwide Earth-Based Campaign. *Science*, 310(5746), 265-269.
- Michel, P., Küppers, M., Bagatin, A. C., et al. (2022). The ESA Hera Mission: Detailed Characterization of the DART Impact Outcome and of the Binary Asteroid (65803) Didymos. *Planetary Science Journal*, 3(7), id.160, 21 pp.
- Mochón, J. A. A. (2018). El origen de la vida. En J.L. Gómez Ordóñez (Coord.), *La cultura de nuestro tiempo* (pp. 67-80). Editorial Universidad de Granada.
- Moyano-Camero C.E., Pellicer E., Trigo-Rodríguez J.M., Williams I.P, Blum J., Michel P., Küppers M., Martínez-Jiménez M., Lloro I. y Sort J. (2017) Nanoindenting the Chelyabinsk Meteorite to Learn about Impact Deflection Effects in asteroids, *Astrophysical Journal*, 835, article id.157, 9 pp.
- Nakamura, T., Noguchi, T., Tanaka, M., et al. (2011). Itokawa Dust Particles: A Direct Link Between S-type Asteroids and Ordinary Chondrites. *Science*, 333(6046), 1113-1116.
- Noguchi, T., Matsumoto, T., Miyake, A., et al. (2022). A dehydrated space-weathered skin cloaking the hydrated interior of Ryugu. *Nature Astronomy*, Advanced Online Publication.
- Peucker-Ehrenbrink, B. y Schmitz, B. (Eds.). (2001). *Accretion of extraterrestrial matter throughout Earth's history*. Springer Science & Business Media.

- Rodgers, S. D., Charnley, S. B., Huebner, W. F. y Boice, D. C. (2004). Physical Processes and Chemical Reactions in Cometary Comae. En M. C. Festou, H. U. Keller y H. A. Weaver (Eds.), *Comets II* (pp. 505-522). University of Arizona Press, Tucson.
- Rotelli L., Trigo-Rodríguez J.M., Moyano-Camero C.E., Carota E., Botta L., Di Mauro E. y Saladino R. (2016). The key role of meteorites in the formation of relevant prebiotic molecules in a formamide/water environment. *Nature Scientific Reports*, 6, 38888.
- Schmidt, N. (Ed.). (2018). *Planetary defense: Global collaboration for defending earth from asteroids and comets*. Springer.
- Schulte, P., Alegret, L., Arenillas, I., et al. (2010). The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science*, 327(5970), 1214-1218.
- Shima, M., Murayama, S., Okada, A., Yabuki, H. y Takaoka, N. (1984). Description, Chemical Composition and Noble Gases of the Chondrite Nogata. *Meteoritics*, 18, 87-102.
- Shoemaker, E. M. (1963). Impact Mechanics at Meteor Crater, Arizona. En G.P. Kuiper y B. Middlehurts (Eds.), *The Moon Meteorites and Comet* (p. 301). The University of Chicago Press.
- Thomas, C. A., Naidu, S. P., Scheirich, P., Moskovitz, N. A., Pravec, P., Chesley, S. R., ... y Agrusa, H. F. (2023). Orbital period change of Dimorphos due to the DART kinetic impact. *Nature*, 1-3.
- Trigo-Rodríguez J.M., (2001). *El origen del Sistema Solar*. Editorial Complutense, Madrid.
- (2008). La misión Stardust: implicaciones astrofísicas de las muestras analizadas del cometa 81P/Wild 2. *Revista Iberoamericana de Física*, 4(1), 23-30.
 - (2012). *Las raíces cósmicas de la vida*. Ediciones UAB, colección El espejo y la lámpara, Servei Publicacions UAB, Bellaterra, Barcelona.
 - (2022). *La Tierra en peligro: el impacto de asteroides y cometas*. Edicions Universitat de Barcelona.
- Weinberg, S. (1978). *Los tres primeros minutos del universo; una concepción moderna del origen del universo* (No. 04; QB981, W4).
- Whipple, F. (1950). A comet model. I. The acceleration of Comet Encke. *Astrophysical Journal*, 111, 375-394.

CAPÍTULO 2. CAMBIO CLIMÁTICO E IMPACTO CÓSMICO: SIMILITUDES Y DIFERENCIAS

JORDI SOLÉ I OLLÉ¹

Profesor Agregado, Universitat de Barcelona

DOI: 10.14679/2274

Sumario: 1. INTRODUCCIÓN. 2. EFECTOS DE UN IMPACTO CÓSMICO EN LA TIERRA. 2.1. Efectos físicos en zona continental. 2.2. Efectos físicos en el mar: Tsunamis. 2.3. Efectos en la atmósfera: alteración química. 2.4. Efectos en el clima. 2.5. Efectos en la biosfera. 3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA TIERRA. 3.1. Efectos en las zonas continentales. 3.2. Efectos en el mar. 3.3. Efectos en la biosfera. 4. SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS EN LOS IMPACTOS. 5. ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN, GESTIÓN Y ADAPTACIÓN COMUNES A AMBOS FENÓMENOS.

1. INTRODUCCIÓN

El universo es una constante danza cósmica de energía y materia, una sinfonía infinita que sigue su curso, imparable ante los caprichos humanos. Pero, aunque parezca ajeno a las civilizaciones modernas, a veces nuestro entorno celeste nos recuerda su presencia con fuerza, como en el caso de los impactos de asteroides y cometas contra la Tierra (conocidos como impactos cósmicos), que han dejado huellas indelebles en nuestro planeta y, por supuesto, en la historia de la vida. Además, y presentando múltiples paralelismos, hay otra amenaza que se cierne sobre la humanidad, una que no proviene del espacio exterior sino de nuestra propia actividad: el cambio climático antropogénico.

En este capítulo se exploran dos fenómenos con causas distintas, pero con similitudes en cuanto a las consecuencias que acarrearán para la biosfera en general y la especie humana en particular. Se aborda la comparación entre el impacto cósmico

¹ Licenciado en física por la Universitat de Barcelona en 1996, se doctoró en Física Aplicada en 2004. En 2007 obtuvo una beca que le permitió realizar un post-doctorado en el Instituto de Ciencias Marinas y Costeras de la Universidad de Rutgers (New Jersey, USA). En 2016 coordina el proyecto europeo MEDEAS de modelización de la transición energética en Europa en el CSIC y desde el 2021 es profesor agregado de la Universitat de Barcelona. Su investigación se centra en la modelización y análisis de datos en Transición Energética, Cambio Climático y Oceanografía utilizando técnicas de física estadística y sistemas complejos.

y el cambio climático, ambos escenarios potencialmente catastróficos que requieren la preparación y gestión adecuadas para minimizar su impacto en la sociedad y en el medio ambiente. La popularidad de la película «No mires arriba», que presenta una ficción sobre la respuesta de la sociedad ante la amenaza de un cuerpo celeste de grandes proporciones, cuestiona si seríamos capaces de actuar conjuntamente de forma constructiva para evitar o mitigar una colisión catastrófica. Además, el hecho de que uno de los protagonistas sea un activista ecologista ha despertado comparaciones con el cambio climático, un fenómeno que ya estamos padeciendo y que también requiere de una acción colectiva global para gestionar sus consecuencias negativas sobre la vida en el planeta.

Así, se presentarán brevemente las razones básicas que hacen interesante comparar estos dos escenarios –cambio climático e impacto cósmico– tan diferentes en características y procesos, pero que conllevan ambos la necesidad de que la sociedad se prepare para la eventualidad de efectos disruptivos y su gestión, de forma que causen el mínimo daño en los seres humanos y la biosfera. Se citarán las principales fuentes de información utilizadas en ambos casos para poder entender tanto los puntos fuertes de este análisis como sus limitaciones.

Por otra parte, es necesario contextualizar todos estos datos para evitar que queden en meras hipótesis teóricas. En este sentido, es crucial proporcionar un marco referencial adecuado. Para situar esta información de manera precisa, utilizaremos como hilo conductor de la narrativa un evento histórico: el impacto del asteroide que provocó la gran extinción masiva en la que perecieron los dinosaurios (**Chapman 1994**). Este impacto ocurrido en la península del Yucatán, México, conocido como Chicxulub, ha sido objeto de intensas investigaciones recientes que han matizado la idea de que el impacto cósmico fue la única causa de la extinción de los dinosaurios (**Condamine et al. 2021**). A pesar de ello, este evento sigue siendo de gran importancia ya que causó efectos a medio y largo plazo en el clima, como un calentamiento global súbito en términos geológicos (**Bobrowsky y Rickman 2007**).

Actualmente, estamos generando un efecto similar al del impacto de Chicxulub en el clima al introducir gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que podría llevarnos a la extinción masiva de muchas especies, incluida la nuestra. Las estrategias de adaptación podrían ser similares a las empleadas en caso de un escenario de colisión, pero a diferencia de este, tanto la creación como la mitigación del cambio climático están en nuestras manos. Se requiere de una estrategia intergeneracional y de un enfoque profundo que vaya más allá de desviar o destruir un Objeto Potencialmente Peligroso (OPP).

En este contexto, la siguiente sección se centrará en las consecuencias de un impacto cósmico de grandes dimensiones en la Tierra, con especial atención al evento de Chicxulub (**Jones y Kodis 1982**). La sección 3 presentará un resumen de los efectos del cambio climático según el informe del Panel Internacional sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC, por sus siglas en inglés), un organismo de las Naciones Unidas. En la sección 4, se analizarán las similitudes y diferencias entre los efectos de

ambos fenómenos. Finalmente, en la sección 5 se expondrán las posibles medidas de mitigación y adaptación, especialmente en cuanto a estrategias y políticas de adaptación y acción social.

2. EFECTOS DE UN IMPACTO CÓSMICO EN LA TIERRA

Un impacto cósmico en la Tierra, producido por un gran asteroide o cometa, puede tener una serie de efectos significativos e incluso devastadores. En el momento de la colisión, se transfiere una enorme cantidad de energía cinética, lo que puede resultar en la excavación de un cráter y en la generación de una onda de choque destructiva que ocasione daños en el epicentro y en los alrededores. Además, se puede liberar una gran cantidad de energía térmica, lo que puede provocar la fusión y vaporización de las rocas y otros materiales cercanos. También puede producirse un pulso electromagnético, que puede afectar a los sistemas electrónicos y eléctricos cercanos.

Durante un evento de este tipo, no solo las zonas cercanas se ven afectadas. La energía liberada en la colisión puede causar terremotos y tsunamis que afecten áreas lejanas, y también puede expulsar grandes cantidades de gases de efecto invernadero y partículas en la atmósfera, lo que puede alterar el clima global y la biodiversidad a escala planetaria. Un evento como el de Chicxulub tendría efectos físicos devastadores en la Tierra (**Morgan et al. 2022**). El polvo eyectado a la atmósfera bloquearía la luz solar incidente afectando gravemente a la cadena trófica. Además, podría producir una lluvia de escombros que afecte la calidad del suelo y el agua, lo cual es de vital importancia para la vida de muchas especies.

Un impacto cósmico tendría graves consecuencias sobre la biosfera, lo que resultaría en extinciones masivas de especies animales y vegetales. La onda expansiva y las explosiones posteriores liberarían enormes cantidades de energía, lo que destruiría hábitats y modificaría la distribución de especies. Además, la inyección de gases y partículas en la atmósfera provocaría un cambio en la química de la misma y un bloqueo de la cantidad de luz solar que llega a la superficie terrestre, afectando gravemente a la fotosíntesis de las plantas y a toda la cadena alimentaria.

2.1. Efectos físicos en zona continental

El impacto cósmico tendría una serie de efectos físicos en la Tierra. En primer lugar, se liberaría una gran cantidad de radiación térmica, lo que generaría un pulso térmico extremadamente potente. Este pulso térmico produciría una onda de choque destructiva que se propagaría por el terreno y se experimentaría como un temblor sísmico similar a un terremoto. Tanto la entrada atmosférica como la propia colisión generarían ráfagas de viento extremadamente fuertes y caóticas que tendrían el potencial de provocar daños significativos a los edificios y otras estructuras cercanas, así como de afectar la vida y el hábitat de las especies animales y vegetales en la zona de impacto.

El conocimiento adquirido a través del estudio de las pruebas de bombas nucleares y las técnicas desarrolladas durante la guerra fría para la detección de ensayos se utiliza para analizar los impactos de pequeños asteroides y cometas (meteoroides) que continuamente golpean la atmósfera terrestre (**Ens et al. 2012**). Ambos fenómenos implican una gran cantidad de energía liberada en un corto período de tiempo, lo que produce una serie de efectos físicos similares como la emisión de radiación térmica y la generación de ondas de choque destructivas, con la diferencia de que los impactos cósmicos no producen efectos radiactivos.

2.2. Efectos físicos en el mar: Tsunamis

Los océanos de nuestro planeta son vastos y extensos, cubriendo aproximadamente el 71% de la superficie terrestre. Debido a esto, los impactos en el océano son más probables que en los continentes, siendo una consecuencia directa la generación de tsunamis, que pueden ser enormemente peligrosos para las zonas costeras (**Robertson y Gisler 2019**). Los tsunamis son olas gigantes que se forman en el océano después de un evento de gran magnitud, como un terremoto submarino, una erupción volcánica o una colisión de un cuerpo celeste contra el agua. Cuando esto último ocurre, se produce una onda de choque que se propaga por debajo de la superficie del agua a una velocidad extremadamente alta. A medida que la onda se acerca a la costa, la profundidad del agua disminuye, aumentando la altura y peligrosidad de la ola.

La velocidad de propagación de la ola también es importante para comprender la amenaza que representan los tsunamis. Los tsunamis pueden viajar a través del océano a velocidades que oscilan entre 500 y 800 kilómetros por hora, dependiendo de la profundidad del agua. En aguas profundas, los tsunamis pueden viajar a velocidades cercanas a los 800 kilómetros por hora, lo que significa que pueden cruzar un océano entero en cuestión de horas, mientras que en aguas someras la velocidad disminuye. La velocidad de la ola también se reduce a medida que la ola se aproxima a la costa, ya que la fricción con el fondo del mar y la disminución de la profundidad del agua hacen que la velocidad decrezca.

Es importante destacar que los tsunamis no son olas ordinarias. A diferencia de las olas que se ven en las playas, los tsunamis tienen longitudes de onda mucho más largas y una energía enorme, de modo que pueden afectar grandes áreas de la costa causando importantes daños como inundaciones masivas, erosión de la costa y destrucción de estructuras costeras. La inundación puede ser especialmente peligrosa si la ola es lo suficientemente alta como para alcanzar zonas bajas, como ríos y bahías. La erosión de la costa puede causar la pérdida de tierra y la devastación de la vegetación costera. La destrucción de estructuras costeras, si se trata de edificios que albergan a muchas personas, puede tener resultados dramáticos.

Este fue el caso de Chicxulub que ocasionó un tsunami global treinta mil veces más energético que cualquiera producido hoy en día por un terremoto. Utilizando técnicas de simulación por ordenador, un estudio reciente ha encontrado que durante los 10 primeros minutos después del impacto se produjeron incrementos en las velocidades

de 20 cm/s en la costa y de 1 m/s a mar abierto, acompañado por olas de 10 metros de altura en la costa Atlántica y Pacífica (**Range et al. 2022**). El tsunami fue tan fuerte que removió el sedimento marino en estas regiones, eliminando los registros sedimentarios o dejando una señal de distorsión en los sedimentos más antiguos.

2.3. Efectos en la atmósfera: alteración química

La inyección de grandes cantidades de óxido nítrico, agua vaporizada y halógenos en la atmósfera como resultado de un impacto cósmico pueden tener efectos importantes en la estratosfera y en la capa de ozono. Esta última se trata de una capa de gas ubicada en la atmósfera superior de la Tierra, y su principal función es proteger a la vida en la Tierra de los rayos ultravioleta del Sol. Los rayos ultravioleta son una forma de radiación electromagnética que es invisible para el ojo humano, pero que puede ser extremadamente dañina para los seres vivos.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son uno de los principales factores responsables de la reducción de la capa de ozono después de un impacto cósmico. Los NO_x interactúan con el ozono y lo descomponen en oxígeno molecular. Los halógenos (especialmente el cloro y el bromo) también pueden descomponer el ozono y reducir su concentración en la atmósfera. Estos halógenos son liberados al aire por la evaporación del agua de mar que es arrastrada por el impacto.

La disminución de la capa de ozono puede durar varios miles de años después del impacto, aunque su efecto es más intenso durante los primeros 60-100 mil años. Este fenómeno puede tener graves consecuencias para la vida en la Tierra, ya que un aumento en la cantidad de radiación ultravioleta que alcanza la superficie terrestre puede causar daños genéticos en las células y aumentar el riesgo de cáncer de piel en los seres vivos.

2.4. Efectos en el clima

El funcionamiento del sistema climático se puede describir como el de una máquina térmica que recibe la energía de alta frecuencia emitida por el Sol y que, tras su transformación en energía de baja frecuencia, se vuelve a liberar al espacio exterior en forma de radiación térmica. Esta transformación de la energía es lo que da lugar a los patrones climáticos que observamos en la atmósfera, los océanos, los continentes, los cuerpos de agua dulce y la actividad biológica en la Tierra.

La variable principal que nos permite trazar la evolución de este sistema es, generalmente, la temperatura y sus variaciones. Los impactos de asteroides y cometas de gran tamaño han influido en las proporciones de sustancias que alteran la absorción, transmisión y emisión de esta energía que nos llega del Sol. Los efectos en el clima después del impacto de Chicxulub fueron la producción de aerosoles que interfirieron en el equilibrio radiactivo de la atmósfera (**Toon et al. 1994**) y que hicieron que, por un lado, llegase menos radiación, disminuyendo la actividad fotosintética y, por otro,

un descenso brusco de la temperatura que se añadió a la recientemente descubierta tendencia al enfriamiento en este periodo (**Condamine et al. 2021**).

Un evento como el de Chicxulub originaría una gran cantidad de polvo y partículas en suspensión a la atmósfera, lo que reduciría la cantidad de luz solar que llega a la superficie terrestre produciendo un enfriamiento generalizado del planeta, que afectaría principalmente tanto a los ecosistemas terrestres como acuáticos (**Bardeen et al. 2017**). Además de los efectos a corto plazo, un impacto cósmico en la Tierra tendría graves consecuencias a largo plazo, incluyendo cambios abruptos en la atmósfera que podrían durar décadas o incluso siglos. La inyección masiva de gases de efecto invernadero en la atmósfera, como el dióxido de carbono y el metano, provocaría un calentamiento global y cambios climáticos a largo plazo. Este efecto sería especialmente preocupante, ya que aumentaría la velocidad del cambio climático y sus consecuencias negativas para la vida.

2.5. Efectos en la biosfera

Tal y como se ha descrito, después de los primeros días posteriores al impacto de Chicxulub, la atmósfera quedó saturada de polvo y aerosoles como resultado de la colisión. Se produjo un largo invierno debido al oscurecimiento producido por la nube de polvo que envolvió todo el planeta. Además de este cambio brusco en la radiación solar que llegaba a la Tierra (**Parkhomenko 2021**), investigaciones recientes sugieren que, a parte del polvo y aerosoles fruto del impacto directo, los fuegos forestales masivos que ocasionó se añadieron como factor determinante a la extinción masiva, conocida como K-Pg o extinción del Cretáceo–Paleogénico (**Tabor et al. 2020**). La reorganización ecológica que siguió implicó el fin del Mesozoico (final de los dinosaurios, la «era de los reptiles») y el principio del Cenozoico (la «era de los mamíferos»).

3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA TIERRA

Siguiendo la recopilación de trabajos publicada por el IPCC, en las siguientes subsecciones se explicarán sucintamente los principales impactos del cambio climático en nuestra civilización y sus proyecciones futuras. Se explicarán los efectos teniendo en cuenta las zonas continentales, los océanos y la biosfera. Para ordenar las predicciones que se realizan mediante conjuntos de modelos numéricos agrupados en el acrónimo CMIP6, se evalúan posibles escenarios de evolución. En el último informe, el AR6 en su parte de impactos (evaluados en el grupo de trabajo 2, WGII)² da una estimación de los efectos del cambio climático siguiendo diferentes caminos de variación según las políticas adoptadas y la correspondiente evolución socioeconómica. Estas posibilidades van desde la más benigna (SSP1-1.9 que sigue los acuerdos de París) hasta la más dañina (SSP5-8.5). Veamos pues cuáles son sus efectos.

² <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.

3.1. Efectos en las zonas continentales

En general e independientemente del escenario, incrementos de temperatura entre 1,5 y 4,5 °C, conllevan no sólo que los ciclos estacionales se vean afectados, sino toda una cascada de cambios que se retroalimentarán. Las consecuencias detalladas se pueden encontrar en el propio informe del IPCC o en su resumen ejecutivo (2021). Sintetizando enormemente, podríamos decir que los efectos más grandes pueden ser, a parte del cambio de temperatura media global, variaciones en los patrones de precipitación, alteración en la cobertura de hielo global (con efectos grandes en el hielo de los polos) e incrementos del nivel medio del mar. Además, los eventos meteorológicos extremos crecerán tanto en número como en intensidad, y la crecida del nivel del mar pondrá en compromiso las áreas costeras y sus infraestructuras (aquí debemos tener en cuenta que alrededor de un 10% de la población mundial vive en áreas costeras que están a menos de 10 metros sobre el nivel del mar). Habrá cambios en los patrones de precipitación (y evaporación) que afectarán el ciclo del agua, generando como consecuencia sequías e inundaciones que producirán un incremento de la desertificación en latitudes bajas. Esto generará crisis humanitarias sin precedente que tendrán consecuencias a nivel social, ocasionando, por ejemplo, grandes migraciones con implicaciones económicas difíciles de prever.

3.2. Efectos en el mar

Las principales consecuencias del cambio climático en el mar se pueden resumir en cuatro puntos: el cambio de energía en forma de calor en el océano, el cambio en la temperatura superficial del mar, el cambio en el nivel del mar y sus efectos en áreas costeras y humedales y el cambio de la acidez del agua de mar³.

El océano es un regulador global del clima a través de su capacidad de almacenar grandes cantidades de calor y llevarlas a sus capas intermedias y profundas. Una de las razones por las que el cambio climático no ha sido tan severo hasta ahora ha sido esta propiedad de retener energía del océano. Parece que este almacenamiento se está saturando⁴ con consecuencias graves cuando llegue al límite o el océano libere este exceso de energía que ha venido acumulando en las últimas décadas.

El cambio en la temperatura superficial del mar genera alteraciones en las corrientes marinas (Caesar et al. 2021) y estas a su vez son uno de los mecanismos mediante el cual la Tierra redistribuye globalmente la energía que le llega del Sol. Alteraciones en estos patrones podrían repercutir en el mecanismo de transporte global, lo que aceleraría las transformaciones y contribuiría a la inestabilidad del clima. La subida del nivel del mar genera impactos ya comentados en la subsección anterior.

³ <https://www.epa.gov/climate-indicators/oceans>.

⁴ <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>.

Finalmente, el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera hace que su disolución en el agua de mar sea mayor, con lo que su PH cambiará, y como consecuencia, afectará al equilibrio de minerales en el agua que acaba influyendo a todos los ecosistemas marinos.

3.3. Efectos en la biosfera

Los efectos del cambio climático son amplios e implican muchos aspectos, desde la ecología hasta la genética pasando por características fisiológicas o biomasa (**Scheffers et al. 2016**). La crisis ecológica deja de serlo para convertirse en algo más genérico y profundo: una crisis biológica. Hasta la fecha, han ido apareciendo distintos trabajos científicos que alertaban de los cambios en los ecosistemas debidos a la actividad humana. Uno de ellos, ya del año 2012, constituía una revisión sistemática que señalaba los cambios abruptos en los ecosistemas debido a efectos de la actividad humana (**Barnosky et al. 2012**). En este artículo se decía que sobre 2045, de seguir la tendencia actual, todos los ecosistemas de la Tierra experimentarían un cambio hacia un estado incierto. Recuerdo, en este punto, que nuestra alimentación depende, precisamente, de saber cómo, cuándo, y en qué cantidad podremos tener cosechas para alimentarnos.

Pues bien, si las previsiones en 2012 alertaban sobre el problema en los ecosistemas, estudios posteriores (**Scheffers et al. 2016**) evidencian que los impactos del cambio climático son ya evidentes a nivel incluso genético. Cabe precisar que se entiende por «impacto», las variaciones (positivas o negativas desde el punto de vista humano) de un proceso ecológico debido al cambio climático. A partir de ahí se considera la relevancia de este efecto en los ecosistemas y en los sistemas humanos. Es decir, cómo afecta el cambio climático a la producción de alimentos y otros recursos (pesquerías, agricultura, bosques y producción ganadera) y la salud de los seres humanos. Las evidencias apuntan hacia un incremento de la incertidumbre (tal y como ya se decía en el estudio de 2012) pero en este artículo se constata que la incertidumbre vendrá acentuada por una reducción de la diversidad genética en los cultivos que, además, tendrán unos rendimientos inconsistentes con lo que se ha venido observando en el pasado, un decrecimiento de la producción pesquera debido a la reducción del tamaño del pescado y una disminución de la producción de vegetales debido a menos períodos de frío en invierno que, en conjunto, pondrán en jaque la seguridad alimentaria global. Además, se prevén cambios en la distribución de vectores de enfermedades, junto con la aparición de nuevos patógenos y plagas que pondrán en serio peligro la salud de los seres humanos además de las de las cosechas, la producción de madera y ganadera (en este punto cabe recordar que el artículo de revisión citado es anterior a la COVID-19).

Los principales impactos se pueden dividir en:

3.3.1. *Impactos ecológicos del cambio climático*

- Organismos. Diferentes organismos están cambiando para adaptarse a situaciones de mayor amplitud térmica, o primaveras más cálidas en zonas templadas. Se adelantan los períodos migratorios o se modifican mediante selección por las condiciones ambientales, y aparecen respuestas genéticas para ajustarse a las nuevas condiciones climáticas.
- Población. En la mayoría de las especies, las migraciones y procesos vitales (embrionarios, floración, puesta o hibernación) están condicionados por los cambios estacionales e inter-estacionales. Las alteraciones en la temperatura y la concentración de CO₂ han extendido los períodos de crecimiento de muchas especies de plantas. En el mar se ven avanzados los tiempos típicos de las proliferaciones algales (base de las redes tróficas marinas) producto de la alteración en la temperatura del agua y la reducción de la capa de hielo. La acumulación del estrés debido a cambios en la temperatura afecta también a la abundancia de individuos, la estructura de edades y la proporción machos–hembras. Se estima que un 80% de las especies en ecosistemas marinos, agua dulce y terrestres tienen una respuesta en abundancia a causa de los efectos del cambio climático.
- Distribución de especies. Se ha constatado que la respuesta más rápida de las especies es un desplazamiento en su distribución para encontrar condiciones de los hábitats óptimas. Las especies acuáticas han expandido su hábitat, en la parte fría (latitud) a un ritmo de 19 km por década, las marinas 72 km por década y las terrestres, 6 km por década. Se ha observado una tendencia a la expansión de las especies tropicales en entornos y hábitats considerados antes como templados.
- Comunidades. En respuesta a la redistribución de especies debido al cambio climático, las interacciones entre las especies se han alterado y han emergido nuevas. Estas nuevas interacciones pueden afectar, a su vez, a los impactos abióticos del cambio climático. Además, introducen nuevas relaciones tróficas que pueden alterar o generar disrupciones en la red trófica, como la sobrepredación. En conjunto, estos cambios pueden afectar de forma crítica en la productividad de los ecosistemas. Por ejemplo, se estima que ha habido una disminución del fitoplancton marino desde 1899 (1% por año) que está relacionada con el incremento de la temperatura de la superficie del mar.

3.3.2. *Impactos en los ecosistemas: cambios de estado en los ecosistemas*

De los 94 procesos ecológicos estudiados en este trabajo (Scheffers et al. 2016), un 82% presenta evidencias del impacto del cambio climático (y con un cambio global de sólo 1 °C). Tal y como se ha visto los impactos van desde genéticos y fisiológicos hasta respuestas en la abundancia y distribución de las poblaciones. Así pues, si los

ecosistemas siguen acumulando estrés, se pueden dar cambios abruptos que den lugar a estados totalmente diferentes del actual y altamente impredecibles.

3.3.3. *Impactos en el bienestar humano*

- Amenazas a la producción. La producción y la economía son dos áreas que se ven amenazadas por el cambio climático. En el sector pesquero, por ejemplo, las consecuencias del cambio climático son inciertas y no existe consenso sobre sus impactos. La redistribución de las especies es una de las tendencias más evidentes, pero sus costes y beneficios son altamente variables y discutidos. Se constata que en zonas Árticas la biomasa de las especies comerciales ha crecido debido al incremento en la productividad del plancton por la reducción de la capa de hielo, mientras que los cambios en productividad en los océanos del sur son menos claros. Sin embargo, los análisis muestran que la tendencia a largo plazo, debido al calentamiento del océano, lleva a la reducción del tamaño corporal de los individuos que, a su vez, conduce a un decrecimiento de la productividad de un 23% en la masa total producida de las especies comerciales.
- Plagas y enfermedades. Uno de los efectos más importantes del cambio climático está en los bosques, debido a la propagación de plagas que provocan un aumento de la mortalidad de los árboles con el consiguiente impacto en la producción de madera y de la captura de CO₂ atmosférico. Las masas forestales afectan también a la calidad del agua y a su volumen en las cuencas de los ríos. Al mismo tiempo, el cambio climático presenta impactos en las enfermedades transmitidas por vectores biológicos (por ejemplo, insectos) ya que, al cambiar los rangos de los hábitats y su distribución se pueden presentar enfermedades endémicas de unas áreas en otras que originalmente no lo eran. Estos cambios se constatan, por ejemplo, en las poblaciones de mosquitos extendiéndose a áreas originariamente más frías que sus hábitats naturales.
- Pérdida de ecosistemas intactos y sus funciones. Todos los cambios reportados implican que se ponga en riesgo la funcionalidad de los ecosistemas y que, por tanto, pierdan su capacidad para ser sumideros de CO₂, de regular las condiciones climáticas locales y reducir otros riesgos abióticos como inundaciones, sequías o el impacto de las mareas en ecosistemas costeros.

Finalmente, el artículo de **Scheffers et al. (2016)** hace propuestas sobre el papel de la ciencia y las acciones que deben llevarse a cabo en un mundo con una temperatura media más alta. Partiendo de la base de que la actual temperatura de la Tierra ya ha incrementado 1,2 °C respecto a la era preindustrial, los últimos acuerdos de la COP21 de Naciones Unidas se basan en mantener el ascenso futuro no más allá de los 2 °C. Por tanto, se trata en primer lugar de adaptarnos a esta nueva situación (1,2 °C) y de no empeorarla excesivamente (2 °C).

4. SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS EN LOS IMPACTOS

Si examinamos detenidamente los efectos de un impacto de grandes proporciones, como el que produjo el cráter de Chicxulub, podemos observar que, tanto en el cambio climático actual como en una colisión cósmica, se producen transformaciones de gran envergadura en todo el planeta. Ambos eventos afectan aspectos diversos que van desde la atmósfera al océano y la biosfera. Si bien es cierto que las causas son diferentes, los efectos son comparables en cuanto a los procesos y el alcance. Las escalas temporales presentan diferencias considerables y, por ende, las consecuencias también tienen un tiempo de evolución distinto.

En el caso del cambio climático actual, uno de los fenómenos que se dan de manera progresiva es la retroalimentación, que son cambios que se aceleran a partir de un cierto umbral por su propia dinámica interna. En el caso de una colisión cósmica, estos procesos ocurren a una velocidad mucho mayor (tomando como referencia los rangos de tiempo humanos, es decir, meses o años). Además, ambos eventos presentan una gran interrelación entre las diferentes transformaciones, lo que significa que hay una gran conectividad que acentúa precisamente las retroalimentaciones que se han mencionado anteriormente.

Estos dos aspectos generan puntos de no-retorno multidimensionales que llevan al planeta en su conjunto a estados finales muy alejados de las situaciones iniciales de las que se partía. Esto produce un riesgo muy alto para las formas de vida existentes pre-impacto o pre-cambio climático y su posibilidad de adaptación.

Es importante destacar que el cambio climático es un proceso que ocurre a una escala de tiempo mucho mayor que el de una colisión cósmica. Esto significa que las consecuencias del cambio climático son menos inmediatas, pero no por ello menos graves. Además, el cambio climático es el resultado de la actividad humana, mientras que la colisión cósmica es un evento natural. Ambos tienen efectos comparables en cuanto a su impacto en el planeta, pero es importante tener en cuenta las causas para poder tomar medidas preventivas y correctivas. De igual modo, es relevante atender al grado de predictibilidad e incertidumbre de ambos fenómenos, siendo los efectos catastróficos del cambio climático inminentes pero caóticos, y de un impacto cósmico futuros, pero presumiblemente acotados dado el avance de la tecnología.

Estas diferencias condicionan la planificación y activación de estrategias de defensa. El cambio climático se puede describir esencialmente como un hiperobjeto, distribuido masivamente en tiempo y espacio, multidimensional y con un comportamiento aparentemente caótico. Estas características hacen que sea incomparable con el escenario de impacto cósmico. Sin embargo, los nuevos desafíos presentados por las crisis asociadas al cambio climático pueden ser útiles para enfrentar los problemas en el contexto de que un cuerpo celeste se dirija rumbo a la Tierra. El cambio climático es un fenómeno complejo y multifacético que involucra la interacción de diferentes factores como la temperatura, el clima, la biodiversidad, la calidad del aire, entre otros. Por otro lado, una colisión de un asteroide es un evento mucho más específico y dependiente de pocas variables, pero igualmente devastador en términos de impacto en la vida humana y

en los ecosistemas. Aunque estos dos eventos son muy diferentes entre sí, se pueden aplicar lecciones aprendidas de la lucha contra el cambio climático para hacer frente a una posible colisión de asteroides. En ambos casos, es importante tomar medidas preventivas y adoptar un enfoque proactivo para reducir el impacto y las consecuencias de tales eventos. Además, se requiere la colaboración de la comunidad científica, los gobiernos y la sociedad en su conjunto para abordar estos desafíos globales.

5. ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN, GESTIÓN Y ADAPTACIÓN COMUNES A AMBOS FENÓMENOS

La prospectiva es una disciplina que se dedica al análisis y evaluación de futuros plausibles con el objetivo de identificar tendencias, riesgos y oportunidades. En el contexto de las posibles catástrofes y crisis humanitarias, el análisis anticipatorio es fundamental para poder prevenir y prepararse adecuadamente ante situaciones de emergencia.

Esta cuestión topa con una visión extremadamente positivista de nuestra especie respecto a la naturaleza y con nuestra incapacidad, a nivel individual y colectivo, de aceptar la pérdida de algo que nos interpela profundamente, como es el colapso de nuestra sociedad. En consecuencia, no somos capaces de aceptar que nuestra sociedad no dure para siempre o, como mínimo, que desaparezca dentro de nuestro ciclo vital. Esta falta de capacidad para aceptar la pérdida de lo que conocemos y nos es familiar, nos impide afrontar de manera efectiva los grandes desafíos globales, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la creciente desigualdad social. Debemos ser capaces de reconocer que nuestra sociedad actual es insostenible y buscar alternativas más sostenibles para poder asegurar un futuro próspero y justo para todas las formas de vida en el planeta.

El primer elemento está asociado al mito económico del crecimiento que nuestro modelo apoya bajo la idea de que la tecnología todo lo puede, de modo que mientras tengamos tecnología, podremos solucionar todos los problemas de forma rápida y eficiente. La falta de capacidad de gestionar la pérdida, de este sistema que hemos construido y de la sociedad tal como la conocemos, se alinea con el proceso de duelo descrito por Klüber-Ross en 1974 y para el que propone cinco fases: negación, ira, negociación, depresión y, finalmente, aceptación. Si aplicamos este proceso a nivel colectivo, podemos observar que socialmente estamos experimentando la fase de negación.

Este proceso de negación de una evidencia, que ya hace décadas era muy clara, se ha visto incluso en los informes del IPCC respecto al cambio climático: hasta este último informe (AR6) no se afirma rotundamente que el cambio climático es de origen antropogénico. Si en algo tan evidente como el cambio climático, la fase de aceptación, necesaria para poder actuar, ha sido tan lenta, se plantea un problema aún mayor en relación con la gestión y preparación ante posibles impactos cósmicos, ya que nos movemos con probabilidades relativamente bajas de que se dé en un tiempo que podemos

considerar razonable (nuestro tiempo de vida) y, por lo tanto, desincentiva esta movilización de recursos y capital para generar los mecanismos de emergencia necesarios.

Se puede observar esta situación en las diferencias de las políticas generadas para paliar el cambio climático en comparación con la respuesta a la COVID-19, por ejemplo. La cercanía e inminencia de la amenaza rompió el mantra de «primero la economía» entendiéndolo que sin salud no había economía. Pero, aunque el problema del cambio climático es mucho más grave y gestionable (en lo que se refiere a la previsión y aplicación progresiva de medidas) no se actúa debido a que la percepción de riesgo queda demasiado proyectada en un futuro lejano.

Según lo dicho anteriormente, nos encontramos delante de un problema, la preparación ante desastres naturales, que presenta una difícil solución. Si se estudia cómo está respondiendo nuestra sociedad a estas situaciones nos encontramos repitiendo patrones que han seguido sociedades antiguas, aunque menos desarrolladas tecnológicamente. Los procesos de riesgo de colapso vistos desde una perspectiva de sistemas complejos nos arrojan luz sobre qué estrategias tenemos que seguir, teniendo en cuenta cómo cambios en las condiciones ambientales y de recursos en sociedades pasadas han afectado civilizaciones complejas, y haciendo analogías con las transiciones de fase de un sistema físico (Solé 2023).

En este sentido, una posible propuesta de actuación se enmarcaría en tres ejes (Solé 2023): políticas globales, medidas de gestión y financieras/económicas y, finalmente, concienciación, información y transparencia. Estas acciones pretenden abordar dos aspectos claves ante una emergencia global, sea esta el cambio climático, la crisis energética o un impacto cósmico. El primer aspecto clave es la transformación del actual sistema socioeconómico para liberar recursos que se puedan utilizar en la gestión de la emergencia. El segundo aspecto es que esta transformación social lleve a una sociedad más resiliente, capaz de poder sobrellevar eventos inesperados o bruscos como los cambios producidos en la Tierra por el impacto de un cuerpo de grandes dimensiones.

Políticas globales:

- i. **Legislación penal:** El cambio climático y la crisis ecológica deben enmarcarse como un problema que afecta a toda la humanidad, de modo que hay que partir de la rigurosidad en lo que hacemos y cómo lo hacemos. Es necesario proveer un marco legal internacional penal que incluya los crímenes ambientales al mismo nivel que los crímenes contra la humanidad. Este marco legal se podría orientar de forma genérica como preparación de la sociedad para emergencias globales en las que entraría el impacto cósmico. Así, quien en los años anteriores haya hecho campañas de desinformación por intereses económicos es necesario que asuma sus responsabilidades. Si no lo hacemos ahora, lo hará la generación que sufrirá sus efectos más duros y nos acusarán de no haber hecho justicia (y quizás la aplicarán tarde y mal).
- ii. **Política:** La responsabilidad política en esta cuestión es mayúscula, los partidos políticos, todos, deben tenerla como prioridad número uno en su agenda. Aquellos que no lo hagan, ya sea por falta de comprensión del problema o por

desinterés, deberán ser objeto de la legislación penal anteriormente señalada. A la luz de las evidencias existentes y el tiempo transcurrido, resulta cada vez menos justificable sostener que es fruto de la ignorancia, es decir, de la falta de información o de comprensión acerca del alcance del problema.

Medidas de gestión y financieras:

- iii. **Gestión:** Si nos tomamos en serio los dos primeros puntos hace falta que los planes de acción de las administraciones y la sociedad civil hagan de este tema, de su información y de sus implicaciones, una prioridad informativa. La información debe empezar a centrarse principalmente en medidores físicos: emisiones y energía, poniendo referencias (y llegando a un consenso) de cuál es el nivel de consumo básico necesario en términos de estas cantidades para poder adaptarnos y gestionar la crisis climática y ambiental y, al mismo tiempo liberar recursos para la preparación de un impacto de meteorito. Tomando como ejemplo la pandemia COVID-19, de repente, todos los medios de masas hablaban de ello a todas horas para concienciar, lo justificaba la emergencia y la urgencia sanitaria. No se alzaron voces diciendo que no se debía crear pánico o alarmar sobre la situación. El miedo aparece cuando no hay opciones, cuando no se explica a la gente cómo podemos transitar el peligro de forma ordenada y colectiva. Si se pospone el problema y no se explica con toda su gravedad no sólo se creará pánico cuando la situación se agrave, sino que las posibilidades de gestión ordenada se reducirán por falta de confianza en las entidades que debían guiar y coordinar en las necesarias acciones colectivas. En este sentido, pues, hay que evitar y penalizar todas las estrategias de desinformación y de blanqueamiento de iniciativas (económicas) en direcciones divergentes o contrarias a la adaptación y lucha contra el cambio climático, la crisis ecológica y de recursos o la preparación para eventos súbitos como la colisión de un asteroide. En este supuesto, se tendría que reservar y destinar presupuesto a la construcción de telescopios que descubran y nos alerten de los OPP.
- iv. **Consumismo:** Planes de lucha contra el sobreconsumo y el desperdicio, concienciación de la población de la necesidad de reducir y reaprovechar. Hay que dejar claro que el consumo y sus derivadas (incremento de producción de bienes y gasto) enmarcadas en un modelo expansionista/crecentista, es lo que nos ha llevado al callejón sin salida actual. Por tanto, toda acción que sea efectiva pasa por repensar esta necesidad de incrementar (o mantener) el sistema consumista que, por otra parte, no aporta ningún bienestar a largo plazo. En el caso de un impacto cósmico, se tendrían que proponer planes de contingencia para la zona de impacto para que pudiese entrar en estado de alerta de forma rápida y sostenida (antes, durante y después del impacto). Esto implica pasar a una economía diferente (de guerra o subsistencia) de forma organizada y que cause el mínimo impacto social y ecológico.
- v. **Adaptación de internet:** Información del coste energético y de emisiones (aparte del precio) de mantener un volumen de datos puramente de ocio accesible en la red. La sociedad debe empezar a decidir qué se mantiene y qué se deja caer

en la red. Es decir, cuál es la cantidad máxima de información mantenida en la nube y su coste energético y en emisiones. Retomando la analogía del impacto cósmico, la comunicación tiene que estar asegurada después de la colisión, lo cual conlleva tener una infraestructura con una redundancia y resiliencia de la red y con un protocolo para la disminución del flujo de datos.

- vi. Transporte: Reducción del transporte aéreo y marítimo y del transporte en general. Esto supondrá repensar el ocio y el turismo: es necesario rediseñar el sistema de ocio actual, más pensado para crear personas acríticas, distraídas e insatisfechas constantemente, y transitar a un sistema diferente que sirva para estimular los valores sociales y humanos, la empatía y la cohesión social. En los cálculos (muy conservadores) que se hicieron en el proyecto MEDEAS⁵ referentes al transporte, señalaban que para tener flotas de transporte totalmente renovables es necesario que los modos de transporte aéreo y marítimo se reduzcan a la mitad. Urge pues diseñar planes de adaptación del comercio y la economía de acuerdo con esta reducción de volumen de mercancías y pasajeros. En el escenario del impacto cósmico, un transporte menos dependiente de los combustibles fósiles y descentralizado entrañaría una mejor eficiencia en caso de destrucción de nodos clave o centros modales. Esto implica también una planificación necesaria con los protocolos de sustitución de flota o de rutas alternativas para la provisión de víveres en zonas arrasadas por el impacto.
- vii. Espacios naturales: Preservación y ampliación de las reservas naturales y espacios protegidos. Los espacios naturales no industrializados o débilmente antropizados actúan de protección, facilitan la adaptación al cambio climático y disminuyen el impacto en el deterioro de los ecosistemas. También hace falta aquí mucha pedagogía en cuanto al uso e invasión masiva de espacios protegidos y áreas rurales. El mantra «yo pago impuestos por tanto tengo el derecho de uso de cualquier lugar público» es de una visión cortoplacista que no tiene sentido, ya que implica no comprender que el hecho de pagar impuestos no es suficiente para liberarse de las responsabilidades sociales y cívicas. Los espacios naturales protegidos están pensados para preservar la biodiversidad y compensar la fuerte antropización del entorno natural que tenemos en nuestro país. La visión «urbanita» dominante suele considerar el «campo», el mundo rural y los espacios protegidos como simples parques temáticos para la diversión de la población. Este hecho está fundamentado en la visión utilitarista/mercantilista de nuestra sociedad que lo ve todo como objetos (cosas) monetizables, susceptibles de ser compradas/vendidas o alquiladas. En este sentido, para el impacto cósmico, si hubiese que desviar un asteroide, pero no se pudiera evitar la colisión se tendrían que priorizar zonas que no sean de alto interés para la biosfera (Amazonas, Antártida, etc.).
- viii. Agricultura y agua: Los usos y productos agrícolas deben cambiar de forma radical, transitando desde la agricultura y ganadería industrial a una sin el uso

⁵ www.medeas.eu.

intensivo de fertilizantes y pesticidas derivados de los combustibles fósiles y más adaptada a las necesidades locales. El sector agrícola y ganadero debe reconvertirse para proveer al territorio de los productos básicos y reducir la exportación a largas distancias. En esta línea, debería también repensarse la dieta actual (demasiado centrada en la proteína de origen animal) y los requerimientos de productos de lujo agrícola (fruta y verdura fuera de temporada), importaciones de carne y pescado de zonas lejanas, etc. También hay que tener en cuenta y evaluar los impactos del cambio climático en la producción agrícola y ganadera que harán que su gestión sea más difícil. Por ello, son necesarios planes de acción a medio o largo plazo, coordinados con la planificación de la explotación del suelo. Conectado con la agricultura tenemos el acceso a uso y aprovechamiento de los recursos hídricos que, en el futuro, sufrirán una disminución creciente añadida al incremento de su necesidad por la expansión de la energía renovable. Toda esta reorganización es clave también desde el punto de vista de un impacto cósmico de dimensiones considerables, ya que este afectaría, dependiendo de la zona devastada, a las cadenas de distribución globalizadas. Nuestro sistema actual muestra poca capacidad de resiliencia, ya que el cierre de un gran puerto como el de Shanghai o la obstrucción de un canal de navegación como el ocurrido con el Evergreen varado en el canal de Suez, produce un problema de distribución a escala global. Imaginemos qué pasaría si la colisión de un asteroide o un cometa afectara a alguno de estos centros neurálgicos o cuellos de botella. El problema de que los sistemas críticos estén muy centralizados o sean muy dependientes de tecnología compleja eleva las consecuencias negativas de un evento catastrófico en el caso del acceso a alimentos básicos y agua.

Campaña de información y concienciación:

- ix. (In)justicia climática: Los planes de transición que dejen (implícita o explícitamente) a poblaciones atrás deben ser penalizados siguiendo las directrices del primer punto de legislación penal descrito. Ahora mismo no hay acuerdo internacional sobre qué hacer y cómo hacerlo (más allá de los Acuerdos de París que ya han quedado obsoletos y no han servido para reducir las emisiones). El principal escollo es quién paga, un argumento sin sentido, porque el mal llamado «tercer mundo» ha pagado desde siempre (deuda histórica) para que, en el «primer mundo», podamos nadar en la abundancia material y en la miseria moral de tolerar hambre en el mundo con la excusa de hipotéticos futuros mejores. En la presente cuestión, se argumenta a favor de una política de financiamiento en la que aquellos con mayores recursos económicos sean los principales contribuyentes, dado que en última instancia son los principales beneficiarios de décadas de degradación ambiental. En este sentido, se hace un llamado a que los países desarrollados asuman su responsabilidad y contribuyan económicamente a la solución de los problemas ambientales actuales. Se enfatiza la importancia de tomar medidas inmediatas, dado que la posibilidad de postergar la acción podría llevar a una situación en la que el sistema ya no pueda ser salvado. Hay que imponer que las grandes corporaciones y multi-

nacionales empiecen a tributar por el volumen de destrucción creada (deuda histórica) y reconduzcan los beneficios hacia planes de adaptación y lucha contra el cambio climático o emergencias planetarias, sean estas pandemias o impactos de meteoritos (es decir cualquier evento disruptivo). Los impuestos deben ser progresivos hacia las estructuras que, más temprano que tarde, desaparecerán en una sociedad des-globalizada como la que nos espera. Esto no significa que no tenga que haber intercambios comerciales o de personas a nivel internacional, pero su volumen será distinto. La preparación ante la amenaza de un OPP también debe ser financiada y, de una manera similar a la articulación de la respuesta al cambio climático, esto implica la aportación de dinero por parte de los Estados más ricos hacia los países más desfavorecidos. Pensemos que una situación de emergencia, sea climática o cósmica, supone movilización de equipos, víveres, medicamentos de forma rápida y eficiente. Pese a que este tipo de acciones no pueden dejarse a la improvisación, actualmente no hay acuerdos globales ni protocolos para que financiera y económicamente se dedique dinero a la preparación o adaptación a un impacto cósmico.

- x. Propaganda: Reducción progresiva de estrategias de publicidad y marketing de productos, estilos de vida o actuaciones altamente contaminantes o que impliquen ataques a la biodiversidad y/o salud de los ecosistemas. Por ejemplo, podrían aplicarse moratorias que, cuando expiren, en caso de no haberse adaptado, supongan la aplicación del punto de legislación penal detallado. En esta primera fase, un ejemplo claro es lo que se conoce como «lavado verde» (*greenwashing*), una táctica estética que hacen muchas empresas simulando que simpatizan con la causa ambiental, pero sin transformar de manera sustancial sus acciones ni principios. Esto es equivalente en el caso de un impacto cósmico, ya que el papel de los medios periodísticos y cómo explican la situación es esencial para concienciar y que la gente disponga de datos fidedignos sobre los peligros y las posibilidades de actuación, así como herramientas para afrontar esta situación de emergencia desde el punto de vista social, de recursos necesarios y de su preparación psicológica.

Finalmente, es esencial que definamos y acordemos indicadores que reflejen el progreso en la implementación del decálogo propuesto o, en otras palabras, alguna señal que dé idea de que algo se mueve. Desde mi punto de vista, una señal clara de que algo está cambiando sería que los ministerios y consejerías de medio ambiente dependieran directamente de presidencia y que el gobierno gestionara sus políticas según criterios ambientales, de recursos y climáticos, en lugar de basarse en indicadores cortoplacistas de crecimiento económico que, aunque nos resistimos a aceptarlo, son inútiles ante situaciones de emergencia global. El mismo desafío se presenta ante el impacto cósmico: nuestra sociedad parece no estar preparada para enfrentar riesgos lejanos en el tiempo o con una probabilidad baja, lo que nos lleva a no asignar recursos (financieros, de tiempo en gestión, de previsión y planificación) ni esfuerzos para prevenirlos. Además, el sistema socioeconómico actual y el paradigma crecentista en el que vivimos no están diseñados para contingencias de este tipo, y la falta de herramien-

tas (económicas, sociales, psicológicas e incluso éticas) nos deja en una situación de vulnerabilidad. En la respuesta a esta situación, en lugar de caer en un pesimismo que nos lleve a la desmovilización, debemos reflexionar sobre qué paradigma alternativo necesitamos para enfrentar estos retos, el cual no sólo mejorará nuestra capacidad de gestionar el impacto cósmico o el cambio climático, sino que nos llevará a un estilo de vida más saludable y sostenible (con recursos mejores y más sanos) para los seres humanos y para los ecosistemas en los que vivimos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bardeen, C. G., Garcia, R. R., Toon, O. B y Conley, A. J. (2017). On transient climate change at the Cretaceous-Paleogene boundary due to atmospheric soot injections. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(36), E7415-E7424.
- Barnosky, A., Hadly, E., Bascompte, J. et al. (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature* 486, 52-58.
- Brett, R. (1992). The Cretaceous-Tertiary extinction: a lethal mechanism involving anhydrite target rocks. *Geochem Cosmochim Acta*, 56, 3603-3606.
- Bobrowsky, P.T. y Rickman, H. (2007). *Comet/asteroid impact and Human Society. An interdisciplinary approach*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Caesar, L., McCarthy, G.D., Thornalley, D.J.R. et al. (2021). Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium. *Nat. Geosci.* 14, 118-120.
- Chapman, CR. y Morrison, D. (1994). Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard. *Nature*, 367, 33-39.
- Collins, GS., Melosh HJ. y Marcus, RA. (2005). Earth Impact Effects Program: a web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth. *Meteoritics and Planet Sci*, 40, 81-840.
- Condamine, F.L., Guinot, G., Benton, M.J. et al. (2021). Dinosaur biodiversity declined well before the asteroid impact, influenced by ecological and environmental pressures. *Nat Commun*, 12, 3833.
- Ens, T. A., Brown, P. G., Edwards, W. N. y Silber, E. A. (2012). Infrasound production by bolides: A global statistical study. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 80, 208-229.
- Grieve R. y Therriault A. (2000). Vredefort, Sudbury, Chicxulub: three of a kind? *Ann Rev Earth Planet Sci*, 28, 305-338.
- Henehan, M.J., Ridgwell, A., Zhang, S., Alegret, L., Schmidt, D.N., Rae, J.W.B., James, Witts, D., Landman, N.H., Greene, S.E., Huber, B.T., Super, J.R., Planavsky, N.J. y Pincelli M. (2019). Rapid ocean acidification and protracted Earth system recovery followed the end-Cretaceous Chicxulub impact. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(45), 22500-22504.
- Husen S., Taylor R., Smith RB. y Healsen, H. (2004). Changes in geyser eruption behavior and remotely triggered seismicity in Yellowstone National Park produced by the 2002 M 7.9 Denali fault earthquake, Alaska. *Geology*, 32, 537-540.

- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson–Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].
- Junium C.K., Zerkle A.L., Witts J.D., Ivany L.C., Yancey T.E., Liu C. y Claire M.W. (2022). Massive perturbations to atmospheric sulfur in the aftermath of the Chicxulub impact. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(14).
- Jones, E.M. y Kodis, J.W. (1982). Atmospheric effects of large body impacts: the first few minutes. En L.T., Silver y P.H., Schultz (Ed.), *Geological implications of impacts of large asteroids and comets on the Earth* (pp. 175-186). Geol Soc Amer Sp Pap 190.
- Kübler-Ross, E. (1974). *Questions and Answers on Death and Dying*. Macmillan.
- Kring, D.A. (1999). Meteor Planet, *Sci*, 34, A67-A68.
- Kring D.A., Melosh H.J. y Hunten, D.M. (1995). *Possible climatic perturbations produced by impacting asteroids and comets*. *Meteoritics* 30, 530.
- Melosh, H.J. (1989). *Impact Cratering: A Geologic Process*. Oxford University Press, New York.
- Morgan, J. V., Bralower, T. J., Brugger, J. y Wünnemann, K. (2022). The Chicxulub impact and its environmental consequences. *Nature Reviews Earth y Environment*, 3(5), 338-354.
- Parkhomenko, V. P. (2021). The longtime global climatic consequences modeling of the Chicxulub asteroid impact event. *Journal of Physics Conference Series*, 2090(1).
- Range, M. M., Arbic, B. K., Johnson, B. C., Moore, T. C., Titov, V., Adcroft, A. J., et al. (2022). The Chicxulub impact produced a powerful global tsunami. *AGU Advances*, 3, e2021AV000627.
- Robertson, D. K. y Gislis, G. R. (2019). Near and far-field hazards of asteroid impacts in oceans. *Acta Astronautica*, 156, 262-277.
- Scheffers, B. R., De Meester, L., Bridge, T. C., Hoffmann, A. A., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T., ... y Watson, J. E. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354(6313), aaf7671.
- Sigurðsson H., D'Hondt S. y Carey, S. (1992). The impact of the Cretaceous/Tertiary bolide on evaporite terrane and generation of major sulfuric acid aerosol. *Earth and Planetary Science Letters*, 109, 543-559.
- Solé, J. (2023). Climate and Energy Crises from the Perspective of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Trade-Offs between Systemic Transition and Societal Collapse? *Sustainability*, 15(3), 2231.
- Stark, M.A., Davis, S.D. (1996). Remotely triggered microearthquakes at The Geysers geothermal field, California. *Geophys Res Lett*, 23, 945-948.
- Tabor, C. R., Bardeen, C. G., Otto-Bliesner, B. L., Garcia, R. R. y Toon, O. B. (2020). Causes and climatic consequences of the impact winter at the Cretaceous–Paleogene boundary. *Geophysical Research Letters*, 47, e60121.
- Toon, O.B., et al. (1982). Evolution of an impact-generated dust–cloud and its effects on the atmosphere. *Geol Soc Amer Spec Pap*, 190, 187-200.

- Toon, OB., Zahnle, K., Turco, RP. y Covey, C. (1994). Environmental perturbations caused by impacts. En T. Gehrels (Ed.), *Hazards due to comets and asteroids* (pp. 791-826). Univ of Arizona Press, Tucson.
- Ward, SN. y Asphaug, E. (2000). Asteroid impact tsunamis: a probabilistic hazard assessment. *Icarus*, 145, 64-78.
- (2003). Asteroid impact tsunami of 2880 March 16. *Geophys J. Int*, 153, F6-F10.

CAPÍTULO 3. DECISIONES CRUCIALES: METODOLOGÍAS MULTI-CRITERIO APLICADAS A LA DEFENSA PLANETARIA

JUAN MIGUEL SÁNCHEZ LOZANO¹

*Ingeniero Industrial. Doctor especialista en Teorías de la Decisión
Centro Universitario de la Defensa. Academia General del Aire*

DOI: 10.14679/2275

Sumario: 1. INTRODUCCIÓN. 2. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTI-CRITERIO. 2.1. Antecedentes: de la economía a la astronomía. 3. DECISIONES EN DEFENSA PLANETARIA. 3.1. Clasificación de objetos próximos a la Tierra potencialmente peligrosos. 3.2. La conexión con las fechas de impacto. 3.3. Una primera evaluación de técnicas de desvío de asteroides. 4. CONCLUSIONES.

Vamos a ubicarlo, y en el caso de que vaya a colisionar tenemos que predecir dónde va a caer, y en el peor de los casos, habría que iniciar una evacuación, este sería nuestro último recurso, pero si fuera necesario habría que hacerlo².

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los avances en el ámbito aeroespacial permiten detectar continuas amenazas y desafíos a los que se enfrenta la comunidad científica internacional. Entre ellos cabe destacar aquellos que pueden ser perjudiciales y dañinos para la humanidad y, los grandes asteroides y cometas, cuyas órbitas se cruzan con la órbita de la Tierra generando un riesgo real de impacto, son manifiestas pruebas de ello.

¹ Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) en 2004 con el título de Doctor Europeo en Energías Renovables en 2013. Posee un Máster en Energías Renovables (2010) por la UPCT y un Máster en Astronomía y Astrofísica (2018) por la Universidad Internacional de Valencia. Actualmente ejerce su labor como profesor contratado doctor en el Centro Universitario de la Defensa, en la Academia General del Aire de San Javier (Murcia), compaginando su actividad docente con su labor investigadora. Su investigación está enfocada en la aplicación de la teoría de la decisión y la lógica difusa en el ámbito de las energías renovables, astronomía y astrofísica, ingeniería aeroespacial y las ciencias medioambientales.

² Declaraciones de Rüdiger Jehn (Jefe de la Oficina de Defensa Planetaria de la ESA) ante la amenaza del posible impacto del asteroide 2006 QV89, en septiembre de 2019.

Aunque es poco probable que los Objetos Cercanos a la Tierra (OCT o comúnmente denominados NEOs por su notación anglosajona *Near-Earth Objects*) de tamaño moderado, es decir, de cientos de metros de diámetro, alcancen nuestra órbita, el impacto de uno de dichas dimensiones en el futuro afectaría drásticamente la vida y el clima en nuestro planeta. ¿Cómo debemos afrontar los encuentros con dichos objetos?, ¿cómo podemos cuantificar el tiempo de reacción para organizar un sistema paliativo de defensa planetaria?, ¿cómo puede la amenaza de un impacto cósmico de tales características afectar a los flujos migratorios de una zona geográfica concreta?, ¿cuáles serán sus consecuencias ecológicas, políticas, económicas y demográficas? Si un evento de semejante magnitud pudiera tener lugar, habría infinidad de cuestiones que plantearse a las que se debería dar respuesta, en definitiva; habría llegado el momento de tomar decisiones cruciales de escala planetaria.

Cada una de las preguntas planteadas es en realidad un problema de decisión. En cada cuestión surgen una serie de opciones a evaluar y, normalmente, a la hora de seleccionar la alternativa idónea es necesario considerar un número finito y determinado de factores o criterios, creándose de esta manera un problema de toma de decisiones multi-criterio.

Para hacerse una idea basta con tratar de responder algunos de los interrogantes que la humanidad podría formularse ante una situación real de defensa planetaria: en el caso de que un objeto de cientos de metros fuese a impactar contra la Tierra y la zona geográfica potencial de impacto estuviese densamente poblada, ¿qué decisiones inmediatas habría que adoptar? (**Perna, Barucci y Fulchignoni 2013**) ¿qué actores entrarían en juego y cómo se relacionarían entre ellos? (**Simó-Soler y Peña-Asensio 2022**). A simple vista parecería evidente que las personas que habitasen la zona afectada ocuparían la primera posición en la lista de prioridades: ¿hacia dónde y cómo habría que dirigir el desplazamiento de la población?, aspectos como la seguridad, sanidad, desarrollo o cercanía de las diferentes alternativas entrarían a formar parte del problema de decisión.

Es también bastante habitual plantearse cuestiones que incluso parecen ser extraídas de la ciencia ficción como las relativas al modo en el que se debería desviar la trayectoria de un asteroide en riesgo de colisión contra la Tierra: ¿cuál sería la técnica de deflexión idónea? A la hora de responder a dicha pregunta surgen varios factores o criterios que influyen en el proceso de evaluación de las potenciales alternativas. Obviamente el tamaño del objeto es un elemento a tener en cuenta, pero también resulta conveniente considerar parámetros tales como el nivel de madurez de la tecnología, el tiempo para construirla (sobre todo si el margen de maniobra es escaso) o incluso el riesgo de la misión, entrando en escena por tanto un mayor número de factores, generándose nuevamente un problema de toma de decisiones de múltiples criterios.

La disciplina de las teorías de decisión se ha postulado como una rama de conocimiento que permite sintetizar y optimizar tareas en cualquier ámbito de la actividad intelectual humana facilitando su resolución. Englobadas en dicha disciplina, cabe resaltar las metodologías de toma de decisiones multi-criterio (comúnmente denominadas MCDM por su notación anglosajona *Multi-Criteria Decision Making*)

(**Triantaphyllou 2000**), cuyo uso se ha extendido en numerosos campos de aplicación tan diversos como la ingeniería, economía, ciencias sociales, etc., (**Mardani et al. 2015**). Dada su contrastada utilidad, corroborada y verificada por un elevado número de problemas de decisión y casos de estudio resueltos con éxito, estas metodologías emergen como herramientas de gran relevancia a considerar para la formulación de estrategias de defensa planetaria.

En este capítulo veremos cómo, aunque estos algoritmos de optimización se han aplicado en numerosas áreas de conocimiento, su aparición en el ámbito de la astronomía y la astrofísica es aún reciente, y más aún si cabe en el extraordinario desafío que suponen las posibles acciones para mitigar o paliar un impacto cósmico. Se demostrará, a través de la descripción detallada de diversos casos de estudio, la utilidad de estas metodologías y técnicas a la hora de tomar decisiones en el ámbito de la defensa planetaria.

2. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTI-CRITERIO

Con frecuencia, de manera inconsciente debido a la naturaleza rutinaria de nuestras actividades diarias, las personas nos vemos obligadas a abordar situaciones en las que se debe elegir entre múltiples alternativas para determinar cuál es la opción óptima. Es bastante común además que, en el proceso de selección, sea necesario tener en cuenta un número determinado de factores o criterios. De hecho, según **Simon (1960)**: «La toma de decisiones es un proceso de selección entre cursos alternativos de acción, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos». Por tanto, se podría decir que un problema de decisión surge cuando para dar respuesta a una situación planteada existen dos o más alternativas entre las que, de manera individual o colectiva, es necesario escoger una de ellas, o al menos indicar una serie de preferencias.

Una decisión se considera acertada si con el transcurso del tiempo los efectos de la misma son favorables en función de la métrica establecida con la que se evalúe. Por lo tanto, resulta de suma importancia comprender en detalle el proceso de toma de decisiones, ya que esto permitirá determinar de manera concluyente si la elección inicial fue la opción más adecuada.

La importancia de recurrir a los procesos de toma de decisiones se incrementa cuando su aplicación traspasa el ámbito académico alcanzando el profesional. En el campo de los proyectos de ingeniería de cualquier área de conocimiento (industrial, civil, aeroespacial, etc.), a consecuencia de la complejidad y la trascendencia de la decisión, los procesos de toma de decisiones constituyen una actividad intelectual imprescindible, sin la cual los actuales y complejos proyectos tecnológicos no podrían progresar.

Originariamente, los procesos de toma de decisiones se fundamentaban en el conocimiento y la experiencia de un grupo decisor ante situaciones similares ocurridas con anterioridad. Sin embargo, con el transcurso del tiempo, este clásico concepto ha ido cambiando de manera que, en nuestros días, resulta bastante habitual recurrir además al uso de alguna metodología o herramienta que permita ayudar en la toma de decisión.

El esquema fundamental de un proceso de toma de decisión multi-criterio consta de las siguientes cuatro etapas:

Etapas 1.- Estructuración del problema de decisión. El proceso da comienzo ordenándose a través de diversas tareas:

- Definición del problema: Paso inicial para la toma de decisión, sin un problema correctamente definido no es posible obtener una solución válida, ya que el objetivo no está claramente definido.
- Identificación de las alternativas: Captura y recopilación de la cantidad de opciones que tiene el sujeto decisor para llevar a cabo la decisión.
- Determinación de criterios: Selección de aquellas características o factores que los individuos decisores han considerado relevantes para determinar la alternativa que resulta más conveniente. Los criterios pueden presentar diversa naturaleza (cuantitativa o cualitativa).

Etapas 2.- Análisis del problema de decisión. Es en esta etapa cuando se desarrolla la parte metodológica del proceso de toma de decisión, comprende las siguientes fases:

- Evaluación de alternativas: Depende de la metodología o técnica de evaluación utilizada en cada caso.
- Elección de una opción o ranking de alternativas: En función de la evaluación de las alternativas, se obtiene una opción con mejor valoración que el resto.

Etapas 3.- Implementación de la decisión. Una vez identificada la alternativa más favorable, se lleva a cabo su ejecución.

Etapas 4.- Evaluación de los resultados. Ya estando en ejecución o habiendo sido ejecutada, los resultados que genera la alternativa pasan a ser evaluados.

Gracias a dichas etapas no sólo es posible determinar todas las variables que están involucradas en el proceso, sino además analizar las diversas soluciones en función de la metodología que resulte más idónea y efectiva.

2.1. Antecedentes: de la economía a la astronomía

La decisión multi-criterio aparece en el campo de la economía a finales del siglo XIX y principios del XX al analizar el comportamiento de las y los consumidores a la hora de elegir la compra de un producto. La formulación adoptada en esta época consistía en postular que los agentes económicos buscaban maximizar sus funciones de utilidad, las cuales expresaban la elección de la persona consumidora. Sin embargo, Pareto mostró en 1896 que en situaciones en las que varios agentes económicos realizan elecciones diferentes y en conflicto, éstos no pueden obtener su satisfacción máxima al mismo tiempo; «siendo los recursos limitados, lo que uno gana lo hace en detrimento de otro», creándose de este modo los denominados óptimos de Pareto. Las técnicas de decisión multi-criterio surgieron con el objeto de resolver esta problemática intentando alcanzar un equilibrio entre diferentes intereses.

Los inicios de estas metodologías se remontan a la década de los cuarenta. En 1944, el economista austriaco Oscar Morgenstern y el padre de la física cuántica, John Von Neumann, publicaron la primera edición de juegos de estrategia desde una perspectiva económica analizando el comportamiento del individuo en una situación de riesgo (**Von Neumann y Morgenstern 1944**). En las décadas siguientes fueron surgiendo diferentes escuelas (destacando la europea y la norteamericana) y números desarrolladores. De forma breve cabe mencionar al matemático francés Bernad Roy, inspirador de la escuela francesa y padre de la familia de métodos multi-criterio llamados de sobreclasificación (relaciones «*outranking*»), en los que destacan las metodologías ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la Réalité*) (**Roy 1968**) y PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation*) (**Brans, Mareschal y Vincke 1984**), o **Keeney y Raiffa (1976)**, impulsores de la denominada escuela norteamericana a través de su célebre Teoría de la Utilidad Multi-Atributo (MAUT).

Fue a finales del siglo XX cuando las metodologías MCDM comenzaron a trascender del ámbito académico extendiéndose al mundo empresarial. Hoy en día estas técnicas se emplean con múltiples y diversas finalidades: localización de empresas, selección de maquinaria, optimización de infraestructuras, etc. (**Mardani et al. 2015**). Aunque son numerosas las aplicaciones que aún quedan por explotar, su uso en el ámbito de la industria espacial no es reciente, de hecho, hay que remontarse más de dos décadas en el tiempo.

En el año 1995, el ingeniero norteamericano Michael V. Franck recurrió a la metodología MCDM más extendida en la actualidad, el Proceso Analítico Jerárquico o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) desarrollado por Thomas Saaty en la década de los ochenta, para evaluar el riesgo y tomar decisiones sobre las selección de estrategias de mejora de la seguridad en una nave espacial, vehículos de lanzamiento e infraestructuras en tierra de la NASA (**Franck 1995**). Criterios tales como la viabilidad técnica, planificación, masa, rendimiento o coste entraron en juego en dicho estudio.

Ya a comienzos del siglo XX, desde la Universidad de La Salle en el estado de Pensilvania (EE. UU.), un reconocido investigador en el marco de proyectos de la NASA, Madjid Tavana, aplicó técnicas y metodologías MCDM en diversos estudios del ámbito aeroespacial. Cabe destacar entre ellos los siguientes problemas de decisión:

- Evaluación desarrollada en el *Johnson Space Center* (NASA) de tres escenarios complejos para abordar la misión de exploración humana a Marte. Recurrió entre otras técnicas al uso de la metodología AHP. Los criterios escogidos para ello fueron las diferentes etapas de la misión, desde el lanzamiento hasta el retorno de la nave al planeta Tierra (**Tavana 2004**).
- Análisis multi-criterio de las complejidades inherentes a las futuras misiones de vuelos espaciales tripulados (**Tavana y Hatami-Marbini 2011**), realizado también en el *Johnson Space Center* (NASA). Otra de las metodologías MCDM más extendidas, la metodología TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) (**Hwang y Yoon 1981**), fue aplicada para evaluar diferentes simuladores con vistas a abordar misiones tripuladas de exploración

más allá de la órbita terrestre baja. Además, a través de la metodología AHP fue posible incorporar información subjetiva en el proceso de decisión, analizando de este modo las posibles discrepancias entre los diferentes sujetos decisores.

- Estudio de priorización de proyectos de tecnología avanzada en el Kennedy Space Center (NASA). En este trabajo la decisión a tomar iba enfocada a establecer un ranking entre 10 proyectos (Hubble, Airlock, Planet-Finder, etc.) con vistas a desarrollar estrategias de planificación (**Tavana, Khalili-Damghani y Abtahi 2013**). La principal novedad de este estudio no sólo es la incorporación de una metodología MCDM que permite analizar las relaciones de dependencia entre los criterios que influyen en la decisión, el Proceso Analítico en Red o ANP (*Analytic Network Process*) (**Saaty 1996**), sino también la aplicación de técnicas como la lógica difusa (**Zadeh 1965**) capaz de manejar la incertidumbre que puede generar el riesgo de imprecisión de dichos criterios.

En la última década el uso de estas metodologías a nivel de investigación se ha extendido a otros países como por ejemplo China, donde se recurrió al método TOPSIS para escoger, de entre varios diseños, el vehículo de lanzamiento espacial idóneo (**Ullah et al. 2013**), o Malasia (**Almahdi et al. 2019**) donde diversos sistemas de vigilancia remota de pacientes fueron evaluados mediante otras dos metodologías MCDM ampliamente extendidas: el enfoque BWM (*Best Worst Method*) (**Rezaei 2015**) y la metodología VIKOR (*Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) (**Opricovic 1968**). En este caso, a la hora de tomar la decisión, quedó seleccionado en primera posición un sistema de monitoreo desarrollado conjuntamente por la Universidad de Yale y la NASA.

Observando dichos antecedentes, se podría inferir que estas herramientas y metodologías están fuertemente vinculadas al ámbito de la ingeniería y la industria aeroespacial, sin establecerse un nexo de unión claro y manifiesto con la astronomía y astrofísica *per se*. Impresión muy alejada de la realidad ya que incluso se ha recurrido a estas técnicas para abordar problemas de decisión puramente astrofísicos como, por ejemplo, qué objetos o residuos espaciales son los más peligrosos y, por ende, por los que habría que comenzar a priorizar su eliminación (**Bazzocchi, Sánchez-Lozano y Hakima 2021**). Parámetros de los objetos como su órbita, masa, tamaño, probabilidad de colisión y tiempo de decaimiento son susceptibles de ser considerados en el proceso de evaluación recurriendo a versiones difusas de metodologías híbridas MCDM.

Es más, bajo un enfoque de habitabilidad planetaria: ¿sería posible establecer un ranking a la hora de decidir sobre en qué exoplanetas habría que centrar la atención para la búsqueda de biomarcadores? Gracias a las metodologías de toma de decisión la respuesta a la anterior pregunta es afirmativa. Empleando la versión difusa de una técnica MCDM de reciente creación: RIM (*Reference Ideal Method*) (**Cables, Lamata y Verdegay 2018**), un grupo de investigadores españoles (**Sánchez-Lozano, Moya y Rodríguez Mozos 2021**) analizaron el potencial de habitabilidad de 1798 exoplanetas empleando la única opción que realmente conocemos, el planeta Tierra. Criterios como la composición, atmósfera, energía, tipo de planeta o presencia de agua líquida fueron algunos de los factores que se consideraron en el proceso de decisión, resultando clasificado en la primera posición del ranking el planeta TRAPPIST-1e.

Con este breve repaso a la literatura se confirma cómo el uso de este tipo de metodologías y procesos, estrechamente vinculadas al ámbito empresarial e industrial en sus inicios, se ha ido extendiendo a otras áreas de conocimiento como el caso de las ciencias del espacio.

Este es sólo el comienzo y la defensa planetaria no es una excepción. En las próximas secciones se detallará la utilidad de estas herramientas para la toma de decisiones, las cuales pueden resultar cruciales frente a la amenaza de un impacto cósmico en nuestro planeta.

3. DECISIONES EN DEFENSA PLANETARIA

Un hecho ha quedado ya demostrado durante el transcurso de este capítulo: las teorías de la decisión se han postulado como excelentes asesoras en el momento de elegir la mejor opción. No obstante, también es necesario reconocer que, bajo la perspectiva de la defensa planetaria, las metodologías de decisión multi-criterio aún se encuentran dando sus primeros pasos. Tener que afrontar decisiones en conflicto y escoger cuál es la mejor opción para defender nuestro planeta ante un asteroide potencialmente peligroso es un paso que, afortunadamente, aún no es necesario dar. Sin embargo, ¿por qué no anticiparnos?, ¿por qué no aprovechar las ventajas que estas metodologías ofrecen a la comunidad científica y repercutir el resultado a su vez en la sociedad?

En este apartado se van a mostrar los primeros avances en el uso de las metodologías MCDM para la toma de decisiones en el campo de la defensa planetaria. Para ello, tres estudios conectados entre sí, formando a su vez una trilogía, tratarán de responder a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuáles son los asteroides más peligrosos?
- 2) ¿Hay alguna fecha de impacto próxima a la que se debiera prestar especial atención?
- 3) ¿Cuál es la técnica de deflexión idónea para desviar un OCT?

Las respuestas a tales cuestiones se pueden hallar bajo el enfoque de las teorías de decisión multi-criterio. De hecho, para poder abordarlas no sólo surgen alternativas a priorizar o evaluar, sino también factores o criterios que es necesario considerar en el proceso, generándose así tres problemas de decisión de criterios múltiples (Sánchez-Lozano y Fernández-Martínez 2016; Sánchez-Lozano, Fernández-Martínez y Lama-ta 2019; Sánchez-Lozano et al. 2020), los cuales van a ser detallados a continuación.

3.1. Clasificación de objetos próximos a la Tierra potencialmente peligrosos

Los asteroides o pequeños cuerpos rocosos cuyos tamaños varían desde unas decenas de metros a cientos de kilómetros constituyen una potencial amenaza (Trigo-Rodríguez 2022). Mientras la mayoría de ellos podrían impactar contra la Tierra con una probabilidad muy escasa, próxima al 0,5% según Rabinowitz et al (2000),

conviene estar alerta ya que es lógico afirmar que con el transcurso del tiempo dicha probabilidad podría aumentar, siendo del orden del 1% en el caso impactos superiores a mil megatonnes (equivalente a 100 eventos tipo Tunguska). La frecuencia de impactos de esta magnitud es del orden de una vez cada 100 años (**Chapman y Morrison 1994**).

La comunidad astronómica ha establecido medidas que permiten clasificar a los OCT en función de su riesgo potencial de impacto. De esta manera, escalas como la de Torino (**Barucci y Fulchignoni 2005**) o la escala de Palermo (**Chesley et al. 2002**) hicieron su aparición a comienzos de este siglo. La primera, escala de Torino, evalúa la prioridad de riesgo combinando la probabilidad estadística de impacto y la energía cinética asociada al posible impacto. La escala de Palermo también compara ambos parámetros (probabilidad de impacto y energía cinética estimada) pero de una forma más técnica, empleando una escala logarítmica.

Además de dichas escalas, existen otros parámetros que pueden ser considerados a la hora de cuantificar el riesgo de impacto de OCT. No sólo factores tan habituales como el diámetro estimado, su magnitud absoluta, el número potencial de impactos, la energía y velocidad de impacto, etc., sino que existen además otros incluso menos conocidos como, por ejemplo, el Ratio de Purgatorio³, que también podrían tener cabida con vistas a generar una medida de riesgo de impacto de este tipo de objetos.

La información de todos los criterios anteriormente mencionados, ya sea de forma directa o indirecta, está recopilada en la consolidada tabla de riesgo denominada Sentry, dentro del programa NEO Search Program de la NASA. De hecho, todos los posibles impactos contra la Tierra aparecen registrados en dicha tabla una vez que el sistema JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) Sentry los ha detectado a partir de las observaciones actualmente disponibles.

Desde la perspectiva de la teoría de la decisión, la tabla Sentry constituye una clásica matriz de decisión, en cuyas filas aparecen las alternativas a evaluar (OCT en este caso), y en sus columnas los valores de los diferentes criterios que influyen en el proceso de evaluación para cada alternativa. Por tanto, analizando dicha tabla bajo el enfoque de las metodologías MCDM es posible obtener un ranking de OCT en función de su riesgo de impacto, generando un listado de Objetos Potencialmente Peligrosos (OPP). Cabe mencionar entre los criterios a considerar en la evaluación los valores para cada objeto de impactos potenciales (número de veces que interseca la órbita de un objeto con la de la Tierra), probabilidad de impacto, parámetro V_{∞} (o velocidad de entrada a la atmósfera relativa a la de la Tierra), magnitud absoluta (medida del brillo intrínseco del objeto y su magnitud aparente a una unidad astronómica de distancia⁴), diámetro

³ El término refiere a una relación de parámetros temporales que comprende desde la primera hasta la última observación de un OCT, así como el tiempo transcurrido desde el presente hasta la próxima posible fecha futura de impacto.

⁴ Una unidad astronómica (AU) equivale a la distancia aproximada existente entre el Sol y la Tierra, $1,4960 \cdot 10^{11}$ metros o 150 millones de km.

estimado del objeto (asumiendo que se trata de un cuerpo uniforme esférico), escala de Palermo o incluso la energía cinética de impacto (medida en megatonnes de TNT⁵).

Una vez definidos todos y cada uno de los valores de la matriz de decisión de alternativas y criterios, es cuando entra en juego el uso de estas técnicas, otorgándole solidez y rigor matemático a la decisión que finalmente se adopte. De hecho, el primer paso es evidente: si fuera necesario evaluar y/o priorizar una serie de OCT en función de su peligrosidad a partir de un conjunto de criterios, ¿tendrían todos los criterios la misma importancia? Dependiendo de la respuesta a dicha pregunta este primer paso se podría obviar o forzaría la necesidad de determinar el peso o coeficiente de importancia de cada uno de los criterios.

A la hora de decidir, la experiencia y el *know-how* de un grupo de asesoramiento compuesto por un equipo experto en la materia es de suma importancia. Precisamente, el proceso AHP, la metodología multi-criterio más extendida, permite recurrir a un sistema de especialistas y estructurar el problema de decisión en forma jerárquica de manera que en el nivel superior de la jerarquía se sitúa el objetivo o meta a alcanzar, el siguiente nivel lo ocupan los criterios que influyen en el proceso, pudiendo existir a su vez diferentes subniveles y, finalmente, en la base de la jerarquía se reflejan las alternativas objeto de evaluación.

A través de dicho proceso y mediante el uso de una escala de comparación denominada escala de Saaty, en honor al creador de dicha metodología (**Saaty 1980**), un conjunto de personas expertas es capaz de comparar entre sí y de forma pareada los criterios situados en cada uno de los niveles de la jerarquía por medio de la cumplimentación de un cuestionario.

En el caso de la clasificación de OPP, personal altamente cualificado en proyectos de la NASA procedentes del Departamento Lunar y de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona (EEUU), cumplieron el cuestionario basado en la metodología AHP siendo posible determinar los pesos o coeficientes de importancia de los criterios anteriormente mencionados. La escala de Palermo y el número de potenciales impactos de cada objeto resultaron ser los criterios más relevantes, mientras que el parámetro magnitud absoluta (esto es, el brillo) obtuvo el menor peso.

Una vez conocidos los pesos de los criterios, ya resulta posible resolver el problema de decisión planteado abordando el proceso de priorización/evaluación de alternativas (OCT con mayor riesgo de impacto en nuestro caso). Entre las diferentes técnicas de análisis multi-criterio a emplear, la metodología TOPSIS resulta idónea para este supuesto por diversos motivos: no sólo permite evaluar un número elevado de alternativas incluyendo los pesos de los criterios en el proceso, sino también utilizar criterios que presentan diferentes unidades de medida (km/s, %, m, etc.), facilitando de esta forma la inclusión de todos aquellos criterios susceptibles de ser considerados.

⁵ Trinitrotolueno: Compuesto químico obtenido por la reacción del tolueno con ácido nítrico y ácido sulfúrico a temperatura elevada, constituyendo por tanto un potente explosivo.

Sin la intención de profundizar en exceso en los entresijos matemáticos del algoritmo TOPSIS, resulta imprescindible mencionar al menos sus fundamentos. Esta técnica de análisis multi-criterio está basada en las distancias de cada una de las alternativas a una solución ficticia ideal y a otra anti-ideal, denominadas comúnmente Solución Ideal Positiva (PIS) y Solución Ideal Negativa (NIS), respectivamente. Mediante la generación de un coeficiente de proximidad relativa a la solución o alternativa ideal es posible obtener un valor para cada opción y generar un ranking de las mismas.

Por tanto, una vez determinados los pesos de los criterios y aplicado el algoritmo TOPSIS a la matriz de decisión de alternativas y criterios, el coeficiente de proximidad relativa a la alternativa ideal permite generar la clasificación de OCT en función de su riesgo de impacto. Es de destacar entre los primeros clasificados, por su coincidencia actual con la tabla Sentry, a los objetos 101955 Bennu (1999 RQ36) y 29075 (1950 DA). Mencionaremos a continuación sus detalles y características más significativas.

El asteroide 101955 Bennu (1999 RQ36) fue descubierto por el programa LINEAR (*Lincoln Near-Earth Asteroid Research*) en septiembre de 1999. Se ha ido desplazando hacia el espacio cercano a la Tierra debido a las interacciones gravitatorias con los planetas gigantes y, cada 6 años, tiene un acercamiento con nuestro planeta. Respecto a su peligrosidad, cabe resaltar que presenta el mayor valor de la escala de riesgo de impacto de Palermo, se considera que su mayor probabilidad de impacto tendrá lugar a finales del siglo XXII. Tiene un diámetro estimado de 490 metros y al tener una densidad baja, sólo un 30% mayor que la del agua, se estima que está compuesto por una colección de rocas, como si se tratase de una pila de escombros. Esta suposición lo convierte en aún más peligroso ya que, en el caso de que se dirigiera realmente hacia la Tierra y entrase en la atmósfera del planeta, podría fragmentarse incrementando aún más si cabe los daños, al aumentar el área afectada.

El asteroide 29075 (1950 DA), descubierto en febrero de 1950, es el OPP de mayor tamaño, con un diámetro estimado de 1,3 km. Se observó durante 17 días y luego desapareció de la vista durante medio siglo, hasta que fue de nuevo avistado y reconocido en diciembre del año 2000. Se ha descubierto que únicamente se producirá un acercamiento en marzo de 2880 estimándose la probabilidad máxima de impacto en 0.33%. Este objeto tiene un tamaño tan elevado que, efectuando simulaciones de impacto de un cuerpo de similares dimensiones y velocidad en el océano Atlántico norte (**Ward y Asphaug 2003**), se encontró que, cuatro horas después de una colisión de este tipo, la costa este de EEUU se vería afectada por tsunamis con olas de más de 60 metros de altura. Europa, vería por primera vez los tsunamis transcurridas ocho horas desde el impacto y estos, devastarían la mayoría de las costas durante más de seis horas, alcanzando olas de 15 a 20 m de altura.

Con el objetivo de no generar alarmismos motivados por los resultados de simulaciones informáticas, merece la pena mencionar un caso opuesto: el asteroide 410777 (2009 FD); este OCT ocupaba la primera posición del ranking TOPSIS y la tercera posición de la tabla Sentry (ordenada en función del riesgo de impacto), confiriéndole por tanto un probabilidad de impacto muy elevada. Es un asteroide de 470 metros de tamaño estimado que, aunque inicialmente estaba catalogado como potencialmente

peligroso debido a la proximidad de su órbita con la Tierra, cálculos posteriores han demostrado que no existe ninguna probabilidad de colisión futura (**Mou y Webster 2021**).

Por tanto, a la hora de tomar decisiones y centrar la atención en aquellos OPP que puedan impactar contra nuestro planeta, las metodologías basadas en análisis multi-criterio pueden ser un gran apoyo, constituyendo un complemento adicional eficaz para la comunidad astronómica internacional.

3.2. La conexión con las fechas de impacto

Tras el problema de decisión mostrado en la sección anterior, fueron tres los OPP que captaron la atención y el interés al coincidir sus primeras posiciones en el ranking TOPSIS y la tabla Sentry de riesgo de impacto (101955 Bennu (1999 RQ36), 29075 (1950 DA) y 410777 (2009 FD)), aunque como ya ha sido anotado, uno de ellos (410777 (2009 FD)) un lustro más tarde dejó de ser considerado potencialmente peligroso.

Se dispone de cuantiosa información para el seguimiento y monitorización de esos tres objetos, incluyendo entre otros parámetros las fechas de impacto potenciales que, tal y como se ha indicado en la sección anterior, corresponden con dos finales de siglo: septiembre de 2182 para el OPP 1999 RQ36 y marzo de 2880 para el OPP 1950 DA, dejando ya al margen por su nulo riesgo de colisión al asteroide OCT 2009 FD.

Para identificar posibles amenazas de impacto, y predecir aproximaciones cercanas a la Tierra, sigue siendo una necesidad la monitorización de los objetos denominados no pequeños, es decir, OCT con diámetros estimados mayores o iguales a 50 m (**Chapman y Morrison 1994**). Dado que el sistema NASA JPL Sentry continúa escaneando las trayectorias de los OCT, actualizando además sus parámetros orbitales, la observación de las fechas de impacto de los OPP 1999 RQ36 y 1950 DA ha motivado una nueva cuestión bajo la perspectiva de la defensa planetaria; dado que para cada fecha potencial de impacto se dispone de una serie de parámetros relacionados con el riesgo de impacto (probabilidad de impacto, energía de impacto, etc.), ¿sería posible buscar las fechas de impacto más preocupantes de OCT de diámetro superior a 50 m a partir de las fechas de impacto de los OPP mencionados? De nuevo, la respuesta a dicha pregunta se puede encontrar en la aplicación de metodologías multi-criterio.

Mientras se estaba ultimando el problema de decisión de clasificación de OPP (**Sánchez-Lozano y Fernández-Martínez 2016**), surgió un nuevo algoritmo de decisión denominado Método de Referencia Ideal o *Reference Ideal Method* (RIM), desarrollado conjuntamente por grupos de investigación de las Universidades de Cuba y Granada (**Cables, Lamata y Verdegay 2016**). Esta nueva técnica, similar en sus fundamentos matemáticos a la metodología TOPSIS, presenta la novedad de que permite clasificar alternativas en función de un número determinado de criterios a partir de una alternativa ideal, la cual se establece como referencia.

La aparición de esta nueva metodología multi-criterio, el enfoque RIM, posibilita dar respuesta a la pregunta anteriormente formulada, ¿por qué no usar las fechas de

impacto de los OPP más peligrosos, según el ranking TOPSIS y la tabla Sentry, y clasificar el resto de fechas de impacto de OCT de diámetro superior a 50 m en función de su peligrosidad? De esta manera es posible utilizar como referencia los parámetros relacionados con las fechas de impacto de los OPP 1999 RQ36 y 1950 DA, para clasificar las fechas de impacto más preocupantes del resto de OCT conocidos del tamaño mencionado.

Las alternativas por tanto son conocidas, fechas de impacto de OCT de diámetro superior a 50 m, resta identificar los criterios que van a formar parte del proceso de priorización. Tales criterios pueden ser obtenidos nuevamente a través del programa NEO de la NASA (**Chodas y Baalke 2017**). Los procedimientos para analizar el riesgo de impacto de la tabla Sentry han ido diseñándose en función de diferentes técnicas de monitoreo de impacto y, antes de julio de 2021, la técnica utilizada se basaba en la Línea de Variaciones, conocida por su notación anglosajona *Line Of Variations* (LOV). Respecto a esta técnica cabe resaltar que mediante integraciones numéricas es posible detectar aproximaciones cercanas a la Tierra a través de una región de incertidumbre. Si asumimos que la región de incertidumbre de un asteroide en particular es un cilindro tridimensional estirado a lo largo de su órbita, entonces una proyección sobre un plano denominado objetivo⁶ reducirá la región de incertidumbre a una franja bidimensional (Línea LOV) situada a una cierta distancia del centro de la Tierra. Si esta distancia es inferior a 1 radio terrestre, uno de los asteroides virtuales podría impactar con nuestro planeta.

Con la intención de no dificultar la comprensión del texto con definiciones de parámetros excesivamente técnicos, únicamente precisar que, relacionados con dicha región de incertidumbre, se distinguen los siguientes parámetros: la distancia desde el centro de nuestro planeta a la línea LOV, la anchura de dicha región medida desde el eje hasta la generatriz del cilindro y la velocidad del objeto virtual a lo largo del plano objetivo. Por su relevancia para el caso de estudio planteado, criterios como la energía y la probabilidad de impacto también se añaden al proceso de forma que la matriz de decisión queda compuesta por los cinco criterios expuestos y por una serie de alternativas a evaluar, correspondientes con las fechas potenciales de impacto de los 118 OCT registrados en la tabla Sentry de riesgo de impacto en la fecha del estudio (enero de 2018).

Para la resolución de este nuevo problema de decisión, resulta idóneo contar con especialistas en el ámbito del problema en cuestión. En este caso se recurre nuevamente a la colaboración del grupo de asesoramiento del Departamento Lunar y de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona (EEUU) que intervino en el estudio de clasificación de OPP (**Sánchez-Lozano y Fernández-Martínez 2016**). Mediante la cumplimentación de un cuestionario basado en la metodología AHP es posible obtener los pesos o coeficientes de importancia de los criterios, siendo la distancia desde el centro de nuestro planeta a la línea LOV y la probabilidad de impacto los criterios más relevantes, mientras que la energía de impacto presenta el menor peso.

⁶ Plano que pasa por el centro de la Tierra y es perpendicular al vector de velocidad entrante del OCT.

Tras obtener los coeficientes de importancia de los criterios se está en disposición de resolver el problema de decisión planteado: la clasificación de las fechas de impacto de los OCT registrados hasta el momento (de diámetro superior a 50 m) en función a su riesgo de impacto. Con el objetivo de abordar este análisis y dada su idoneidad, el algoritmo RIM va a ser aplicado tomando como alternativas de referencia ideales los parámetros relacionados con las fechas de impacto de los OPP más preocupantes indicados anteriormente (1999 RQ36 y 1950 DA). Este algoritmo de toma de decisiones proporciona un índice relativo de proximidad de cada alternativa (fecha de impacto de cada OCT) a la solución o alternativa ideal de forma que, a partir del valor de dicho índice, es posible generar un ranking de fechas de impacto de OCT en función de su riesgo de impacto.

Una vez determinados los pesos de los criterios, y aplicada la metodología RIM a la matriz de decisión de alternativas y criterios, el índice de proximidad relativa a la solución ideal proporciona una clasificación donde, en las diez primeras posiciones, es de destacar varias fechas de impacto correspondientes a dos OPP: 2008 UB7 y 2008 EX5, y a un OCT muy notorio: 99942 Apophis (2004 MN4).

Según la tabla Sentry de monitoreo de impacto con la Tierra, el objeto 2008 UB7, de diámetro estimado 58 metros, presenta un total de 50 potenciales impactos. Aunque la fecha de impacto más próxima tendrá lugar en octubre del año 2044 (**Chodas 2022a**), según la clasificación RIM, la que presenta más riesgo de impacto es octubre de 2060, coincidiendo además con la fecha más próxima con mayor riesgo de este OPP de acuerdo a la información proporcionada en la tabla Sentry.

Situación similar presenta el OPP 2008 EX5. Este objeto de tamaño estimado de 59 metros, tiene menor número de potenciales impactos que el OPP 2008 UB7, en concreto se aproximará a nuestro planeta en 28 ocasiones durante este siglo. Aunque en este caso la fecha de impacto más próxima, la cual tendrá lugar en octubre del año 2056 (**Chodas 2022b**), no corresponde con la fecha de mayor riesgo según la clasificación RIM. De hecho, las fechas que presentan mayor riesgo de acuerdo a la metodología multi-criterio RIM son coincidentes con las proporcionadas por la tabla Sentry de monitoreo de impacto: mes de octubre de los años 2072 y 2083.

Por tanto, en el caso de estos dos objetos (2008 UB7 y 2008 EX5) no se debería generar preocupación ni alarmismo. Aún disponemos de más de tres décadas para realizar un monitoreo y seguimiento detallado de las trayectorias de sus órbitas. Además, técnicas de desviación recientes han demostrado cómo es posible variar la trayectoria de objetos de incluso mayor tamaño (**Daly et al. 2023**).

Un análisis diferente presenta el caso del asteroide 99942 Apophis (2004 MN4). La fecha de impacto de dicho objeto en abril de 2068 ocupa la décima posición en el ranking RIM de riesgo de impacto. Este objeto, de 350 m de diámetro estimado, ha estado acaparando titulares y debates en los medios durante años, en los que la comunidad científica ha tratado de determinar su órbita y la posibilidad de un impacto futuro de manera precisa. De hecho, poco después de su detección en 2004, se predijeron dos posibilidades de impacto reales en 2029 y 2036, pero las observaciones adicionales

del programa NEO las descartaron. Se aproximará mucho a nuestro planeta en abril de 2029, pasando a solo 31.000 km de la superficie de la Tierra, altitud cercana a la órbita geostacionaria donde se sitúan los satélites de comunicaciones convencionales (**Rivkin y Cheng 2023**).

Quedaba aún la preocupante posibilidad de impacto en el año 2068, coincidente con su fecha de impacto de mayor riesgo según el enfoque RIM. Sin embargo, nuevas observaciones de radar realizadas recientemente (marzo de 2021) en los observatorios Goldstone y Green Bank de la NASA, han proporcionado suficientes datos sobre su órbita como para descartar con certeza cualquier impacto en la Tierra durante al menos los próximos 100 años (**European Space Agency 2021**).

Una vez más, se constata la utilidad de emplear algoritmos de toma de decisiones multi-criterio en el ámbito de la defensa planetaria. Con este problema de decisión ha sido posible analizar las fechas de impacto más preocupantes de OCT de tamaño superior a 50 m registrados hasta la fecha (algunos de ellos incluso potencialmente peligrosos), tomando como referencia los OPP de mayor riesgo de impacto.

3.3. Una primera evaluación de técnicas de desvío de asteroides

Clasificados los OPP y analizadas las fechas de impacto más preocupantes de OCT de diámetro superior a 50 metros, queda dar un paso más: en el caso de que un asteroide u objeto potencialmente peligroso se dirija hacia nuestro planeta, ¿qué técnica de desvío sería la idónea?

Lógicamente, una pregunta como la planteada debe reflejar diversas premisas. En primer lugar, es necesario definir un rango máximo del tamaño del OPP, estimándose en este caso un diámetro que podrá variar entre 140 m (valor límite mínimo para que un asteroide se considere potencialmente peligroso⁷) y 250 m. En segundo lugar, se establece un tiempo de alerta (más conocido por su notación anglosajona *warning time*⁸) con un horizonte temporal de entre 5 y 30 años. Finalmente, en tercer lugar, descartamos la opción nuclear para evitar fragmentarlo en un enjambre de pequeños objetos que podría resultar aún más dañino y perjudicial, así como para no generar tensiones por el uso de esta tecnología. No obstante, esta estrategia de mitigación podría ser la única opción posible si apenas existe margen de maniobra temporal o si el OPP es de tamaño superior al rango asumido.

Bajo la perspectiva de la teoría de la decisión, una vez establecidas esas consideraciones, ya se está en condiciones de seleccionar el listado de alternativas a priorizar o evaluar, esto es, las técnicas de desvío de asteroides que se estén analizando en la actualidad y que reúnan las condiciones indicadas. Estudios realizados por la comunidad astronómica internacional, basta citar a modo de ejemplo los realizados por **Thiry y**

⁷ Un asteroide se considera potencialmente peligroso si presenta una Distancia de Intersección de la Órbita Mínima de la Tierra (MOID) igual o inferior a 0,05 AU y una magnitud absoluta (H) igual o menor a 22 (equivalente a diámetro estimado superior o igual a 140 m).

⁸ Tiempo que transcurre desde la detección de la amenaza hasta la fecha esperada de colisión.

Vasile (2017), Weisbin et al. (2015) y Perna, Barucci y Fulchignoni (2013), destacan las siguientes técnicas de deflexión o desviación de asteroides: impacto cinético, haz de iones, tractor de gravedad y ablación por láser. Manteniendo la intención de no abrumar con conceptos y términos excesivamente técnicos, se describirán a continuación de manera muy sencilla cada una de estas tecnologías.

La técnica de impacto cinético (*Kinetic Impactor*; KI) está basada en situar una nave espacial no tripulada en una trayectoria específica que permita impactar contra un objeto cósmico a una velocidad relativamente alta, modificando así tanto la velocidad como el impulso de ese objeto (**Rumpf et al. 2020**). Es la técnica que presenta mayor madurez tecnológica. De hecho, con la misión Deep Impact en 2005, la NASA demostró que una nave espacial puede impactar de manera autónoma un asteroide o un cometa en el espacio profundo (**Wissler, Rocca y Kubitschek 2005; A’Hearn et al. 2005**). Es más, muy recientemente se ha demostrado el éxito de esta técnica a través de la denominada misión DART (por su notación anglosajona *Double Asteroid Redirection Test*) (**Cheng et al. 2023**), haremos mención a ella más adelante. Análisis posteriores derivados de la misión Hera desarrollada por la agencia espacial europea, proporcionarán información detallada de los resultados de DART.

La tecnología basada en la desviación por haz de iones (*Ion Beam Deflection*; IBD) se fundamenta en la propulsión de un haz de iones de alta energía desde una nave espacial hacia la superficie del OPP. El haz incidiría sobre la superficie del objeto de tal forma que el impulso de los iones se transmitiría al mismo, impartiendo una aceleración comparable a la que ocurriría si el propulsor de iones estuviera sobre la propia superficie del asteroide, impulsándolo hacia el exterior (**Weisbin et al. 2015**). Entre las ventajas de esta tecnología en detrimento de la técnica KI apuntar que la nave espacial podría enviarse hacia las proximidades del OPP con anticipación, permitiendo no sólo reducir la incertidumbre con respecto a la órbita del objeto, sino también precisar el punto de incidencia del haz sobre la superficie. Por el contrario, los principales inconvenientes de esta tecnología son el nivel aún insuficiente de autonomía de la nave espacial y la imprecisión con respecto a la orientación del haz de iones (**Bombardelli, Calero y Gonzalo 2019**).

El tractor de gravedad consiste en una nave espacial que se cierne sobre un OPP con la finalidad de redirigir su trayectoria aprovechando la atracción gravitatoria entre el objeto y la nave espacial. Si, además, la nave espacial es capaz de extraer regolito o rocas del asteroide, aumentando así su propia masa, dicha cantidad de masa puede estar calculada de modo que sus propulsores a máxima potencia (y en la dirección general del asteroide) no aumenten la distancia entre la nave espacial y el OPP. Este último enfoque se denomina tractor de gravedad mejorado (*Enhanced Gravity Tractor*; EGT). La fuerza gravitacional del tractor sobre el cuerpo del objeto provoca su redirección (**McInnes 2007**). El rango de diámetros estimado en las consideraciones iniciales (entre 140 y 250 metros) facilita el uso de esta tecnología, ya que los OPP de este tamaño exhiben en su mayoría una estructura de pila de escombros en la que es técnicamente factible extraer masa de grandes rocas en su superficie.

Finalmente, la última técnica de deflexión a evaluar se corresponde con la técnica de ablación por láser (*Laser Ablation*; LA). De forma muy resumida se podría indicar que a través de esta técnica se hace incidir un rayo láser sobre la superficie del OPP, vaporizando el material de la misma y provocando un movimiento de retroceso del objeto. En este caso específico la comunidad científica ha analizado diversas configuraciones: una nave aislada o una formación en serie de amplificadores láser sincronizados (**Vasile y Maddock 2012**). En el estudio realizado asumiremos que dicha técnica involucra únicamente una nave espacial.

Una vez que estas cuatro técnicas de desvío de asteroides han sido identificadas, llega el momento de seleccionar cuáles son los criterios que se deberían considerar para abordar el problema de decisión planteado. Aquí surge un dilema que, como veremos más adelante, corrobora la idoneidad de aplicar estas metodologías MCDM a través de una serie de variantes basadas en técnicas de inteligencia artificial. Pero no nos adelantemos, dada la envergadura y dificultad del problema planteado es conveniente no dejar en el tintero ningún criterio susceptible de ser considerado por muy complicado que pueda parecer en principio su puesta en escena.

Bajo la premisa anteriormente formulada, a través de la literatura científica (**Weisbin et al. 2015**) y de equipos expertos en el ámbito de la defensa planetaria, se seleccionaron los siguientes criterios: tiempo de construcción de la técnica, duración estimada de desvío de la trayectoria, rotación, composición, estructura y forma del objeto, nivel de madurez de la tecnología y riesgo de la misión. Parecería lógico pensar que ya disponemos de la matriz de decisión para resolver el problema de decisión, puesto que se proponen evaluar cuatro técnicas de desvío de asteroides (las alternativas) en función de ocho criterios ya identificados. No obstante, como se puede apreciar, esta serie de ocho criterios no sólo presenta diferentes unidades de medida, sino que además en la mayoría de los casos reúne parámetros complejos, difíciles de cuantificar por la imprecisión inherente que supone valorarlos de manera cuantitativa.

En este punto, vamos a presentar una herramienta basada en inteligencia artificial denominada lógica difusa. Esta técnica fue ideada por el matemático e ingeniero Lofti A. Zadeh en 1965 con el objetivo de modelar el nivel de vaguedad e incertidumbre del pensamiento humano. De hecho, es habitual recurrir a la experiencia previa cuando se debe tomar una decisión; las situaciones nuevas pueden parecer similares, pero no exactamente iguales, a un contexto previo. La lógica difusa ofrece una alternativa a la lógica clásica permitiendo la introducción de un cierto nivel de ambigüedad e incertidumbre cuando se deben evaluar objetos o situaciones difíciles de cuantificar.

Observando los criterios mencionados, se puede intuir la dificultad en obtener un valor preciso real para cada criterio. A modo de ejemplo se podría citar el tiempo de construcción, un criterio que a simple vista es cuantitativo. Sin embargo, dados los imprevistos que pueden surgir durante el desarrollo de tecnologías de este tipo, estimar un tiempo determinado y concreto para cada una de las técnicas de desvío se antoja cuanto menos presuntuoso. Otros de los criterios seleccionados presentan incluso mayor complejidad; ¿de qué manera se puede cuantificar con un valor real la rotación, composición, estructura y forma del objeto?, ¿o incluso la madurez y el riesgo

de cada tecnología? La combinación de metodologías MCDM con técnicas como la lógica difusa proporciona la respuesta.

Es posible representar esa imprecisión mediante el concepto de etiquetas lingüísticas (Zadeh 1975), las cuales están a su vez asociadas con números difusos con el objetivo de poder valorar cada alternativa (o técnica de desvío de asteroides) para cada criterio. Al otorgar un valor para el tiempo de construcción, especialistas en este campo podrían evaluar dicho criterio mediante etiquetas lingüísticas de tiempo (muy breve, breve, medio, largo, muy largo). Criterios tales como la rotación, composición, estructura y forma del objeto pueden estar definidos en grados de importancia (poco importante, moderadamente importante, importante, muy importante o extremadamente importante). La pregunta en cuestión que habría que formular podría ser la siguiente: ¿Cómo de importante es el criterio rotación del objeto para cada una de las técnicas de desvío? De igual modo se podría proceder con los criterios de madurez y riesgo de las tecnologías de desvío, asignándoles etiquetas lingüísticas desde muy bajo a muy alto.

Para poder abordar el problema de decisión de este modo es realmente importante contar con la colaboración de un grupo de asesoramiento experto en el ámbito concreto del problema, es decir, en defensa planetaria. Un grupo formado por 10 personas especializadas de instituciones de renombre cumplimentó una serie de cuestionarios basados en versiones difusas de las metodologías multi-criterio AHP y TOPSIS, realizando así valiosas comparativas entre alternativas y criterios. Sus áreas de especialización incluyen OCT, así como las técnicas de deflexión a evaluar, perteneciendo a las siguientes instituciones: Langley Research Center y Jet Propulsion Laboratory de NASA, Oficina de Defensa Planetaria de la Agencia Espacial Europea (ESA), Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Johns Hopkins, Instituto de Estudios Aeroespaciales de la Universidad de Toronto, Instituto de Ciencias del Espacio del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, Departamento de Física Aplicada a la Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Matemáticas de la Universidad de Pisa y la compañía aeroespacial SpaceDyS.

Al igual que en las secciones anteriores, la cumplimentación de un cuestionario por este grupo de asesoramiento basado en la metodología AHP proporciona el peso o coeficientes de importancia de los criterios que influyen en la evaluación de alternativas. Dos criterios destacaron por encima del resto, el criterio tiempo de construcción de la técnica y la duración estimada de desvío de la trayectoria, ambos presentaron los mayores pesos. Por el contrario, los criterios de menor importancia fueron la rotación y la forma del objeto.

El grupo de asesoramiento, en este problema de decisión en concreto, no sólo cumplimentó un cuestionario basado en la metodología AHP, sino que también efectuó valoraciones cualitativas de cada uno de los ocho criterios para cada una de las cuatro alternativas, empleando para ello las etiquetas lingüísticas especificadas. La matriz de decisión obtenida, representada mediante números difusos asociados a las etiquetas lingüísticas, constituye el punto de partida para la aplicación de la versión difusa de la metodología multi-criterio TOPSIS. Por tanto, una vez determinados los pesos de los

criterios y aplicada la versión difusa del algoritmo TOPSIS a la matriz de decisión de alternativas y criterios, la relación de proximidad relativa a la solución ideal proporciona un ranking donde el orden de alternativas es el siguiente: 1^a.- Impacto cinético, 2^a.- Haz de iones, 3^a.- Tractor de gravedad mejorado y 4^a.- Ablación por láser.

Tras proporcionar estos resultados a las personas expertas en defensa planetaria que intervinieron en la cumplimentación de los cuestionarios, estas coincidían con la clasificación obtenida afirmando que, bajo las condiciones de un marco de tiempo de construcción limitado y la inexistencia de ensayos prácticos reales de dichas técnicas de deflexión, la técnica Impacto cinético es la que ofrece mayores garantías de éxito, siendo además la que se ha analizado con mayor detalle en los últimos años. Precisamente la misión DART probó su eficacia impactando contra el asteroide Dimorfos el 26 de septiembre de 2022, siendo capaz de variar la órbita del mismo alrededor de su asteroide compañero binario Didymos (**Rivkin y Cheng 2023**).

La segunda posición del Haz de iones en detrimento del Tractor de gravedad mejorado también fue apoyada por el grupo de asesoramiento. Argumentaron que, aunque ya se ha analizado la capacidad de la técnica EGT para lograr reducciones significativas en la duración de la deflexión en comparación con un tractor de gravedad tradicional (Mazanek et al., 2015), es necesario verificar la fuerza neta real sobre el asteroide a partir de la masa del EGT. De hecho, se necesita una gran cantidad de masa para realizar incluso pequeños cambios netos en la trayectoria.

Aunque la última posición de la técnica de Ablación por láser no sorprendió a las personas expertas por la falta de demostración de un sistema láser de alta potencia en el espacio lo suficientemente potente, la incertidumbre de su efecto sobre los parámetros de los asteroides y la disponibilidad de esa tecnología, destacaron aún así que la técnica LA tiene algunas ventajas significativas: sin interacción directa con la superficie, eficaz contra varias composiciones de objetivos y escalable en potencia a través de múltiples sistemas láser. La postularon como una tecnología prometedora para una futura capacidad de defensa planetaria, en el caso incluso de OPP de tamaños superiores a 300 metros.

Con este tercer caso de estudio se constata de nuevo la utilidad de este tipo de metodologías a la hora de tomar decisiones en defensa planetaria, combinándolas incluso con herramientas del ámbito de la inteligencia artificial como las técnicas de lógica difusa. Esta vez ha sido posible abordar un problema de decisión de gran interés para la humanidad, la evaluación de cuatro técnicas de desvío de asteroides, que puede servir como precedente para realizar análisis más exhaustivos con vistas a una mejor preparación y desarrollar sistemas paliativos de defensa planetaria.

4. CONCLUSIONES

Se ha iniciado este capítulo alertando sobre la gran amenaza y las graves consecuencias que podría acarrear para el planeta Tierra el impacto de un objeto procedente del exterior. Un impacto de esta naturaleza podría forzar a la humanidad a tomar deci-

siones cruciales con consecuencias de escala planetaria; ¿es un objeto potencialmente peligroso?, ¿qué técnica de desvío es la más eficaz? En caso de que vaya a colisionar, ¿podemos priorizar y/o predecir en qué zona va a impactar? En el peor de los casos, ¿cuáles serían los desplazamientos óptimos para efectuar la evacuación de la población?, ¿de qué manera se deberían abordar los movimientos migratorios?

Se ha demostrado a su vez cómo metodologías del ámbito de la teoría de la decisión, comúnmente denominadas de toma de decisión multi-criterio, permiten resolver este tipo de problemas de decisión proporcionando respuestas a dichos interrogantes. Metodologías como el enfoque AHP o las técnicas TOPSIS y RIM han permitido no sólo determinar los pesos o coeficiente de importancia de los parámetros que entran en juego (los criterios), sino también evaluar y/o priorizar las diferentes opciones (las alternativas) en el campo de la defensa planetaria.

Incluso se han dado los primeros pasos referentes a combinar estas metodologías ampliamente contrastadas con técnicas basadas en inteligencia artificial tales como la lógica difusa, permitiendo de este modo resolver problemas de decisión cuyos parámetros son difíciles de cuantificar y posibilitando la incorporación de criterios de naturaleza cualitativa.

Este es sólo el comienzo, demostrada su utilidad, es el momento de aprovechar al máximo el rendimiento que estos algoritmos y técnicas nos brindan. Aún hay mucho camino por recorrer y muchas decisiones que tomar, pero si queremos prepararnos ante el extraordinario desafío que supondrá la mitigación de un impacto cósmico, no queda más remedio que perseverar y continuar profundizando en las metodologías que más nos puedan ayudar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A'Hearn, M., et al. (2005). Deep Impact: Excavating Comet Tempel 1, *Science*, 310, 258-264.
- Almahdi, E.M., Zaidan, A.A., Zaidan, B.B., Alsalem, M.A., Albahri, Q.S. y Albahri, A.S. (2019). Mobile-based patient monitoring systems: A prioritisation framework using multi-criteria decision-making techniques. *Journal of Medical Systems*, 43, 219.
- Barucci, M.A. y Fulchignoni, M. (2005). The Near Earth Objects: possible impactors of the Earth. *Comptes Rendus Physique*, 6(3), 283-289.
- Bazzocchi, M. C., Sánchez-Lozano, J. M. y Hakima, H. (2021). Fuzzy multi-criteria decision making approach to prioritization of space debris for removal. *Advances in Space Research*, 67(3), 1155-1173.
- Bombardelli, C., Calero, E.J. y Gonzalo, J.L. (2019). Deflection of fictitious asteroid 2017 PDC: Ion beam vs. kinetic impactor. *Acta Astronautica*, 156, 301-307.
- Brans, J.P., Mareschal B. y Vincke Ph. (1984). PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. En: JP., Brans (Ed.), *Operational research* (pp. 477-490). Amsterdam: North-Holland.

- Cables, E., Lamata, M.T. y Verdegay, J.L. (2016). RIM-reference ideal method in multicriteria decision making. *Information Sciences*, 337-338, 1-10.
- Cables, E., Lamata, M.T. y Verdegay, J.L., (2018). FRIM-Fuzzy Reference Ideal Method in Multicriteria Decision Making. En M., Collan y J., Kacprzyk (Eds.), *Soft Computing Applications for Group Decision-Making and Consensus Modeling* (pp. 305-317). Springer International Publishing AG.
- Chapman, C.R. y Morrison, D. (1994). Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard. *Nature*, 367, 33-40.
- Cheng, A.F., Agrusa, H.F., Barbee, B.W. et al. (2023). Momentum transfer from the DART mission kinetic impact on asteroid Dimorphos. *Nature*, 616, 457-460.
- Chesley, S.R., Chodas, P.W., Milani, A., Valsecchi, G.B. y Yeomans, D.K. (2002). Quantifying the Risk Posed by Potential Earth Impacts. *Icarus* 159(2), 423-432.
- Chodas, P.W. y Baalke, R. (2017). Sentry Risk Table at the NASA Near Earth Object Program (Impact Risk). National Aeronautics and Space Administration. <https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/intro.html> (Acceso: 21 de febrero de 2021).
- Chodas, P.W. (2022a). Sentry: Earth Impact Monitoring. Near Earth Object Program (Impact Risk). National Aeronautics and Space Administration. <https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/details.html#des=2008%20UB7> (Acceso: 06 de junio de 2023).
- (2022b). Sentry: Earth Impact Monitoring. Near Earth Object Program (Impact Risk). National Aeronautics and Space Administration. <https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/details.html#des=2008%20EX5> (Acceso: 06 de junio de 2023).
- Daly, R.T., Ernst, C.M., Barnouin, O.S. et al. (2023). Successful kinetic impact into an asteroid for planetary defence. *Nature*, 616, 443-447.
- European Space Agency, (2021). Apophis impact ruled out for the first time. https://www.esa.int/Space_Safety/Planetary_Defence/Apophis_impact_ruled_out_for_the_first_time (Acceso: 26 de marzo de 2021).
- Frank, M.V. (1995). Choosing Among Safety Improvement Strategies: A Discussion with Example of Risk Assessment and Multi-criteria Decision Approaches for NASA. *Reliability Engineering and System Safety*, 49(3), 311-324.
- Hwang, C.L. y Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision methods and applications*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Keeney, R. y Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Values Tradeoffs*, Wiley, New York.
- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N. y Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 28(1), 516-571.
- Mazanek, D. D., Reeves, D. M., Hopkins, J. B., Wade, D. W., Tantardini, M. y Shen, H. (2015, April). Enhanced gravity tractor technique for planetary defense. In IAA Planetary Defense Conference (No. IAA-PDC-15-04-11).
- McInnes, C.R. (2007). Near earth object orbit modification using gravitational coupling. *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 30(3), 870-873.
- Mou, J. y Webster, I. (2021). 410777 (2009 FD) Very small Apollo-class Asteroid. <https://www.spacereference.org/asteroid/410777-2009-fd>.

- Opricovic, S. (1998). Multi-criteria optimization of civil engineering systems [PhD Thesis] Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- Perna, D., Barucci, M. A., y Fulchignoni, M. (2013). The near-Earth objects and their potential threat to our planet. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 21, 1-28.
- Rabinowitz, D., Helin E., Lawrence, K. y Pravdo, S. (2000). A reduced estimate of the number of kilometre-sized near-Earth asteroids. *Nature*, 403, 165-166.
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- Rivkin, A.S. y Cheng, A.F. (2023). Planetary defense with the Double Asteroid Redirection Test (DART) mission and prospects. *Nature Communications*, 14, 1003.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en presence de points de vue multiples (la method ELECTRE). *Revue informatique et recherche opérationnelle*, 8, 57-75.
- Rumpf, C.M., Mathias, D.L. Wheeler, L.F., Dotson, J.L., Barbee, B., Roa, J., Chodas, P. y Farnocchia, D. (2020). Deflection driven evolution of asteroid impact risk under large uncertainties. *Acta Astronautica*, 176, 276-286.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- (1996). *Decision making with dependence and feedback: the analytic network process*. Pittsburgh (PA, USA): RWS Publications.
- Sánchez-Lozano, J.M., Moya, A. y Rodríguez-Mozos, J.M. (2021). A fuzzy multi-criteria decision making approach for exo-planetary habitability. *Astronomy y Computing*, 36, 100471.
- Sánchez-Lozano, J.M. y Fernández-Martínez, M. (2016). Near-Earth object hazardous impact: A multi-criteria decision making approach. *Scientific Reports*, 1-10.
- Sánchez-Lozano, J.M., Fernández-Martínez, M., y Lamata, M.T. (2019). Near-Earth Asteroid impact dates: A Reference Ideal Method (RIM) approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 81, 157-168.
- Sánchez-Lozano, J.M., Fernández-Martínez, M., Saucedo-Fernández, A.A. y Trigo-Rodríguez, J.M. (2020). Evaluation of NEA deflection techniques, a fuzzy multicriteria decision making analysis for planetary defense. *Acta Astronautica*, 176, 383-397.
- Simó-Soler, E. y Peña-Asensio, E. (2022). From impact refugees to deterritorialized states: Foresighting extreme legal-policy cases in asteroid impact scenarios. *Acta Astronautica*, 192, 402-408.
- Simon, H.A. (1960). *The New Science of Management Decision*. New York: Harper and Brothers Publishers.
- Tavana, M. (2004). A subjective assessment of alternative mission architectures for the human exploration of Mars at NASA using multi-criteria decision making. *Computers y Operations Research*. 31(7), 1147-1164.
- Tavana, M. y Hatami-Marbini, A. (2011). A Group AHP-TOPSIS Framework for Human Spaceflight Mission Planning at NASA. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 13588-13603.
- Tavana, M., Khalili-Damghani, K. y Abtahi, A.R. (2013). A Hybrid Fuzzy Group Decision Support Framework for Advanced-Technology Prioritization at NASA. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 480-491.

- Thiry, N. y Vasile, M. (2017). Statistical multi-criteria evaluation of non-nuclear asteroid deflection methods. *Acta Astronautica*, 140, 293-307.
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making: A Comparative Study*. Dordrech. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Trigo-Rodríguez, J.M. (2022). *Asteroid Impact Risk. Impact Hazard from Asteroids and Comets*. Impact Studies series. Springer Cham.
- Ullah, R., Zhou, D.Q., Zhou, P., Sohail, M.A. y Husain, M. (2013). An approach for space launch vehicle conceptual design and multi-attribute evaluation. *Aerospace Science and Technology*, 25(1), 65-74.
- Vasile, M. y Maddock, C.A. (2012). Design of a formation of solar pumped lasers for asteroid deflection. *Advances in Space Research*, 50(7), 891-905.
- Von Neumann, J. y Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behaviour*. Princeton University Press.
- Ward, S.N. y Asphaug, E. (2003). Asteroid impact tsunami of 2880 March 16. *Geophysical Journal International*, 153(3), 6-10.
- Weisbin, C., Lincoln, W., Wilcox, B., Brophy, J., Chodas, P. y Muirhead, B. (2015). Comparative Analysis of Asteroid-Deflection Approaches. *IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, 1-16.
- Wissler, S., Rocca, J. y Kubitschek, D. (2005). Deep impact comet encounter: design, development, and operations of the big event at Tempel 1, First Annual Space Systems Engineering Conference, 1-20. Atlanta, GA <http://hdl.handle.net/2014/38642>.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L.A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning–I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.

CAPÍTULO 4. DEFENSA PLANETARIA Y OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA: DERECHO ESPACIAL EN VÍAS DE FORMACIÓN

ELISA CELIA GONZÁLEZ FERREIRO¹

Presidenta de la Asociación Española de Derecho Aeronáutico y Espacial

DOI: 10.14679/2276

Sumario: 1. DEFINICIÓN DE OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA (OCT). 1.1. Análisis científico. 1.2. Análisis jurídico. 2. DEFENSA PLANETARIA: PRINCIPIOS JURÍDICOS APLICABLES. 2.1. Provecho e interés de todos los países. Incumbencia de la Humanidad. 2.2. Cooperación Internacional: COPUOS, IAWN Y SMPAG. 2.3. No contaminación nociva del medioambiente terrestre ni espacial. 2.4. Prohibición de colocar armas nucleares y de destrucción en masa. 2.5. Conformidad con el Derecho Internacional. 2.6. Deber de informar. 3. CUESTIONES SOBRE LA RESPONSABILIDAD. 3.1. Responsabilidad internacional del Estado. 3.2. Responsabilidad por daños causados por objetos espaciales. 4. LEGISLACIONES ESPACIALES NACIONALES. 5. CONCLUSIONES.

1. DEFINICIÓN DE OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA (OCT)

El tratamiento de los Objetos Cercanos a la Tierra (OCT) o *Near Earth Orbit Objects* (NEOs) puede y debe hacerse desde dos perspectivas distintas y sin embargo complementarias, es decir, desde un punto de vista jurídico y desde un punto de vista científico, sin olvidarnos del político, que resultan necesarios para la comprensión del tema que nos ocupa. No obstante, analizaremos más profundamente los aspectos que hacen referencia al tratamiento de este tipo de objetos desde el punto de vista del Derecho Internacional Público del Espacio Ultraterrestre.

¹ Doctora en Derecho por la Universidad Complutense de Madrid. Presidenta de la Asociación Española de Derecho Aeronáutico y Espacial. Co-Presidenta de la Sección de Derecho Aeronáutico y Espacial del Ilustre Colegio de la Abogacía de Madrid. Directora del Observatorio Jurídico Aeroespacial AEDAE y UCM GIESA, Directora General del Lobby Lunar Latino AEDAE y UCM AEGORA. Directora y profesora del Módulo Espacial del Curso de Postgrado Especialista en Derecho Aeronáutico y Espacial AEDAE y ICADE. Como experta en Derecho Espacial (Doctrina y Regulación) cuenta con tres publicaciones, artículos en Revistas jurídicas especializadas y ponente habitual en Congresos y Jornadas.

1.1. Análisis científico

El CNEOS (*Center for Near Earth Object Studies* de la NASA) define a los OCT como cualquier cuerpo pequeño (cometa o asteroide) que se encuentra dentro de 1,3 unidades astronómicas del Sol, teniendo en cuenta que una unidad astronómica equivale a la distancia que hay de la Tierra al Sol, es decir, 150 millones de kilómetros. La Unión Astronómica Internacional (UAI o IAU por sus siglas en inglés) ha adoptado dos resoluciones relativas a las nuevas definiciones de «planeta», «planeta enano» y «pequeños cuerpos del sistema solar» independientemente de los satélites naturales o lunas. De este modo, la UAI ha establecido una clasificación de estos cuerpos «celestes». La Resolución 5 A, adoptada por una gran mayoría de votos, resuelve que los cuerpos de nuestro sistema solar, excepto los satélites, pueden ser definidos en virtud de las siguientes categorías:

Un «Planeta» es un cuerpo celeste que está en órbita alrededor del Sol, tiene una forma aproximadamente esférica como consecuencia de su gravedad y no le acompañan otros objetos similares en los alrededores de su órbita. Los ocho planetas son Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Un «Planeta enano» es un cuerpo celeste similar a un planeta, pero con la diferencia de que este no ha limpiado la vecindad de su órbita, es decir, la comparte con otros objetos. Ejemplo de planeta enano es Plutón.

«Pequeños cuerpos del sistema solar» son todos los demás cuerpos que orbitan alrededor del Sol y no son satélites naturales. Esta categoría incluye la mayor parte de los asteroides y cometas del sistema solar, la mayoría de los objetos tras-neptunianos, y otros cuerpos pequeños como los meteoroides que producen la mayoría de meteoros (estrellas fugaces) al impactar con la atmósfera².

La Resolución 6 A, adoptada por 237 votos a favor, 157 en contra y 30 abstenciones, resuelve que, como apunta **Perek (2006)**, Plutón es un planeta enano y es reconocido como un prototipo de una nueva categoría de objetos tras-neptunianos. Los «objetos tras-neptunianos» incluirían, en opinión de Leslie I. Tennen, a los planetas enanos y pequeños cuerpos de nuestro Sistema Solar cuyas órbitas, en parte, van más allá de la órbita de Neptuno.

De conformidad con las resoluciones de la UAI llegamos a la conclusión que los OCT serán en su gran mayoría «pequeños cuerpos del sistema solar» entre los que se encuentran fundamentalmente asteroides y cometas. Además, dentro de la categoría de OCT figuran los Objetos Potencialmente Peligrosos (OPP o PHOs, *Potentially Hazardous Objects*), es decir, aquellos que conllevan un riesgo potencial de impactar contra la Tierra ya que su órbita se acerca periódicamente a nuestro planeta hasta una distancia que se define como inferior a 7,5 millones de kilómetros.

² Agradezco a Eloy Peña Asensio la sugerencia de nombrar a los meteoros, dada la familiarización de la población con su frecuencia y ofreciéndose una idea del material que impacta contra la Tierra.

1.2. Análisis Jurídico

La terminología jurídica difiere bastante de la científica y, además, es recomendable ofrecer unos términos amplios, conceptualmente hablando, de tal modo que la ciencia física no entorpezca a la jurídica en supuestos de nuevos descubrimientos que obliguen a reclasificar, a veces exhaustivamente, a los objetos naturales o celestes.

La primera distinción que debe hacerse es la diferenciación jurídica entre objeto espacial y cuerpo celeste. El cuerpo celeste sería aquel elemento natural (no manufacturado por el ser humano), y que se mueve por el espacio exterior siguiendo las reglas de la mecánica celeste. *Contrario sensu* el objeto espacial supone todo elemento material creado por el ser humano y que tiene como finalidad la exploración, utilización y explotación del y desde el espacio ultraterrestre, bien sea manufacturado en la Tierra como en el espacio exterior (**González 2010**).

El *Corpus Iuris Spatialis*³ utiliza el término de «Cuerpos celestes» en el Tratado del Espacio de 1967 y en el Acuerdo sobre la Luna de 1979. La primera vez que se empleó fue en la Resolución 1721(XVI) A, de la Asamblea General de las Naciones Unidas (AGNU), en cuyo texto se disponía que «el derecho internacional, incluida la Carta de las Naciones Unidas, serían de aplicación al espacio ultraterrestre y a los cuerpos celestes, y que el espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes están abiertos a la exploración y utilización por todos los Estados de conformidad con el derecho internacional y no son objeto de apropiación nacional».

Asimismo, el Tratado del Espacio de 1967 continuó con la utilización de este término incorporándolo a la famosa y reiterada frase «el espacio ultraterrestre incluso la Luna y otros cuerpos celestes» que se ha ido repitiendo en otros textos jurídicos. En lo relativo al Acuerdo sobre la Luna, tampoco se alude a planetas, pequeños cuerpos celestes ni ninguna otra categoría científica (**Teben 2006**), es más, el título del Acuerdo de 1979 reza así «Acuerdo que debe regir las actividades de los Estados en la Luna y otros

³ El *Corpus Iuris Spatialis* está conformado por el Tratado del Espacio de 1967, o Tratado sobre los principios jurídicos que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, adoptado mediante Resolución 2222(XXI) de la Asamblea General, Anexo, aprobado el 19 de diciembre de 1966, abierto a la firma el 27 de enero de 1967 y que entró en vigor el 10 de octubre de 1967; el Acuerdo sobre el salvamento de 1968, o Acuerdo sobre el salvamento y devolución de astronautas y la restitución de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, adoptado mediante Resolución 2345 (XXII) de la Asamblea General, Anexo, aprobado el 19 de diciembre de 1967, abierto a la firma el 22 de abril de 1968 y que entró en vigor el 3 de diciembre de 1968; el Convenio sobre la responsabilidad de 1972, o Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales, adoptado mediante Resolución 2777 (XXVI) de la Asamblea General, Anexo, aprobado el 29 de noviembre de 1971, abierto a la firma el 29 de marzo de 1972 y que entró en vigor el 11 de septiembre de 1972; el Convenio sobre el registro de 1975, o Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, adoptado mediante Resolución 3235 de la Asamblea General, Anexo, aprobado el 12 de noviembre de 1974, abierto a la firma el 14 de enero de 1975 y que entró en vigor el 15 de septiembre de 1976 y el Acuerdo sobre la Luna de 1979, o Acuerdo que debe regir las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes, adoptado mediante Resolución 34/68 de la Asamblea General, Anexo, aprobado el 5 de diciembre de 1979, abierto a la firma el 18 de diciembre de 1979 y que entró en vigor el 11 de julio de 1984 (no ratificado por España).

cuerpos celestes», del mismo se deduce que la Luna es también considerada como un cuerpo celeste desde un punto de vista jurídico. Las únicas precisiones que el Acuerdo de 1979 hace son que dicho Acuerdo se aplicará a todos los cuerpos celestes del sistema solar (salvo la Tierra, por razones obvias) y que las referencias a la Luna incluirán las órbitas alrededor de la Luna u otras trayectorias dirigidas hacia ella o que la rodean, con lo que tampoco se da una definición de la Luna, ni la mención a que simplemente sea un satélite natural de la Tierra. Por tanto, el legislador se abstiene de cualquier definición o clasificación que, por otro lado, sería conveniente respecto de toda regulación jurídica que se lleve a cabo con relación a los OCT. **Von der Dunk (2008)** entiende que el concepto de «cuerpos celestes» se refiere a objetos naturales de naturaleza visible y tangible, más o menos sólidas, que atraviesan el espacio ultraterrestre. Los OCT de los que no se hace ninguna referencia expresa en el *Corpus Iuris Spatialis*, consideraremos entran dentro de la categoría jurídica de «otros cuerpos celestes», ya que científicamente se les cataloga como pequeños cuerpos del sistema solar (Resolución 5 de la UAI), por tanto, estimamos que ambas disciplinas son complementarias.

2. DEFENSA PLANETARIA: PRINCIPIOS JURÍDICOS APLICABLES

Los OCT, especialmente, los asteroides, restos del sistema solar primitivo, resultan de gran utilidad científica y técnica para el conocimiento del origen del sistema solar y la posibilidad de que en un futuro próximo sean utilizados como fuentes de recursos y materias primas. Sin embargo, los OCT plantean también un aspecto negativo, como es el posible impacto de uno de ellos contra la Tierra, pudiendo causar desastres, incluso a escala mundial. En este contexto es fundamental que la comunidad internacional establezca como prioridad una estrategia de defensa planetaria frente a una posible amenaza de colisión, pero también unas normas jurídicas aplicables a tal efecto.

Se entiende por defensa planetaria el conjunto de acciones destinadas a predecir y mitigar un potencial impacto cósmico⁴ y mitigación, en este contexto, «aquellas medidas destinadas a detectar y supervisar asteroides y cometas que pueden impactar la Tierra y predecir, prevenir y preparar para reducir y/o responder al daño que pueda causar dicha colisión» (**SMPAG 2020**).

El Tratado del Espacio de 1967, considerado como la Carta Magna del Espacio, contiene una serie de principios adoptados en virtud de la Declaración de los principios jurídicos que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre (**UNOOSA 2008**), que fue aprobada unánimemente por la AGNU, el 13 de diciembre de 1963. Estos principios son considerados como costumbre internacional, por tanto, de obligado cumplimiento por todos los Estados de la Comunidad Internacional, formen o no parte del Tratado de 1967.

A los efectos de encontrar qué principios jurídicos espaciales pueden ser aplicables a la defensa planetaria, destacamos los siguientes:

⁴ Impacto cósmico es aquel término utilizado en astronomía para referirse al impacto de un asteroide o cometa contra la Tierra.

2.1. Provecho e interés de todos los países. Incumbencia de la Humanidad

Es condición necesaria a la hora de analizar las disposiciones de un tratado, de conformidad con el artículo 31, párrafos 1 y 2 del Convenio de Viena sobre el Derecho de los Tratados (BOE 1980), observar detenidamente su preámbulo que, aun gozando de carácter general, ayuda a comprender mejor sus disposiciones, sus fuentes y sus pretensiones. De este modo, se enfatiza el carácter universal del Tratado del Espacio al mencionar expresamente a la humanidad como titular de las «grandes perspectivas» de la entrada del ser humano en el espacio y cómo se beneficiaría del «proceso de la exploración y utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos». En este sentido, observamos que la humanidad entera se erige como beneficiaria de las actividades de exploración y utilización del espacio ultraterrestre entendiéndolo, por tanto, que existe un deber de protección implícito hacia ella, un deber de defensa planetaria ante cualquier amenaza como el impacto de un OCT.

En esta misma línea, el artículo primero del Tratado del Espacio establece que la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluidos los cuerpos celestes, deben de llevarse a cabo en provecho e interés de todos los países, independientemente de su grado de desarrollo, y que incumben a toda la humanidad. La frase «incumben a toda la humanidad» se entiende como sinónimo de «Province» o «Apanage», no hace referencia a la apropiación o propiedad de la cosa, sino simplemente a la responsabilidad o competencia que ejerce la humanidad en cuanto a las actividades que se desarrollan en el espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes ya que éstos son considerados como *res communis* y no como patrimonio común de la humanidad. *Res communis* es una cosa que pertenece a un grupo de personas, puede ser usada por cada uno, pero nadie puede apropiarse de ellas individualmente, como por ejemplo la alta mar. Actualmente se está utilizando el concepto político, que no jurídico, de «espacio común global» o *Global Commons*.

2.2. Cooperación Internacional: COPUOS, IAWN Y SMPAG

La cooperación internacional en las actividades espaciales está patente tanto en las disposiciones del Tratado del Espacio como en los convenios internacionales suscritos al amparo de las Naciones Unidas que las desarrollan y complementan (Salvamento, Responsabilidad, Registro y Luna). Asimismo, otros convenios, tratados y acuerdos de naturaleza espacial se basan en el principio de cooperación, destacando el mayor Acuerdo Intergubernamental de cooperación habido hasta la fecha y que es el relativo a la estación espacial internacional (ISS por sus siglas en inglés).

La Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó en su Resolución 51/122, de 13 de diciembre de 1966, «La Declaración sobre la cooperación internacional en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre en beneficio e interés de todos los Estados, teniendo especialmente en cuenta las necesidades de los países en desarrollo» en la cual teniéndose presentes las disposiciones de la Carta de las Naciones Unidas y las recomendaciones de las Conferencias de las Naciones Unidas sobre la Exploración

y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, incide en la necesidad e importancia de continuar fortaleciendo la cooperación internacional sobre una base equitativa respetando, en su caso, los derechos de las partes interesadas. Podemos entender que el fortalecimiento de la cooperación internacional se pone de manifiesto a través de iniciativas y grupos de trabajo sobre la amenaza que plantean los OCT.

2.2.1. COPUOS

El 20 de diciembre de 1961, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó las Resoluciones 1721 A y B (XVI), mediante las cuales se estableció que era «preciso reforzar urgentemente la cooperación internacional». En este sentido se afirma que «las Naciones Unidas deben ser el elemento central de la cooperación internacional en materia de exploración y utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos», teniendo en cuenta que el espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes han de utilizarse en beneficio de la humanidad y de conformidad con el Derecho Internacional. Se solicita, además, que la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos de las Naciones Unidas (COPUOS, por sus siglas en inglés), informe a la Asamblea General de las disposiciones adoptadas para el ejercicio de sus funciones, y de cualquier hecho que, a su juicio, sea significativo.

Previamente, el 13 de diciembre de 1968, la Asamblea General de las Naciones Unidas, mediante Resolución 1348 (XIII), creó una Comisión especial sobre la utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos a fin de facilitar la exploración y explotación de este último en beneficio de la humanidad y el fortalecimiento de la cooperación internacional, especialmente en lo relativo al intercambio, difusión y coordinación de programas de investigación científica para el estudio del espacio ultraterrestre.

La Comisión *ad hoc* pasó a tener carácter permanente mediante Resolución 1472 (XIV), de 12 de diciembre de 1959, siendo sus principales cometidos revisar que la exploración y utilización del espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes se efectúe en beneficio de toda la humanidad, fomentar la cooperación internacional entre Estados y organizaciones internacionales, alentar la realización de programas de investigación espacial así como el estudio de los problemas jurídicos que puedan surgir de las actividades llevadas a cabo en el espacio. COPUOS está compuesta por dos subcomisiones, la Técnico-Científica y la Jurídica, es ésta última donde se ha creado el marco jurídico internacional que rige el ámbito ultraterrestre (**Moro 2011**).

A su vez, COPUOS cuenta con el apoyo de la Oficina para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (OOSA, por sus siglas en inglés) para implementar los aspectos técnicos, científicos, políticos y jurídicos relacionados con las actividades espaciales.

A estos fines, se han llevado a cabo una serie de Conferencias sobre la exploración y utilización pacífica del Espacio ultraterrestre, denominadas UNISPACE, con la intención de comprometer a Estados y organizaciones internacionales a reforzar la cooperación en la exploración y utilización pacífica del Espacio. La primera Conferencia UNISPACE se celebró del 14 al 27 de agosto de 1968, solicitando se intensificara la cooperación inter-

nacional, prestando especial atención a los beneficios que pudieran obtener los países en desarrollo (**United Nations 1968**). Respecto a UNISPACE II, que tuvo lugar del 9 al 21 de agosto de 1982, se centró en el fortalecimiento del compromiso de las Naciones Unidas de promover la cooperación internacional para que los países en desarrollo pudieran beneficiarse de la utilización de la tecnología espacial con fines pacíficos, así como la cuestión de prevenir de una carrera de armamentos en el Espacio (Informe 1982).

En UNISPACE III, celebrada también en Viena, del 19 al 30 de julio de 1999, se aprobó la Resolución 1: «El milenio espacial: La Declaración de Viena sobre el Espacio y el Desarrollo Humano» dejando constancia de la necesaria estrategia para abordar los retos futuros entre los que se encuentra el fomento del conocimiento científico del espacio mediante actividades de cooperación como el estudio de los OCT mejorando la coordinación a nivel mundial a fin de identificar y observar el seguimiento y predicción de la órbita de los citados objetos, siendo necesaria la elaboración de una estrategia común a nivel internacional.

La Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de COPUOS convino que las recomendaciones de UNISPACE III podían evaluarse y aplicarse a través de Equipos de Acción según el interés de los Estados respecto de las treinta y tres medidas contenidas en la Declaración de Viena. El resultado fue la constitución en 2001 del Equipo de Acción nº14 correspondiente a «Mejorar la coordinación internacional de las actividades relacionadas con los objetos cercanos a la Tierra» en relación con la investigación, detección, búsqueda, seguimiento y observación de los OCT, y otras actividades pertinentes, determinando las medidas que se deben adoptar en el plano nacional o mediante la cooperación internacional. Una vez detectado el OCT, se debe proceder a una valoración de riesgos para determinar las medidas paliativas a tomar, incluidas las de emergencia en el ámbito de la protección civil.

2.2.2. IAWN

La Red Internacional de Alerta de Asteroides (IAWN) y el Grupo Asesor de Planificación de Misiones Espaciales (SMPAG) se establecieron en 2014, como resultado de las Recomendaciones 2012-2013 del Equipo de Acción sobre Objetos Cercanos a la Tierra, con el fin de ofrecer una respuesta internacional coordinada a la posible amenaza de impacto, teniendo especialmente en cuenta a los países en desarrollo que cuentan con una capacidad limitada en el intercambio de información, descubrimiento, supervisión y caracterización física de los OPP. En este sentido, se hace hincapié en la necesidad de una respuesta eficaz ante emergencias y una gestión de desastres en caso de una amenaza de impacto.

2.2.3. SMPAG

En febrero de 2016, el SMPAG aprobó la constitución de un Grupo de Trabajo *ad hoc* sobre Asuntos Jurídicos (*SMPAG Ad-Hoc Working Group on Legal Issues*), que

está compuesto tanto por personas expertas en cuestiones legales como técnicas. El 21 de abril de 2021 se publicó, por la Comisión de Asuntos Científicos y Técnicos de COPUOS, el Resumen del Informe elaborado por el Grupo de Trabajo *ad hoc* sobre Asuntos Jurídicos del SMPAG, en el que se recoge el análisis de las posibles implicaciones jurídicas relativas a las diferentes actividades y opciones de la defensa planetaria. Las conclusiones tratan de varias cuestiones, entre ellas el deber de informar a otros Estados del descubrimiento de un potencial impacto de un OCT sobre la Tierra y, en el caso que esto suceda, si el Estado está obligado a tomar una acción de mitigación para proteger a sus nacionales y su territorio, pero no se encuentra obligación internacional que justifique tomar acciones cuando se prevea que el daño o catástrofe se produzca en otro Estado. Si la información proporcionada por un Estado sobre defensa planetaria es errónea, no será responsable cuando la información se haya facilitado de buena fe, o cuando esta se haya distorsionado o malinterpretado por los medios. Otro asunto de gran interés es el relativo a la responsabilidad de los Estados respecto de los daños que puedan causar los distintos métodos utilizados para la defensa planetaria, incluidos los que lleven a bordo fuentes de energía nuclear.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas puede autorizar o exigir a los Estados que actúen, aunque ello conlleve incumplir con aquellos tratados internacionales de los que sean parte.

2.3. No contaminación nociva del medioambiente terrestre ni espacial

El artículo IX del Tratado del Espacio, además de establecer el principio de cooperación y asistencia mutua entre los Estados que llevan a cabo actividades de exploración y utilización del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes, establece una obligación de prevención en la que los Estados deben tomar las medidas oportunas para evitar una contaminación nociva y cambios desfavorables en el medio ambiente terrestre y espacial, procediendo a consultas cuando se considere que una actividad espacial puede perjudicar a terceros.

El artículo IX hace referencia a la contaminación terrestre como consecuencia de las actividades de exploración. Sin embargo, a nuestro juicio, debería ampliarse también a aquellas actividades de utilización y explotación, ya que de este modo abarcaría todas las que pudieran llevarse a cabo en el espacio ultraterrestre, incluido el supuesto de si, como consecuencia de la destrucción intencionada de un asteroide, se produjera una contaminación causada por sus fragmentos en la superficie de la Tierra, así como la actividad de despegue de los cohetes en las bases de lanzamiento, que produce gases altamente contaminantes y es parte de la actividad espacial.

En este sentido, nos preguntamos si las estrategias de defensa planetaria (maniobras de destrucción o desviación/deflexión de un OPP) están estrechamente ligadas a la contaminación o cambios desfavorables en el medio espacial, ya sea en órbita alrededor de la Tierra o en un cuerpo celeste, en cuyo caso afectaría a la protección planetaria, así como su posible utilización y/o explotación.

En lo que atañe a la contaminación del medioambiente espacial, contamos con la política de protección planetaria del COSPAR, que se compone de un conjunto de recomendaciones, desarrolladas por un cuerpo internacional e independiente de personas altamente cualificadas y pertenecientes a la Comunidad Científica que, no siendo jurídicamente vinculantes, suponen una obligación de tipo moral y que indudablemente informan a las políticas de protección planetaria a nivel nacional. La política de COSPAR sobre protección planetaria más reciente data del 3 de junio de 2021, en la que se debe tener en cuenta tanto la preservación de formas de vida extraterrestre en el espacio y en los cuerpos celestes como el potencial peligro de cualquier materia extraterrestre que pueda llegar a la Tierra.

Por último, al llevar a cabo misiones de defensa planetaria deben de considerarse, aunque no sean jurídicamente vinculantes, las directrices internacionales relativas a la reducción de desechos espaciales y la sostenibilidad a largo plazo de las actividades espaciales, así como la gestión del tráfico espacial (Propuesta de Resolución por el Parlamento Europeo) y la utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre.

2.4. Prohibición de colocar armas nucleares y de destrucción en masa

El Tratado del Espacio dispone en su artículo IV la prohibición de colocar en órbita alrededor de la Tierra objetos portadores de armas nucleares o de destrucción en masa, de ubicar tales armas en el espacio ultraterrestre y emplazarlas en otra forma.

Este artículo habla de colocar y emplazar, pero no advierte sobre la posibilidad de un objeto/vehículo espacial con armamento en movimiento, es decir, que no esté «colocado» en un determinado sitio. Esto lleva a plantearnos si el acto de destrucción de un asteroide está o no permitido cuando se utilice un dispositivo nuclear. Sin embargo, el espíritu de la Ley parece indicar la prohibición total de armas nucleares o de destrucción en masa en el espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes.

A esto debemos añadir que, en virtud del Tratado de Moscú de 1963, queda prohibido cualquier tipo de explosión de pruebas con armas nucleares, o cualquier otra clase de explosión nuclear, en cualquier lugar sometido a la jurisdicción de un Estado Parte, en la atmósfera, más allá de sus límites, incluyendo el espacio ultraterrestre, además, los Estados Parte no deberán participar ni fomentar este tipo de explosiones. España se adhirió al citado Tratado por el que se prohíben los ensayos con armas nucleares en la atmósfera, el espacio ultraterrestre y debajo del agua, el 14 de agosto de 1963, ratificándolo el 17 de diciembre de 1964. El Tratado de Moscú viene complementado por el Tratado de no proliferación de armas nucleares de 1970, al que España se adhirió en 1987, mediante el cual los Estados que posean armas nucleares no las traspasarán a terceros ni permitirán que las controlen directa o indirectamente. Asimismo, aquellos Estados que no posean armas o dispositivos nucleares se comprometen a no recibirlos, controlarlos o fabricarlos.

Respecto al Proyecto de Tratado sobre la prevención y despliegue de armas en el espacio ultraterrestre, la amenaza o el uso de la fuerza contra objetos espaciales realizado por Rusia y China y presentado en 2008, no sería, en caso de aprobación, vinculante para los OCT ya que dicho proyecto de tratado prohíbe la utilización de cualquier arma en el espacio para destruir objetos espaciales que estén en órbita (**Freland 2008**), y los OCT no son objetos espaciales sino cuerpos celestes o pequeños cuerpos del sistema solar.

2.5. Conformidad con el Derecho Internacional

El artículo III del Tratado del Espacio dispone que los Estados en sus actividades de exploración y utilización del espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes deberán actuar de conformidad con el Derecho Internacional⁵ para el mantenimiento de la paz y seguridad internacionales. El Derecho Internacional incluye las disposiciones de la Carta de las Naciones Unidas, pero curiosamente, este artículo cita expresamente a la Carta, lo que nos lleva a considerar el artículo 51, donde se establece que «ninguna disposición de esta Carta menoscabará el derecho inmanente de legítima defensa, individual o colectiva, en caso de ataque armado contra un Miembro de las Naciones Unidas...», ataque que pudiera provenir desde el espacio, hacia el espacio o en el espacio, teniendo, además, en cuenta la posibilidad de una legítima defensa preventiva.

Esta cuestión nos lleva a considerar si, ante una alta probabilidad de impacto de un OPP contra la Tierra, podríamos utilizar armas o dispositivos nucleares en beneficio de la humanidad. La respuesta podemos encontrarla en la facultad de la que dispone el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas (CSNU). En virtud del artículo 25 de la Carta de las Naciones Unidas «los Miembros de las Naciones Unidas convienen en aceptar y cumplir las decisiones del Consejo de Seguridad», teniendo en cuenta que el artículo 103 establece la prioridad de las disposiciones de la Carta frente a las obligaciones que un Estado pueda haber contraído en virtud de otro Convenio Internacional. El Consejo de Seguridad es el garante del mantenimiento de la seguridad internacional (artículo 39) y, por ello, está facultado para tomar medidas urgentes (artículo 24.1) a fin de mantener o restablecer la seguridad internacional, por ejemplo, frente a un eventual impacto de un asteroide que pudiera causar graves daños a personas y bienes en la Tierra. En este sentido creemos que el Consejo de Seguridad tendría las mismas facultades en el supuesto que un asteroide pudiera causar graves daños en el espacio ultraterrestre (estaciones espaciales y satélites) o en un cuerpo celeste, especialmente si éste está habitado por colonias humanas.

No obstante, como señalan **Simó-Soler** y **Peña-Asensio (2022)** las medidas que deberán tomarse para evitar la colisión pueden plantear dilemas en cuanto a la priorización de las zonas de impacto, por otro lado, los Estados que gozan de una mayor capacidad tecnológica precisamente tienen derecho a veto en el CSNU:

⁵ El Derecho Espacial prevalecerá sobre el Derecho Internacional general, *lex specialis derogat legi generali*, lo que no impide que éste último se aplique para cubrir lagunas jurídicas existentes (**Breccia 2016**).

«Esto se traduce en una excesiva concentración de poder, que requiere encontrar herramientas para democratizar el oligopolio de la defensa planetaria. Esto se complicaría aún más cuando el derecho inherente de autodefensa individual o colectiva podría verse afectado si un Estado no tiene la capacidad tecnológica para preparar la desviación. En caso de veto, el Estado amenazante podría activar el Artículo 51 de la Carta de las Naciones Unidas, o explicar la acción como necesaria eludiendo el veto y aun así ser legal. Hay dos situaciones hipotéticas que vale la pena considerar.

En primer lugar, el derecho de veto podría entenderse como el derecho de autodefensa individual si la estrategia de deflexión afecta potencialmente a uno de los cinco miembros permanentes del CSNU. En segundo lugar, las discrepancias en la evaluación de peligros podrían conducir a posiciones divergentes sobre si una acción de defensa planetaria está justificada o no, considerando algunos miembros cuando las consecuencias del impacto son asumibles (más bajo en costo que la deflexión, pero ¿qué pasa con la subjetividad del valor sociocultural?) o que la estimación del impacto de probabilidad no requiere misiones de mitigación (¿dónde está el umbral?).

Además, en estos enfoques, también entran en juego intereses geopolíticos espurios. Como argumenta Schmidt, «podemos decir que todas las personas tienden a querer salvar el mundo, pero la cuestión es cuánto abarca el mundo que querían salvar. Salvar a la humanidad podría utilizarse como una palanca para objetivos políticos internos». Una afirmación a la que sigue el duro reconocimiento de que «no hay ninguna razón por la que debamos suponer que el modus operandi cambiaría en defensa planetaria».

2.6. Deber de informar

En virtud del Artículo XI del Tratado del Espacio, los Estados deberán informar, dentro de lo viable y factible, sobre las actividades espaciales que lleven a cabo y sus resultados. Por tanto, si como consecuencia de ello advierten un peligro para la seguridad de personas y bienes, deberán comunicarlo al menos al Secretario General de las Naciones Unidas y a la Comunidad Científica Internacional, mientras que al público en general habría que valorarlo para no crear una alarma innecesaria a la población⁶. El Artículo XI viene complementado por el artículo IX del Tratado de 1967 en el que se dispone que los Estados deben guiarse por el principio de cooperación y asistencia mutua, teniendo especialmente en cuenta los intereses de los demás Estados.

El deber de informar se recoge también en el artículo V del citado Tratado, con mayor contundencia que en el artículo IX, cuando establece que los «Estados tendrán que informar inmediatamente a los demás Estados Partes en el Tratado o al Secretario General de las Naciones Unidas sobre los fenómenos por ellos observados en el espacio

⁶ Sobre esta cuestión, consultar los capítulos de Nadjeđa Vicente y José Ignacio Robles en los que se aborda la problemática desde las disciplinas de la comunicación y la psicología.

ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, que podrían constituir un peligro para la vida o salud de los astronautas».

3. CUESTIONES SOBRE LA RESPONSABILIDAD

La preocupación sobre la responsabilidad por daños causados por objetos espaciales se remonta a 1959, cuando el Comité *ad hoc* sobre la Utilización Pacífica del Espacio Ultraterrestre destacó en su informe a la Asamblea General de las Naciones Unidas que se trataba de un asunto prioritario. Tras varias deliberaciones y propuestas (**Gutiérrez Espada 1972**) se aprobó la Resolución 1.962 (XVIII), de 13 de diciembre de 1963 que incluía la «Declaración sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre» cuyos principios quinto y octavo hacían referencia a la responsabilidad y que, con posterioridad, fueron prácticamente replicados en los artículos VI y VII del Tratado del Espacio, permitiendo asegurar que los Estados asuman una doble responsabilidad. Por un lado, sobre sus actividades espaciales nacionales-incluyendo las actividades privadas- y, por otro, sobre los daños que puedan causar a otros Estados o sus nacionales, provocados por objetos/vehículos espaciales. No debemos olvidar que las actividades espaciales *per se* son consideradas internacionalmente como ultrapeligrosas, motivo por el cual «La responsabilidad internacional entre Estados es ilimitada en el tiempo, la cuantía y la localización» (**Kerrest y Smith 2009, 2021**).

3.1. Responsabilidad internacional del Estado

El artículo VI del Tratado del Espacio establece el principio de responsabilidad internacional de los Estados frente a las actividades nacionales que lleven a cabo en el espacio ultraterrestre sus organismos gubernamentales o entidades no gubernamentales «debiendo ser autorizadas y fiscalizadas constantemente». Cuando se trate de una organización internacional, la responsabilidad internacional recaerá sobre dicha organización y los Estados Partes que pertenezcan a ella. Este tipo de Responsabilidad es lo que en terminología anglosajona se conoce como «Responsability».

El deber de autorización y fiscalización se traduce en licencias que el Estado otorgará para asegurarse que las entidades no gubernamentales lleven a cabo sus actividades de forma segura y, además, tengan la solvencia necesaria para hacer frente a las indemnizaciones que pudieran derivarse de un daño causado a otro Estado o sus nacionales. En este sentido, se ve necesario que los Estados regulen internamente los requisitos de concesión de licencias o autorizaciones a los operadores privados, bien fijándose en sus legislaciones espaciales nacionales o por otros medios (**Gerhard 2009, 2021**).

Teniendo en cuenta la naturaleza ultrapeligrosa de las actividades espaciales, el Estado de lanzamiento siempre será el responsable último⁷ de los daños causados a

⁷ La responsabilidad internacional del Estado implica que en caso de que la entidad no gubernamental no pueda hacer efectivo el pago de la indemnización por el daño causado por el objeto

otro Estado o sus nacionales, asumiendo que las actividades espaciales competen a la seguridad nacional de cada Estado.

Sin embargo, podemos considerar que los Estados, en su deber de velar por la seguridad de sus nacionales, bienes y territorios, tienen la responsabilidad/obligación «moral» de tomar todas las medidas oportunas para evitar, en lo viable o factible, el impacto de un asteroide, en cuyo caso habrá que valorar si es aplicable la responsabilidad por daños causada por objetos espaciales al caso concreto.

3.2. Responsabilidad por daños causados por objetos espaciales

El Artículo VII del Tratado del Espacio establece el principio de responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales del Estado de lanzamiento frente a personas y bienes de otro Estado, lo que se conoce en terminología anglosajona como «Liability».

El Estado de lanzamiento es el que lanza un objeto espacial, el que lo promueve o el que, desde cuyo territorio o instalaciones, lanza un objeto espacial. Por tanto, puede haber varios Estados de lanzamiento. El Estado de lanzamiento será responsable internacionalmente por los daños causados a otro Estado parte en el Tratado, o a sus personas naturales o jurídicas, por dicho objeto o sus partes componentes. El daño puede producirse en la Tierra, en el espacio aéreo o en el espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes. Este artículo viene desarrollado por el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972.

El Convenio entiende por «daño» la pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales u otros perjuicios a la salud y la pérdida de bienes o perjuicios causados a bienes de Estados, personas físicas o jurídicas y por «objeto espacial» únicamente se indica que incluye las partes componentes de un objeto espacial, así como el vehículo propulsor y sus partes.

El Convenio de 1972 distingue entre responsabilidad absoluta y responsabilidad por culpa. Se aplicará la responsabilidad absoluta cuando los daños sean causados por un objeto/vehículo espacial en la superficie de la Tierra o a las aeronaves en vuelo, salvo que exista negligencia grave o dolo (intención de causar el daño) por parte del Estado demandante o las personas físicas y jurídicas a quien represente.

La responsabilidad por culpa se aplicará respecto de los daños causados en el espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes. Es necesario probar que el Estado de lanzamiento sea responsable de los daños causados a otro objeto espacial, personas y bienes a bordo. Frente a este tipo de responsabilidad cabe una excepción, y es que en la praxis se suelen establecer cláusulas sobre renuncia mutua en materia de responsabilidad por daños (*cross waiver of liability*), por ejemplo, en el Acuerdo de 1998 sobre la

espacial, será el Estado quien deba hacer frente a la indemnización para posteriormente repetir contra la citada entidad. Algunos Estados, en sus legislaciones espaciales nacionales, prevén un límite para la suma indemnizatoria que debería satisfacer la entidad no gubernamental, cubriendo el propio Estado la diferencia del montante.

Estación Espacial Internacional en lo relativo a las «operaciones espaciales protegidas» entre los asociados.

Cuando dos o más Estados lanzan conjuntamente un objeto espacial y este cause daños a un tercer Estado (bienes o personas), la responsabilidad será mancomunada, es decir, que el peso de la obligación se divide a partes iguales. Respecto a responsabilidad solidaria, significa que el perjudicado puede dirigirse contra cualquier deudor. La carga de la indemnización se asignará según el grado de culpa respectiva y, si no es posible, esta se repartirá a partes iguales.

El Estado afectado puede reclamar la indemnización por daños a todos los Estados del lanzamiento conjunto o solamente a uno de ellos. El Estado de lanzamiento que haya pagado la indemnización por daños tendrá derecho a repetir contra los demás Estados en el lanzamiento conjunto. Existe la posibilidad de acuerdos entre los Estados del lanzamiento conjunto sobre la distribución de la carga financiera en caso de posible indemnización.

El Convenio sobre la Responsabilidad no se aplicará a los daños causados por un objeto espacial del Estado de lanzamiento a los nacionales de dicho Estado de lanzamiento (legislación interna), a los nacionales de un país extranjero mientras participen en las operaciones del lanzamiento del objeto espacial, fases posteriores hasta su descenso y mientras se encuentren en las proximidades inmediatas de la zona prevista para el lanzamiento o recuperación del objeto espacial, como resultado de una invitación del Estado de lanzamiento.

La indemnización se determinará conforme al derecho internacional y los principios de justicia y equidad; su finalidad es la de reparar en la condición que hubiera existido antes de producirse los daños. El pago de la indemnización se realizará en la moneda del Estado demandante, o, si este lo solicita, en la moneda del Estado que deba satisfacer la indemnización. Pueden existir otras formas de indemnización previo acuerdo entre la parte demandante y la demandada.

Respecto a las organizaciones internacionales intergubernamentales, si una de estas organizaciones es responsable de daños en virtud del Convenio sobre la Responsabilidad, ella misma y sus Estados miembros serán mancomunada y solidariamente responsables. Sin embargo, la demanda de indemnización ha de presentarse, en primer lugar, contra la organización, y únicamente si esta no hace efectivo el pago en el plazo de seis meses, el Estado demandante podrá invocar la responsabilidad de los Estados miembros de esa organización. La demanda de indemnización por daños causados a una organización internacional será presentada por un Estado Parte de esta organización que también sea parte en el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972.

El artículo XXI del Convenio sobre la Responsabilidad trata de la asistencia en caso de daños a gran escala, lo que afecta directamente a la seguridad del Estado afectado y de sus nacionales. En el supuesto que un Estado de lanzamiento «ponga en peligro vidas humanas o comprometa seriamente las condiciones de vida de la población o el funcionamiento de los centros vitales», aquel deberá proporcionar asistencia al

Estado afectado, previa solicitud de este último, salvo que menoscabe los derechos y obligaciones de los Estados Partes en el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972.

En el caso que nos ocupa, los OCT no son objetos espaciales, sino que entran en la categoría de cuerpos celestes, por tanto y, en caso de que impacten contra la Tierra, sin mediar acción alguna por parte del ser humano, a nadie podrá imputársele responsabilidad sobre este hecho de la naturaleza que es considerado como fuerza mayor.

Sin embargo, si como consecuencia de un acto de desviación o intento de destrucción de un OCT por parte de uno o varios Estados de la Comunidad Internacional para evitar el fatal desenlace, aun así, se produjesen daños a personas y/o bienes sobre la superficie de nuestro planeta o a aeronaves en vuelo, se plantearía la cuestión de la responsabilidad por daños, ya que, por un lado, mediante la actuación de un objeto espacial contra un objeto celeste, el Estado de lanzamiento sería responsable de los daños causados, pero por otro lado, hay que tomar medidas eficaces contra el posible impacto de un OCT.

Si bien es cierto que, aunque el Estado de lanzamiento o sus entidades hayan actuado de buena fe y con todos los medios disponibles a su alcance para evitar el impacto o disminuir la gravedad de los daños que pudieran ocasionarse, los afectados tienen derecho a reparación, lo que indudablemente conlleva una desventaja pues el Estado/s de lanzamiento tendría que satisfacer una indemnización sumamente elevada. Otra cuestión muy distinta sería si se probara negligencia en su comportamiento, entonces sí que le correspondería hacer frente a la responsabilidad absoluta (daños en la superficie de la Tierra o aeronaves en vuelo) o por culpa (daños en el espacio ultraterrestre, por ejemplo, a satélites en órbita). Recordemos que, si el Estado de lanzamiento o sus entidades causaran daños a personas y bienes de su nacionalidad, mediando negligencia, no se aplicaría el Convenio sobre la responsabilidad de 1972, sino que se regiría por la legislación interna de cada Estado.

La cuestión que fundamentalmente se plantea es encontrar la fórmula idónea mediante la cual un Estado que haya llevado a cabo una misión de defensa planetaria de buena fe, quede exonerado de la responsabilidad por daños, pero, a su vez, los afectados⁸ puedan obtener algún tipo de resarcimiento.

En este sentido, cabría distinguir dos supuestos: si el daño se hubiera producido de igual modo, es decir, que el resultado fuera el mismo, o parecido, haya habido o no una misión de defensa planetaria. Y, en el segundo supuesto, si la misión ha contribuido a ocasionar el daño o a aumentar notablemente los resultados adversos, por ejemplo, que haya alterado la trayectoria del asteroide, en cuyo caso habría de valorarse la buena fe o bien una situación de emergencia o extrema necesidad ante un impacto inminente.

Sería idónea la elaboración de un Convenio internacional en materia de Defensa Planetaria. Sin embargo, los Convenios Internacionales llevan mucho tiempo hasta su aprobación y adhesión por los Estados, y en supuesto de emergencia, podemos

⁸ Quedan incluidos bienes de terceros Estados o de sus entidades gubernamentales.

considerar que el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas sería el órgano idóneo para legitimar una acción de defensa planetaria.

Otra alternativa que podría contemplarse son las exenciones *ad hoc* de responsabilidad por parte de los Estados que no son Estados de lanzamiento, pero que puedan beneficiarse de dicha misión o verse afectados por ella. De este modo, podrían ser exonerados de responsabilidad a cambio de emprender una misión de defensa planetaria a expensas propias y por el beneficio de otros («socorro a cambio de acción»).

Respecto al resarcimiento a las víctimas, sería deseable que la Comunidad Internacional contara con unos fondos destinados a situaciones de catástrofe, no obstante, los propios Estados deberán afrontar esta situación conforme a los recursos internos de los que dispongan sobre todo en el supuesto que no haya mediado negligencia en la misión de defensa planetaria llevada a cabo por un tercero.

4. LEGISLACIONES ESPACIALES NACIONALES

La gran mayoría de las legislaciones espaciales nacionales existentes no hacen referencia expresa a la protección frente al posible impacto de OCT. Observamos que se van incluyendo aspectos que están relacionados como la mitigación de desechos espaciales, la sostenibilidad medioambiental, la no utilización de armas nucleares, la protección planetaria, el respeto a las normas de derecho internacional e incluso la importancia de velar por la seguridad y defensa de cada Estado, sin embargo, apenas se contempla la cuestión de la defensa planetaria como tal.

El título 51 del Código Federal de los Estados Unidos «National and Commercial Space Programs» destina su capítulo 711 a los objetos cercanos a la Tierra (cometas y asteroides), recomendando que se proteja a los Estados Unidos de aquellos OCT y de los que se sospeche puedan impactar contra la Tierra, así como llevar a cabo una campaña de desviación cuando sea necesario y previa consulta con organismos internacionales.

Con independencia de que a nivel internacional se vaya avanzando hacia un régimen *ad hoc*, las legislaciones espaciales nacionales deberían reflejar al menos el compromiso de cada Estado en proteger a sus nacionales frente a un eventual impacto de un OCT, así como tomar todas las medidas necesarias que estén a su alcance bien para colaborar en evitar dicha colisión, bien para llevar a cabo una evacuación de emergencia, en su caso, o bien, una vez ocurrido el daño, prestar la ayuda necesaria a los afectados, de conformidad con la normativa nacional y compromisos internacionales del Estado en cuestión.

En lo que concierne a España, aún no contamos con una Ley Espacial Nacional, aunque previsiblemente no tardará en aprobarse, siendo muy necesaria ya que regulará el otorgamiento de licencias a los operadores privados, incluidos los de infraestructuras (puertos espaciales) lo que supondrá un beneficio económico y social para nuestras empresas y ciudadanía en general. La Ley se regirá por los Convenios y Acuerdos multilaterales en materia espacial de los que España es parte, por la legislación nacional que sea de aplicación con carácter subsidiario y se tendrán en cuenta aquellas directrices

internacionales relativas a las actividades espaciales, destacando la sostenibilidad y gestión del tráfico espacial y, previsiblemente, la protección y defensa planetarias.

Hemos de tener en cuenta que las actividades espaciales son un asunto que afecta directamente a la seguridad y defensa nacional. En este sentido es importante señalar que, el 26 de abril de 2019, se publicó en España la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional (ESAN), previamente aprobada por el Consejo de Seguridad Nacional, con el fin de desarrollar las previsiones de la Estrategia de Seguridad Nacional de 2017 en el ámbito de la seguridad del espacio aéreo y del espacio ultraterrestre. La ESAN de 2019 hace hincapié en que el Estado español debe cumplir con la legislación nacional e internacional conectada con las actividades espaciales, considerando de interés nacional las capacidades de la industria espacial, el medioambiente aeroespacial y la seguridad de las personas y, como amenazas, destacamos, los riesgos que implica tanto la generación de desechos espaciales como «la entrada en la atmósfera terrestre de asteroides y cometas».

En diciembre de 2021 se aprobó la nueva Estrategia de Seguridad Nacional que, alineada con los objetivos de las Naciones Unidas, la Unión Europea y la OTAN, destaca que el sector espacial es clave para la Seguridad Nacional por los servicios que proporciona. Por ello, se considera necesaria una regulación que proteja la seguridad de los sistemas espaciales, frente al incremento de los desechos espaciales, y el establecimiento de un adecuado sistema de gestión del tráfico espacial global. Además, se contempla que ante amenazas más allá de los marcos ordinarios de respuesta (como pueda ser la posibilidad de impacto de un asteroide), se establezca un marco compartido y orientado a prevenir los riesgos y amenazas, neutralizarlos y, en su caso, asegurar el intercambio de información permanente y en tiempo real entre el Sistema Nacional de Protección Civil y el Sistema de Seguridad Nacional en caso de catástrofe. Además, la creación de la Agencia Espacial Española, con sus Estatutos aprobados el 8 de marzo de 2023, con un componente dedicado a la Seguridad Nacional, dirigirá y coordinará de forma eficiente los distintos organismos nacionales con responsabilidades en el sector espacial y unificará la colaboración y coordinación internacional (**González 2023**).

El Consejo de Seguridad Nacional aprobó, el 11 de octubre de 2022, el Protocolo de Alertas Espaciales que tiene como objetivo establecer mecanismos de coordinación y cooperación, así como canales de comunicación ágiles para garantizar el funcionamiento integrado del Sistema de Seguridad Nacional y la difusión oportuna de la información de seguridad espacial entre los diferentes organismos con competencias en la seguridad aeroespacial, sin perjuicio de las funciones que correspondan al Comité de Situación en materia de Gestión de Crisis.

El Protocolo, a través del establecimiento de fases de actuación⁹, se limita a la información de alertas espaciales en casos de reentradas incontroladas en la atmósfera,

⁹ En función del índice de riesgo determinado por el EU SST y el análisis de las diferentes fuentes de información disponibles, se han establecido las siguientes fases de actuación: «Fase 0. Difusión de la información de seguridad espacial: situación de normalidad, en la que el índice de riesgo de los objetos con reentrada prevista es MENOR o desconocida. Fase 1. Situación de Prealerta: España continúe estando, de forma más acotada, entre las zonas probables de afectación de reentrada y los índices de riesgo de los

como, por ejemplo, la reentrada de la parte central (CZ 5B) del cohete chino (Long March 5 B) en la atmósfera y sobrevolando la península Ibérica, el 4 de noviembre de 2022, motivo por el cual se estableció el «Rate cero»¹⁰ para determinadas zonas del espacio aéreo español. Sin embargo, el Protocolo prevé que dichas alertas puedan ser aplicables a otras amenazas espaciales que afecten a la Seguridad Nacional, pensemos en el riesgo de impacto de un OCT.

5. CONCLUSIONES

Primera: Los OCT, como los asteroides, entran en la categoría de cuerpos celestes, por tanto, no son susceptibles de apropiación, lo que no impide la explotación de sus recursos.

Segunda: La humanidad entera se erige como beneficiaria de las actividades de exploración y utilización del espacio ultraterrestre entendiendo, por tanto, que existe un deber de protección implícito hacia ella, un deber de defensa planetaria ante cualquier amenaza como el impacto de un OCT.

Tercera: La comunidad internacional es consciente del peligro que implica para la humanidad una catástrofe de incalculables dimensiones fruto de un impacto cósmico, por ello, se han tomado iniciativas a nivel internacional para ofrecer una pauta homogénea de comportamiento en la que los Estados, de conformidad con el Derecho Internacional y las directrices internacionales conexas en materia espacial, convengan en una acción de defensa planetaria, aportando, en su caso, todos los medios de que dispongan y de conformidad con sus respectivas legislaciones nacionales.

Cuarta: La problemática que se plantea es encontrar la fórmula idónea mediante la cual un Estado que haya llevado a cabo una misión de defensa planetaria de buena fe, y exenta de negligencia, quede exonerado de la responsabilidad por daños, pero, a su vez, los afectados puedan obtener asistencia o compensación. En este sentido consideramos apropiada la elaboración de un Convenio Internacional sobre Defensa Planetaria y/o, en su caso, exenciones *ad hoc* de responsabilidad por daños entre Estados.

Quinta: Con independencia de un Convenio Internacional en la materia, es sumamente recomendable que cada Estado incorpore en sus respectivas legislaciones espaciales el compromiso de proteger a sus nacionales frente a un eventual impacto de un objeto cercano a la Tierra, así como tomar todas las medidas necesarias que estén a su alcance bien para colaborar en evitar dicha colisión, bien para llevar a cabo una evacuación de emergencia, en su caso, o bien, una vez ocurrido el daño, prestar la ayuda necesaria a las personas afectadas, de conformidad con la normativa nacional y compromisos internacionales del Estado en cuestión.

objetos con reentrada prevista sea MEDIO o ALTO. Fase 2. Situación de Alerta: certeza razonable que restos clasificados con nivel de riesgo MEDIO o ALTO atravesarán áreas de soberanía o de jurisdicción españolas».

¹⁰ El «Rate cero» es el protocolo de actuación para detectar una amenaza de cualquier elemento que suponga un peligro para el tráfico aéreo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Breccia, P. (2016). Article III of the Outer Space Treaty and its Relevance in the International Space Legal Framework. *Proceedings IISL*, 17-35.
- Freeland, S. (2008). The 2008 Russia/China Proposal for a Treaty to Ban Weapons in Space: A missed opportunity or an opening Gambit. *Proceedings CLOS, IAC-08-E8.3.12*, 261 y ss.
- Johnson, L. (2009). Near Earth Object Observations Program. *1st IAA Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids*, Granada (España).
- García Luengo, I. (2022). Las armas espaciales en la militarización del espacio. *Revista Española de Derecho Aeronáutico y Espacial*, 2 (septiembre), 373-383.
- Gerhard, M. (2009/2021). Artículo VI, *Comentario de Colonia al Derecho del Espacio. Tratado del Espacio*. Versión original CoCoSL 2009, Traducida en 2021, Moro y Popova (Editores Asistentes), 183-223.
- González Ferreiro, E.C. (2023). Statute of the Spanish Space Agency. *Boletín del Observatorio Jurídico Aeroespacial N.º 10 (marzo)*, 13-32.
- González Ferreiro, E.C. (2022). ¿Podemos demandar a China por daños y perjuicios con ocasión del sobrevuelo de la parte central del cohete chino Long March 5 B sobre España?, *Boletín del Observatorio Jurídico Aeroespacial N.º 9 (diciembre)*, 12-17.
- González Ferreiro, E.C. (2021). La regulación de las actividades espaciales como estrategia de seguridad y crecimiento nacional. *Instituto Español de Estudios Estratégicos, Colección Cuadernos de Estrategia*, 208, 245 y ss.
- González Ferreiro, E.C. (2013). *Código Espacial: textos legislativos y complementarios*, 143-145.
- González Ferreiro, E.C. (2010). La problemática de la amenaza de los asteroides sobre la Tierra. *Cincuentenario de las Primeras Jornadas Hispanoamericanas de Derecho Aeronáutico (Salamanca 1960-2010)*, IIDAEAC.
- González Ferreiro, E.C. (2007). *La Estación Espacial Internacional: Régimen Jurídico* [Tesis Doctoral]. UCM - IIDAEAC.
- González Ferreiro, E.C. y Moro Aguilar, R. (2011). *Curso General sobre Derecho Espacial*. IIDAEAC, 36 y ss.
- Gutiérrez Espada, C. (1979). *La responsabilidad internacional por daños en el derecho del espacio* [Tesis Doctoral]. Universidad de Murcia.
- Harillo Gómez-Pastrana, R. (2022). Algunas consideraciones legales a tener en cuenta en los nuevos desarrollos de legislación espacial nacional. *Boletín del Observatorio Jurídico Aeroespacial N.º 8 (octubre)*, 14-19.
- Hernández García, S. (2022). Desmilitarización del espacio ultraterrestre. Las Naciones Unidas y la creación del grupo de trabajo de composición abierta sobre la reducción de las amenazas espaciales. *Revista Española de Derecho Aeronáutico y Espacial*, 2 (septiembre), 385-397.
- Kerrest, A. y Smith, L.J. (2009;2021). Artículo VII, *Comentario de Colonia al Derecho del Espacio. Tratado del Espacio*. Versión original CoCoSL 2009, Traducida en 2021, Moro y Popova (Editores Asistentes), 225-260.

- Perek, L. (2006). The IAU Resolutions on Planet Definition. *Proceedings CLOS, IAC-06-LBN 05*, 524- 525.
- Sánchez Mayorga, J.L. (2022). El espacio ante el actual contexto estratégico. *Revista Española de Derecho Aeronáutico y Espacial*, 2 (septiembre), 355-371.
- Simó-Soler, E. y Peña-Asensio, E. (2022). From impact refugees to deterritorialized states: Foresighting extreme legal-policy cases in asteroid impact scenarios. *Astronautica*, 192, 402-408.
- Teben, L.I. (2006). Legal Implications of the IAU Resolutions on Planet Definition: Some Preliminary Observations. *Proceedings 49th CLOS IISL*, 527.
- Von der Dunk, F.G. (2008). Defining Subject Matter under Space Law: Near Earth Objects Versus Space Objects. *Proceedings CLOS, IAC-08.E8.4.3*, 295.

INFORMES

- COSPAR Policy on Planetary Protection. Prepared by the COSPAR Panel on Planetary Protection and approved by the COSPAR Bureau on 3 June 2021, https://cosparhq.cnes.fr/assets/uploads/2021/07/PPPPolicy_2021_3-June.pdf.
- SMPAG-RP-004, 2020-04-08, Planetary Defence Legal Overview and Assessment, Report by the Space Mission Planning Advisory Group (SMPAG) Ad-Hoc Working Group on Legal Issues to SMPAG. https://www.cosmos.esa.int/documents/336356/336472/SMPAG-RP_004_1_0_SMPAG_legal_report_2020-04-08+%281%29.pdf/60df8a3a-b081-4533-6008-5b6da5ee2a98?t=1586443949723.
- Status report by the International Asteroid Warning Network (IAWN) and the Space Mission Planning Advisory Group (SMPAG), 2 February 2017. https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2017/aac_105c_12017crp/aac_105c_12017crp_25_0_html/AC105_C1_2017_CRP25E.pdf.
- Objetos cercanos a la Tierra, 2012-2013, Informe final del Equipo de Acción sobre objetos cercanos a la Tierra, de 17 de diciembre de 2012. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/LTD/V12/580/75/PDF/V1258075.pdf?OpenElement>.
- Examen de la aplicación de las recomendaciones de la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos, de 23 de julio de 2004. https://www.unoosa.org/pdf/reports/unispace/A_59_174S.pdf.
- Informe de la Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre la exploración y utilización del Espacio ultraterrestre con fines pacíficos, Viena 9 al 21 de agosto de 1982. https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/1982/aconf/aconf_10110_0_html/A_CONF101_10S.pdf.
- Report on the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, General Assembly, United Nations, New York 1968. https://www.unoosa.org/pdf/gadocs/A_7285E.pdf.

NORMATIVA

- Real Decreto 158/2023, de 7 de marzo, por el que se aprueba el Estatuto de la Agencia Estatal “Agencia Espacial Española”, B.O.E. núm. 57, de 8 de marzo de 2023. <https://www.boe.es/boe/dias/2023/03/08/pdfs/BOE-A-2023-6082.pdf>.

- Orden PCM/1067/2022, de 4 de noviembre, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Seguridad Nacional de 11 de octubre de 2022, por el que se aprueba el Protocolo de Alertas Espaciales, B.O.E. núm. 268, de 8 de noviembre de 2022. <https://boe.es/boe/dias/2022/11/08/pdfs/BOE-A-2022-18336.pdf>.
- Real Decreto 1150/2021, de 28 de diciembre, por el que se aprueba la Estrategia de Seguridad Nacional 2021, B.O.E. núm. 314, de 31 de diciembre de 2021 https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-21884.
- Orden PCI/489/2019, de 26 de abril, por la que se publica la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional, aprobada por el Consejo de Seguridad Nacional, anexo, BOE núm. 103, de 30 de abril de 2019. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-6349.
- Real Decreto 1008/2017, de 1 de diciembre, por el que se aprueba la Estrategia de Seguridad Nacional 2017, BOE núm. 309, de 21 de diciembre de 2017. https://boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-15181.
- 51 U.S. Code Chapter 711 - NEAR-EARTH OBJECTS (Pub. L. 111-314, § 3, Dec. 18, 2010, 124 Stat. 3439.) <https://www.law.cornell.edu/uscode/text/51/subtitle-VII/chapter-711>.
- Instrumento de 13 de diciembre de 1987 de adhesión de España al Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares hecho en Londres, Moscú y Washington el 1 de julio de 1968, B.O.E. núm. 313, de 31 de diciembre de 1987, <https://www.boe.es/boe/dias/1987/12/31/pdfs/A38243-38256.pdf#:~:text=B%C3%BCEn%C3%BAm.313%20Jueves%2031%20diciembre%201987%2038243%20El%20Ministro,en%20Madrid%20a%2013%20de%20octubre%20de%201987>.
- Instrumento de Adhesión al Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, adoptado por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 12 de noviembre de 1974. BOE núm. 25, de 29 de enero de 1979. <https://www.boe.es/boe/dias/1979/01/29/pdfs/A02188-02190.pdf>.
- Instrumento de adhesión, de 2 de mayo de 1972, del Convenio de Viena sobre el Derecho de los Tratados, adoptado en Viena el 23 de mayo de 1969, BOE. núm. 142, de 13 de junio de 1980. <https://www.boe.es/boe/dias/1980/06/13/pdfs/A13099-13110.pdf>.
- Instrumento de ratificación del Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales, hecho en Londres, Moscú y Washington, el 29 de marzo de 1972, B.O.E. núm. 106, de 2 de mayo de 1980. <https://www.boe.es/boe/dias/1980/05/02/pdfs/A09491-09494.pdf>.
- Instrumento de Adhesión de España al Acuerdo sobre el salvamento, la devolución de astronautas y la restitución de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, hecho en Londres, Moscú y Washington, el 22 de abril de 1968, B.O.E. núm. 137, de 8 de junio de 2001. <https://www.boe.es/boe/dias/2001/06/08/pdfs/A20264-20268.pdf>.
- Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, B.O.E. núm. 30, de 4 de febrero de 1969. <https://www.boe.es/boe/dias/1969/02/04/pdfs/A01675-01677.pdf>.

PROPUESTA DE RESOLUCIÓN sobre un enfoque de la UE en materia de gestión del tráfico espacial – Una contribución de la UE para hacer frente a un desafío mundial 29.9.2022 - (2022/2641(RSP)). Parlamento Europeo. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/B-9-2022-0423_ES.html.

RESOLUCIONES

Tratados y Principios de las Naciones Unidas sobre el Espacio Ultraterrestre (y resoluciones conexas de la Asamblea General), *Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre, Naciones Unidas*, Nueva York, 2008, https://www.unoosa.org/pdf/publications/st_space_11rev2S.pdf.

Resoluciones 1721 A y B (XVI) de la AGNU, *Cooperación internacional para la utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos*, de 20 de diciembre de 1961, https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_16_1721S.pdf.

Resolución 1348 (XIII) de la AGNU, *Cuestión del uso del espacio ultraterrestre con fines pacíficos*, de 13 de diciembre de 1958, https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_13_1348S.pdf.

Resolución 1472 (XIV) de la AGNU, *Cooperación internacional en la utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos*, de 12 de diciembre de 1959, https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_14_1472S.pdf.

SOFT LAW

A/AC.105/C.2/L.324/Add.10, 28 de marzo de 2023, COPUOS, Proyecto de informe, Adición, XI. Intercambio general de información sobre los instrumentos de las Naciones Unidas sin fuerza jurídica obligatoria relativos al espacio ultraterrestre. https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2023/aac_105c_2l/aac_105c_2l_324add_10_0_html/AC105_C2_L324Add10S.pdf.

A/AC.105/L.318/Add.4, 19 de junio de 2019, COPUOS, Directrices relativas a la sostenibilidad a largo plazo de las actividades en el espacio ultraterrestre. https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2019/aac_105l/aac_105l_318add_4_0_html/AC105_L318Add04S.pdf.

Compendium of space debris mitigation standards adopted by States and international organizations, <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/space-debris/compendium.html>.

Nuclear Power Sources, <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/nps.html>.

OTROS ENLACES DE INTERÉS

Conceptos básicos de NEOs: https://cneos.jpl.nasa.gov/about/neo_groups.html.

Digital Recordings 2023, COPUOS, <https://www.unoosa.org/oosa/audio/v3/index-staging.jspx>.

8th IAA Planetary Defense Conference, 3 - 7 April 2023 (Hybrid conference) <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/neos/2023/IAAPDC/index.html>.

CAPÍTULO 5. LA GOBERNANZA ESPACIAL Y LA REGULACIÓN DEL ESPACIO ULTRATERRESTRE ANTE LA IRRUPCIÓN DE ACTORES NO ESTATALES

JUAN MANUEL DE FARAMIÑAN GILBERT¹

Catedrático (emeritus professor) de Derecho Internacional Público y Relaciones Internacionales, Universidad de Jaén

DOI: 10.14679/2277

Sumario: 1. INTRODUCCIÓN. 2. LOS RETOS DE LA GOBERNANZA ESPACIAL. 3. SOBRE LA NECESIDAD DE CREAR UN ORGANISMO INTERNACIONAL QUE CONTROLE LA EMERGENCIA DE ACTORES NO ESTATALES. 4. REFLEXIONES FINALES.

1. INTRODUCCIÓN

Analizar los ámbitos de aplicación de la gobernanza espacial implica tener presente la imperiosa necesidad de fortalecer la cooperación en todos los niveles de las acciones relacionadas con el espacio ultraterrestre. Si, además, nos encontramos ante un momento de expansión de las actividades espaciales por parte de empresas privadas, que reciben la aquiescencia de ciertos Estados, nos situamos ante un escenario interesante, pero a la vez complejo.

Los recursos naturales del espacio son bienes que se han ido constituyendo a través de millones de años y su explotación no controlada y desmedida puede generar

¹ Juan Manuel de Faramiñan Gilbert es catedrático (*emeritus professor*) de Derecho Internacional Público y Relaciones Internacionales de la Universidad de Jaén, titular de la Cátedra Jean Monnet, director internacional emérito de la Red Latinoamericana y del Caribe de Universidades e Instituciones que investigan la tecnología, la política y el derecho del espacio ultraterrestre (ReLaCa-Espacio) y miembro de su Junta Directiva, miembro fundador del Centro Europeo de Derecho del Espacio de la Agencia Europea del Espacio y antiguo miembro de su Junta Directiva (*Board of the European Centre of the Space Law of European Space Agency*), miembro fundador y vocal de la Junta Directiva del Centro Español de Derecho Espacial y miembro del Instituto Internacional de Derecho del Espacio de la Federación Astronáutica Internacional (*International Institute of Space Law International Astronautical Federation*). Miembro del panel especializado de árbitros establecido en virtud del reglamento facultativo para el arbitraje de controversias relativas a las actividades en el espacio ultraterrestre de la Permanent Court of Arbitration (PCA). Investigador Senior Asociado del Real Instituto Elcano. Miembro del Capítulo español del Club de Roma, Codirector de la Cátedra Universitaria AstroAndalús de derecho aeroespacial y astronómico de la Universidad de Jaén (España). Antiguo miembro de la Subcomisión de Ética para el Espacio Ultraterrestre de la UNESCO (*Sub-Commission on the Ethics of Outer Space of the World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology (COMEST)*) de la UNESCO).

una expoliación de aquellos que resultan limitados como, por ejemplo, el caso de un asteroide del que una vez exhaustos sus minerales perderá su valor económico y sin duda su interés científico. Los asteroides son reliquias de los inicios de nuestro sistema solar, y se trata de fósiles espaciales que contienen una valiosa información sobre los orígenes cósmicos.

Los programas de observación y seguimiento de asteroides y cometas no solo responden a un interés científico o meramente económico, sino que han estado y están motivados por las amenazas de impactos que constituyen estos cuerpos celestes a escala planetaria². Sobre todo, teniendo en cuenta que la Tierra se ha visto afectada por los impactos cósmicos de estos objetos contra el planeta. Estos asteroides y cometas cercanos a la Tierra ya han dejado secuelas en nuestra memoria geológica como los casos del cráter Vredefort, en Sudáfrica con una antigüedad aproximada de dos mil millones de años y un diámetro de 300 kilómetros, que incluso ha sido declarado patrimonio de la UNESCO en 2005; el cráter Morokweng, en Sudáfrica, de unos ciento cuarenta y cinco millones de años y 70 kilómetros de diámetro, que se sitúa cerca del desierto de Kalahari y contiene restos fosilizados del meteorito que lo produjo; el cráter Chicxulub, en Yucatán, México, de unos sesenta y seis millones de años con un diámetro de 180 kilómetros y que se atribuye como uno de los causantes de la extinción de los dinosaurios; el cráter Barringer conocido como «*Meteor Crater*», en Arizona, Estados Unidos, con 1,2 kilómetros de diámetro producido hace 50.000 años, por citar algunos ejemplos más destacados³.

Sin duda, ello incita a una reflexión profunda sobre el alcance de las actividades de exploración, utilización y explotación del espacio ultraterrestre. Partiendo de la base de que la actividad mineralógica tanto en los asteroides como en otros cuerpos celestes, ya sean la Luna o Marte, es admisible en la medida que pueda servir para cubrir las necesidades del planeta Tierra. Sin embargo, ello no es óbice para que nos preguntemos si dicha explotación y sus beneficios solo deberán recaer en los Estados con capacidad espacial y en las empresas privadas, que por sus posibilidades económicas y tecnológicas puedan llevar a cabo dicha explotación.

Una sinergia bien estructurada entre los Estados, las agencias y el sector privado debería ser la vía apropiada para que se pueda mitigar la amenaza de impacto cósmico y elaborar una defensa planetaria efectiva. Como, por ejemplo, el caso del cohete Falcon 9 de la empresa SpaceX que, en colaboración con la NASA, lanzó la nave espacial DART, que realizó el primer ensayo de redireccionamiento de un asteroide desviando ligeramente la órbita de Dimorfos (**Daly et al. 2023**).

² La Fundación B612 y el Instituto de Asteroides (*Asteroid Institute*) reúne a científicos, investigadores e ingenieros para desarrollar herramientas y tecnologías con el fin de comprender, mapear y navegar por nuestro sistema solar. La Fundación B612 y el Instituto de Asteroides aprovechan los avances en informática, instrumentación y astronomía para encontrar y rastrear asteroides. Desde 2002, la Fundación ha apoyado la investigación y las tecnologías para permitir el desarrollo económico del espacio y mejorar nuestra comprensión de la evolución de nuestro sistema solar. <https://b612foundation.org/our-mission/>

³ Para más datos: http://passc.net/EarthImpactDatabase/New%20website_05-2018/Index.html

En el seno de la Comisión para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre (COPUOS)⁴, numerosas delegaciones han levantado la voz para reclamar una distribución equitativa de los recursos celestes teniendo en cuenta a toda la comunidad internacional y, en particular, a los Estados en desarrollo que llegarán a destiempo a las campañas de acceso y explotación de los minerales de los cuerpos celestes.

Por ello, en el marco de una gobernanza espacial sensata cabría analizar las posibilidades de que tanto la exploración y explotación de los recursos del espacio ultraterrestre como las investigaciones sobre su potencial riesgo y desarrollo de tecnologías de defensa se realice con un criterio equitativo y en beneficio de toda la humanidad. Sin duda, en la actualidad, COPUOS es el foro idóneo para discutir estos temas y para alcanzar las soluciones equilibradas que permitan una explotación controlada y racional de los recursos del espacio y un desarrollo adecuado de los dispositivos de defensa planetaria.

2. LOS RETOS DE LA GOBERNANZA ESPACIAL

Analizar la gobernanza espacial en las actuales circunstancias, determinadas por la evolución de la comunidad internacional, debe centrarse indefectiblemente en el marco de una sostenibilidad a largo plazo de esas actividades en el espacio ultraterrestre, en particular, por el impacto de los desechos espaciales y la necesidad de proteger los cielos oscuros y silenciosos. Teniendo en cuenta que el desarrollo de estrategias de mitigación de impactos cósmicos y el despliegue de nuevas capacidades de comunicación por satélite, así como sistemas de observación de la Tierra, están proporcionando los instrumentos esenciales para poder proponer las soluciones oportunas a largo plazo y sobre todo efectivas, siempre que se tengan presentes las propuestas de sostenibilidad que se recogen en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible⁵. No dejemos pasar desapercibidas las posibilidades que ofrecen para la gobernanza espacial temas como la telemedicina, la teleenseñanza, la teleepidemiología (tan importante en la última pandemia de la COVID-19), la gestión de desastres naturales o tecnológicos, la protección ambiental, la gestión de los recursos naturales, la vigilancia de los océanos y del clima, los programas de observación de asteroides y cometas, dado que la investigación obtenida desde el espacio, así como la información geoespacial, fortalecen las actividades de los Estados y, en particular, de los países en desarrollo, que no solo acrecientan su progreso económico y social sino que pueden contribuir eficazmente a la lucha contra la pobreza.

En este sentido, cabe analizar el Informe del Grupo de Trabajo sobre esta materia elaborado en el ámbito de COPUOS, en el marco de la reunión de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos celebrada durante el 60º periodo de sesiones en Viena (6 a 17 de febrero de 2023)⁶. Este Grupo de Trabajo llevó a cabo sus sesiones bajo la

⁴ <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>.

⁵ La Asamblea General de la ONU adoptó la resolución A/RES/70/1, «Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible», durante la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible celebrada en las Naciones Unidas del 25 al 27 de septiembre de 2015.

⁶ A/AC.105/C.1/LTS/2023/L.1, Naciones Unidas, Asamblea General, COPUOS, Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos, 60º periodo de sesiones, 14 de febrero de 2023.

presidencia del distinguido Sr. Umamaheswaram de la India y manifestó la necesidad de realizar una cooperación internacional para la utilización del espacio ultraterrestre teniendo en cuenta a los países en vías de desarrollo. Por ello, tiene especial relevancia el Proyecto de Resolución II sobre Cooperación internacional⁷, donde se ha puesto de relieve que el importante avance en el desarrollo de la ciencia y la tecnología espacial debería redundar en beneficio de toda la humanidad y en la configuración de un apropiado régimen jurídico internacional que rijan estas actividades. Sin duda, COPUOS, representa la plataforma idónea y única a nivel mundial para regular esta cooperación internacional, por lo que en su seno se deberán desarrollar las actividades con fines pacíficos.

El espacio ultraterrestre debería ser considerado como patrimonio de toda la humanidad y no de determinados Estados u organizaciones privadas, con el fin de que todos los Estados miembros puedan gozar de los beneficios y de las cuestiones relacionadas con la seguridad nacional. Es el derecho internacional el marco adecuado, con la coordinación de las Naciones Unidas, donde se deberán elaborar las normas de comportamiento de los actores espaciales fomentando la necesidad de que la mayor parte de los Estados del mundo firmen y ratifiquen los cinco tratados del espacio que conforman el *Corpus Iuris Spatialis*⁸.

Dado que la gobernanza espacial debe apoyarse en el uso pacífico del espacio, cabe recordar el artículo IV del Tratado sobre el Espacio donde se indica que los Estados partes en el tratado se comprometen a no colocar en órbita alrededor de la Tierra ningún objeto portador de armas nucleares ni ningún otro tipo de armas de destrucción masiva ni emplazarlas ni en la Luna ni en otros cuerpos celestes, quedando prohibido establecer en ellos instalaciones o fortificaciones militares o realizar ensayos de cualquier tipo de armas o maniobras militares. No obstante, ello no será óbice para que el personal militar pueda participar en las investigaciones científicas, siempre que sea con fines pacíficos.

Se trata de un compromiso y un esfuerzo que debería implicar a los Estados que tengan una mayor presencia en materia espacial dado que son ellos los que poseen la capacidad de prevenir una carrera de armamentos en el espacio ultraterrestre y de promover una coherente gobernanza espacial sujeta a criterios de cooperación internacional y exploración y utilización del espacio con fines pacíficos. Tal gobernanza será

⁷ A/ 77/398 de Naciones Unidas, Asamblea General, septuagésimo periodo de sesiones, tema 45 de programa, 1 de noviembre de 2022, 7/15.

⁸ El *Corpus Iuris Spatialis* lo componen los cinco tratados de las Naciones Unidas relativos al espacio ultraterrestre son: el Tratado sobre los Principios que Deben Regir las Actividades de los Estados en la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre, incluso la Luna y otros Cuerpos Celestes, 1967 (Tratado sobre el Espacio); el Acuerdo sobre el Salvamento y la Devolución de Astronautas y la Restitución de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre, 1968 (Acuerdo sobre Salvamento); el Convenio sobre la Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos Espaciales, 1972 (Convenio sobre la Responsabilidad); el Convenio sobre el Registro de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre, 1975 (Convenio sobre el Registro) y el Acuerdo que Rige las Actividades de los Estados en la Luna y otros Cuerpos Celestes, 1979 (Acuerdo sobre la Luna). <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties.html>

posible si se fortalece a través de un marco jurídico sólido que no solo implique a los cinco tratados del espacio y digo los cinco porque no debemos soslayar al Acuerdo de la Luna que aún hoy no ha tenido el impacto necesario ni el apoyo de los Estados más implicados en las actividades espaciales.

No obstante, cabe resaltar la necesidad de que se fomenten nuevas iniciativas conjuntas entre los países con capacidad espacial y los países con capacidad espacial incipiente, máxime cuando nos estamos enfrentando a problemas sumamente importantes y potencialmente peligrosos como el de los Objetos Cercanos a la Tierra (OCT)⁹. En este sentido, resulta imprescindible el intercambio de información que posibilite descubrir, vigilar y caracterizarlos físicamente, con el fin de asegurar que todos los países dispongan de la capacidad de respuesta, en particular, los países en desarrollo pues en muchos casos carecen de la tecnología necesaria para predecir y mitigar posibles impactos.

En esta línea, es importante, para el buen desarrollo de la gobernanza espacial y la defensa de la Tierra, la labor llevada a cabo por la Red Internacional de Alerta de Asteroides y el Grupo Asesor para la Planificación de Misiones Espaciales¹⁰ orientadas a mitigar la amenaza potencial que suponen los OCT.

Tampoco debe pasar desapercibida la necesidad de que los Estados vayan adoptando las medidas oportunas para reducir los desechos espaciales aplicando mecanismos nacionales y de conformidad con las Directrices para la Reducción de Desechos Espaciales de COPUOS¹¹, máxime cuando se está señalando un aumento de las probabilidades de colisión entre objetos espaciales (suponiendo un especial riesgo aquellos que utilizan energía nuclear para su propulsión). Además, se subraya la necesidad de divulgar estrategias apropiadas y asequibles a fin de reducir al mínimo los efectos nocivos de los desechos espaciales en las misiones tripuladas en el espacio ultraterrestre.

Es justamente en el marco de una eficaz gobernanza espacial donde deberán fomentarse la aprobación, por parte de los Estados, de directrices voluntarias para la reducción de estos desechos, lo que aumentaría la estabilidad y reduciría notablemente las probabilidades de fricciones y conflictos internacionales, sobre todo cuando estos accidentes se puedan producir en vuelos espaciales tripulados o en infraestructuras espaciales habitadas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que estas directrices, por el momento de carácter voluntario, deberían en el futuro alcanzar fuerza jurídica obligatoria. La Subcomisión de Asuntos Jurídicos de COPUOS podría ser el ámbito apropiado para elaborar directrices dentro de un marco jurídico vinculante, como, por ejemplo, un proyecto de resolución que se presentase a la Asamblea General de las Naciones Unidas y que estuviese en consonancia con las Directrices del Comité Internacional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales (CICDE), con el objeto de proteger de manera efectiva el medio espacial.

⁹ Véase, *Documentos Oficiales de la Asamblea General, septuagésimo séptimo período de sesiones, suplemento núm. 20 (A/77/20)* Ítem n° 14.

¹⁰ Véase A/AC.105/1138, párrs. 205 a 210; véase también A/AC.105/C.1/121.

¹¹ Sexagésimo segundo período de sesiones, suplemento núm. 20 (A/62/20), párrs. 117 y 118 y anexo.

Se hace necesario replantearse una «gobernanza global» (**Faramiñán Gilbert 2021a**) de las actividades llevadas a cabo en el espacio ultraterrestre y por ello es importante tener en cuenta la Agenda «Espacio2030»¹². En efecto, los objetivos y las principales metas a las que deben someterse las actividades en el espacio ultraterrestre precisan de una gobernanza global más firme y definida en sus estructuras de apoyo, lo que reclama una sólida organización espacial y un incremento de los datos que puedan obtenerse desde el espacio. De ahí que la Agenda «Espacio2030» suponga un referente necesario al que debemos acudir para mejorar los factores del desarrollo.

Otra de las consecuencias preocupantes del avance de la tecnología es la brecha espacial que se ha abierto entre aquellos países que han desarrollado tecnología punta y los que no han logrado alcanzar capacidades tecnológicas y que se encuentran en una situación de desventaja en el marco de las actividades en el espacio ultraterrestre y, como resultado de ello, no logran ni el acceso a los recursos ni a las capacidades defensivas que ofrece este ámbito de acción. A ello, se agrega el riesgo que supone para la seguridad el desarrollo no controlado de las actividades espaciales y el aumento de los desechos espaciales que entorpece los programas astronómicos de detección de objetos potencialmente peligrosos y dificulta futuras misiones espaciales (**Simó Soler, et al. 2023**).

Por ello, la Agenda «Espacio2030» ha elaborado, con el fin de cubrir esas brechas, cuatro pilares estratégicos y transversales: a) la economía espacial: con la búsqueda de beneficios económicos derivados del espacio; b) la sociedad espacial: es decir, la promoción de beneficios de carácter social provenientes de las actividades en el espacio; c) la accesibilidad espacial: el acceso del espacio a todos los Estados, sean desarrollados o en desarrollo; d) la diplomacia espacial: el fomento de la creación de alianzas, la gobernanza global y el fortalecimiento de la cooperación internacional.

Al entender que el espacio es un «motor para el desarrollo sostenible», la agenda que comentamos se plantea encontrar, a través de estos cuatro pilares, herramientas espaciales con las que alcanzar los Objetivos de Desarrollo en la gobernanza global y en la utilización del espacio con fines exclusivamente pacíficos.

La Asamblea General de las Naciones Unidas, en reiteradas ocasiones, ha señalado que COPUOS y sus dos Subcomisiones son el foro apropiado para desarrollar las herramientas tecnológicas y legales que promuevan la gobernanza internacional del espacio. La Agenda propone que estas medidas se encaminen a lograr metas medibles, a través la participación de los Estados miembros de la Comisión, con la esperanza de completar para 2025 la paridad en materia de género¹³ y de alcanzar para 2030 los 120 Estados participantes¹⁴.

¹² Comisión sobre la Utilización del espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS): «La agenda 'Espacio2030' y la gobernanza global de las actividades en el espacio ultraterrestre», Nota de la Secretaría de 13 de diciembre de 2017. AG de las NNUU. A/AC.105/1166.

¹³ *Ibidem*, Véase *Resumen*: según la agenda «Espacio2030», la cifra en 2017 era de 38% de mujeres y 62% de hombres. A/AC.105/1166.

¹⁴ *Ibidem*, véase párr. 42. En la actualidad (datos de 2017) COPUOS se compone de 87 Estados miembros, más las 37 organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales internacionales con mandatos relacionados con el espacio que son observadores permanentes. A/AC.105/1166.

Tengamos en cuenta, que como apunta **María del Carmen Muñoz Rodríguez (2020)**:

«los mecanismos de cooperación internacional, incluida la cooperación espacial, se caracterizan por su diversidad y flexibilidad en formas y antecedentes. La cooperación internacional multilateral se considera como una marca de las organizaciones intergubernamentales internacionales, incluidas las Naciones Unidas y sus organismos especializados, las organizaciones intergubernamentales internacionales distintas de las Naciones Unidas y otros organismos, así como los mecanismos de cooperación regional e interregional. Además, existe cooperación internacional a través de asociaciones bilaterales. Los proyectos cooperativos se llevan a cabo bajo un conjunto de acuerdos legalmente vinculantes o no vinculantes o una combinación de ambos. Junto a las organizaciones internacionales relevantes, que se enmarcan en los mecanismos de cooperación espacial, siempre ha sido de una gran importancia la presencia de los actores comerciales y privados en los programas de cooperación».

Por ello, cabe destacar que otro de los objetivos de la Agenda «Espacio2030», íntimamente ligados con los criterios de una gobernanza espacial efectiva, es la puesta en marcha de la «alianza espacial mundial» por el Desarrollo Sostenible. Esta alianza augura integrar el conjunto de la infraestructura espacial y los datos que se obtienen a escala mundial desde el espacio y desde la Tierra, incluidos los sistemas mundiales de navegación por satélite y las telecomunicaciones satelitales, con el fin de trabajar con mayor eficacia en el cumplimiento de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible¹⁵.

En el marco de los cuatro pilares estratégicos, la Economía Espacial cumple un importante papel como motor de desarrollo sostenible dentro de una serie de objetivos como la alianza espacial mundial, el pacto mundial del espacio y el fondo espacial mundial para el desarrollo. De tal manera que, este primer pilar podría definirse como «el espectro completo de actividades y el uso de recursos que crean y aportan valor y beneficios a la población mundial en el transcurso de la exploración, la comprensión y la utilización del espacio»¹⁶.

Con la Sociedad Espacial, como segundo pilar, se busca promover los beneficios sociales que se derivan de las actividades en el espacio, generando sociedades resilientes y de bajas emisiones, buscando resultados prácticos al servicio de la salud mundial, por lo cual se ha propuesto a la Organización Mundial de la Salud (OMS) la creación

¹⁵ *Ibidem*, véase párrs. 31, 32 y 33: «A fin de obtener la financiación necesaria para cumplir la agenda 'Espacio2030', incluida la alianza, se establecerá el pacto mundial del espacio como principal mecanismo de colaboración entre la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre y el sector privado. Además, se propone crear un fondo espacial mundial para el desarrollo, siguiendo los ejemplos de otros mecanismos existentes de financiación de las Naciones Unidas, para apoyar la coordinación y la ejecución de las actividades de la alianza espacial mundial en favor de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (véanse los párrafos 60 a 67)». A/AC.105/1166.

¹⁶ *Ibidem*, véase párrs 56 y ss. A/AC.105/1166.

de «un cargo especial de coordinador de alto nivel para asuntos relacionados con el espacio»¹⁷. Además, que las actividades espaciales se pongan al servicio de la seguridad humana y del clima espacial frente a los fenómenos meteorológicos intensos y extremos que exigen una respuesta de la comunidad internacional. Sin olvidar las cuestiones de género en lo que se ha dado en llamar «el espacio para las mujeres», en un universo abierto que promueve y facilita el acceso transparente a datos de la ciencia espacial.

El tercer pilar, la Accesibilidad Espacial, nos habla del acceso al espacio para todas las personas sin discriminaciones socioeconómicas o tecnológicas y que los productos obtenidos desde el espacio puedan ser utilizados en condiciones de igualdad. Este «acceso al espacio» implica una doble vertiente: «por un lado, el acceso físico al espacio y a las infraestructuras espaciales y, por otro lado, el acceso a los datos obtenidos desde el espacio»¹⁸.

Sobre el cuarto pilar, la «Diplomacia Espacial»¹⁹, se está implementando un nuevo campo de acción. En este caso, se hace referencia al reforzamiento, por una parte, de los mecanismos existentes y, por otra, a la creación de nuevos mecanismos para la utilización del espacio en el ámbito de la cooperación internacional. Este modelo de diplomacia deberá regirse por las normas y los tratados vigentes, con el objetivo global de hacer frente a los desafíos comunes de la humanidad, fomentando alianzas constructivas basadas en el conocimiento.

Se ha destacado que COPUOS sigue siendo el centro de la gobernanza global de las actividades en el espacio ultraterrestre y que la amplia variedad de miembros que componen esta Comisión abre un abanico importante de intercambio de experiencias, dado que asisten tanto potencias espaciales como países con capacidad espacial incipiente. En el marco de la diplomacia espacial, esto permitirá «aprovechar las alianzas existentes y crear nuevas alianzas, con la idea de facilitar el diálogo con un número mayor de comunidades de usuarios y lograr una mayor sinergia»²⁰. Para ello, se propone que el Foro de Alto Nivel sobre el Espacio como motor del desarrollo socioeconómico sostenible, con el apoyo de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOO-SA), formalicen una reunión ordinaria anual para promover alianzas más fuertes entre los Gobiernos, las organizaciones internacionales, la industria, el sector privado, el mundo académico y la sociedad civil.

Habrà que tener en cuenta la aparición en la escena internacional de nuevos actores espaciales que vienen de la mano de compañías privadas y que suponen una doble perspectiva a tener en cuenta: por un lado, se convierten en fuentes de promoción de las actividades empresariales en el espacio, lo que resulta positivo, pero, por otro lado, suponen un riesgo importante, si tales actividades no se encuentran debidamente reguladas y supervisadas y puedan convertir al espacio en un ámbito de exploración y explotación no controlada. La gobernanza espacial debe prever estas nuevas posi-

¹⁷ *Ibidem*, véase párr. 98. A/AC.105/1166.

¹⁸ *Ibidem*, véase párr. 132. A/AC.105/1166.

¹⁹ *Ibidem*, véase párrs. 144 y ss. A/AC.105/1166.

²⁰ *Ibidem*, véase párr. 148. A/AC.105/1166.

bilidades que surgen en el llamado *New Space* dado que se ha observado que algunos Estados están abriendo la espita para que las empresas puedan explotar en su beneficio particular los recursos situados en los asteroides o posicionar megaconstelaciones de satélites en las órbitas terrestres.

En el primer caso, la explotación indiscriminada de los minerales de los asteroides pone en peligro unos recursos naturales limitados, toda vez que los mismos se han desarrollado en millones de años y una vez agotado el asteroide queda exánime para futuras exploraciones y explotaciones. En buen rigor, estos beneficios podrían ser distribuidos a nivel general para toda la comunidad internacional teniendo en cuenta a los países en desarrollo con limitaciones tecnológicas y económicas para dicha explotación. En el segundo caso, el posicionamiento de megaconstelaciones satelitales implica una contaminación subsecuente dado que invaden las órbitas bajas (LEO) de la Tierra. Los satélites artificiales suponen una importante contaminación lumínica y de radiofrecuencia que afecta a los observatorios terrestres y una vez que acaban su vida útil se convierten en desechos espaciales (*space debris*) potencialmente proclives a generar colisiones en el espacio con otros objetos espaciales, especialmente peligrosos para los vuelos tripulados.

3. SOBRE LA NECESIDAD DE CREAR UN ORGANISMO INTERNACIONAL QUE CONTROLE LA EMERGENCIA DE ACTORES NO ESTATALES

La aparición en la escena internacional de nuevos actores espaciales distintos de los Estados está configurando un escenario nuevo (*New Space*) que, como acabo de apuntar, plantea un doble análisis, por un lado, interesante y, por otro lado, preocupante. Con el fin de conjurar este segundo tema, desde un punto de vista jurídico y político, resultaría oportuno aprovechar las instituciones existentes para regular sus actividades y evitar excesos que solo traerían problemas para la correcta exploración del espacio ultraterrestre, pues como se indica en el Tratado sobre el Espacio de 1967 tales actividades deberán realizarse en el interés de la humanidad.

No debe pasar desapercibido que en COPUOS, como plataforma única a nivel mundial para la cooperación internacional, se ha insistido en «que conviene a toda la humanidad que se fomenten y amplíen la exploración y utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos, como patrimonio de toda la humanidad, y perseverar en los esfuerzos para que todos los Estados miembros puedan gozar de los beneficios derivados de esas actividades, así como, de la importancia de la cooperación internacional en esta esfera, respecto de la cual las Naciones Unidas deberían seguir siendo un centro de coordinación»²¹.

Elvira Prado Alegre (2021a) ha señalado que el punto de inflexión necesario debería basarse en el consenso, pues:

²¹ A/ 77/398 de Naciones Unidas, Asamblea General, septuagésimo periodo de sesiones, tema 45 de programa, 1 de noviembre de 2022, 7/15.

«para determinar cuál es el órgano competente es necesario tener presente que las actividades que tienen lugar en el espacio ultraterrestre y, concretamente, en la Luna y sus órbitas, incumben a toda la humanidad por su impacto planetario. Su régimen jurídico, por tanto, debería alcanzarse por consenso de todos los Estados con y sin capacidad espacial. En este sentido, la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos parece el órgano intergubernamental preferente para lograr este fin. No obstante, la Comisión debe dar cabida a los trabajos realizados por Institutos y grupos especializados, con una mayor contribución de la sociedad civil, que refleje el incremento de su participación en las actividades espaciales. Por último, no podemos olvidar la importancia del tiempo invertido en la búsqueda de un consenso, tanto en relación con las sesiones y trabajos que tienen lugar en las dos Subcomisiones de COPUOS, como con la previsibilidad de los avances tecnológicos y los programas actuales de las agencias espaciales».

En base a estas reflexiones debemos tener en cuenta lo acaecido en los Estados Unidos y en el Ducado de Luxemburgo, dado que ambos Estados han abierto la posibilidad que empresas privadas puedan explotar en su beneficio los minerales de los asteroides. Vaya por delante el hecho de que en las actuales circunstancias de la comunidad internacional se ha puesto de relieve la oportunidad de sacar un mayor provecho de la tecnología espacial y de contribuir al crecimiento de las actividades espaciales que supongan un progreso económico sostenido, íntimamente ligado al concepto de desarrollo sostenible, en particular a los países en desarrollo. Estamos ante un momento en el que se hace necesario entablar una mayor colaboración con la industria espacial provenientes del sector privado sin olvidar las actividades de la Comisión de Investigaciones Espaciales (COSPAR) que actúa, desde la década de los años cincuenta, para apoyar el progreso a escala internacional e interdisciplinaria de las investigaciones científicas realizadas con objetos espaciales, con la idea de mantener una política de protección planetaria como norma de referencia para los países que realizan actividades espaciales, así como proporcionar orientación para el cumplimiento del artículo IX del Tratado sobre el Espacio de acuerdo con el principio de cooperación y asistencia mutua y con el reforzamiento de la UNOOSA a fin de «asegurar de forma satisfactoria las necesidades de todos los Estados partes que desearan explorar y utilizar los cuerpos planetarios»²².

En el año 2015 se aprueba en los Estados Unidos la ley *United States Commercial Space Launch Competitiveness Act (Space Act)* que se plantea con el fin de controlar el amplio desarrollo de las actividades espaciales y actualizar las medidas necesarias en relación con los accidentes que se pudiesen producir para que tuviesen la cobertura oportuna por parte de las compañías de seguros. En el conjunto de todas sus disposiciones cabe señalar que el título IV, de la mencionada ley, se dedica a la regulación de la exploración y utilización de los recursos que se puedan obtener del espacio ultraterres-

²² Documentos Oficiales de la Asamblea General, septuagésimo segundo período de sesiones, suplemento núm. 20 (A/72/20), párr. 332.

tre y abre la posibilidad para que las empresas privadas de los Estados Unidos tengan vía libre para realizar su explotación, en particular de los recursos que se encuentren en o dentro de un asteroide, bajo la autorización y supervisión del Gobierno Federal.

De tal modo, cualquier persona física o jurídica con nacionalidad estadounidense, podrá poseer, usar, transportar o vender los recursos que haya obtenido de un asteroide. A mi entender, aquí se presenta un conflicto jurídico en relación con el Tratado sobre el Espacio, dado que en su artículo II se indica que un cuerpo celeste «no podrá ser objeto de apropiación nacional por reivindicación de soberanía, uso u ocupación, ni de ninguna otra manera». Sin embargo, el *Space Act* está admitiendo que las empresas o la ciudadanía estadounidenses tengan derecho de propiedad sobre los recursos que se encuentran en los asteroides, generando un problema de interpretación legal que no se cubre dadas las lagunas existentes en el derecho del espacio. En efecto, cuando se redacta el Tratado sobre el Espacio en 1967 no se había previsto la emergencia actual de que las empresas particulares pudiesen explotar los recursos del espacio, además, se juega con la idea de que el *Space Act* no contradice al artículo II citado dado que no existe reivindicación de soberanía, sino la sola obtención de los recursos situados en el espacio. Además, esta laguna jurídica genera el peligro potencial de que una persona física o jurídica pueda, por libre decisión desviar un asteroide lo que representa una dificultad añadida de la gobernanza global en la medida que pudiese conculcar la existencia de planes internacionales con respecto al mismo asteroide.

Posteriormente, en el año 2020 se va más allá y se adopta una Orden Ejecutiva en la que se corrobora no solo que la ciudadanía estadounidense tendrá derecho a participar en la exploración comercial, la recuperación y el uso de recursos del espacio ultraterrestre de conformidad con lo regulado en el *Space Act*, sino que se agrega que el espacio exterior es un dominio legal que no debe ser interpretado como un bien global (*global commons*), de tal modo que la política de los Estados Unidos será la de alentar la recuperación y el uso público o privado de los recursos espaciales. Se insiste, en contra de la existencia de un posible derecho consuetudinario que pueda derivarse del Acuerdo de la Luna (cuyo artículo 11 recuerda que la Luna y sus recursos son patrimonio común de la humanidad), dado que los Estados Unidos no ha firmado ni ratificado dicho Acuerdo y que el Secretario de Estado se «opondrá a cualquier intento por parte de cualquier otro Estado u organización internacional de tratar el Acuerdo de la Luna como un reflejo o expresión del derecho internacional consuetudinario»²³.

COPUOS, en la 55ª sesión de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos celebrada en abril de 2016 debatió sobre el *Space Act* de los Estados Unidos²⁴ y se acordó que en el 56º período de sesiones de la Subcomisión se incluyera un nuevo tema a tratar: el

²³ *Executive Order on Encouraging International Support for the Recovery and Use of Space Resources, Infrastructure & Technology*, Issued April 6, 2020, by the authority vested in me as President by the Constitution and the laws of the United States of America, including title IV of the U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act (Public Law 114-90).

²⁴ Se trató en el ítem 4 de la agenda «Intercambio general de opiniones», en el ítem 6 «Estado y aplicación de los cinco Tratados del espacio» y en el ítem 16 «Propuestas al COPUOS de nuevos ítems a ser considerados por la Subcomisión de Asuntos Jurídicos en su 56ª Sesión». (Véase. **Ferrazzani 2002**).

«Intercambio general de opiniones sobre posibles modelos de normas jurídicas sobre las actividades de exploración, explotación y utilización de los recursos espaciales». Fue en la sesión de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos celebrada en 2018 cuando se dedicó de manera específica el punto XIII²⁵ a dicho tema. En esta sesión algunas delegaciones de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos expresaron la opinión de que se necesitaba un entendimiento claro, obtenido mediante un debate de alcance amplio, de las obligaciones jurídicas internacionales contraídas con arreglo a los tratados de las Naciones Unidas relativos al espacio ultraterrestre, con el fin de evitar lagunas y velar por la coherencia de las leyes nacionales sobre la utilización de los recursos espaciales.

El *Space Act* de los Estados Unidos ha abierto una carrera hacia la obtención de los recursos espaciales y en esta línea el Gran Ducado de Luxemburgo adoptó la *Loi sur l'exploitation et utilisation des ressources de l'espace* de 2017. En su artículo primero indica claramente que «los recursos del espacio son susceptibles de apropiación»²⁶, siendo aún más amplia que la ley norteamericana, que solo admitía tal derecho a la ciudadanía o empresas estadounidenses, ya que la ley luxemburguesa se abre a cualquier persona o empresa que se haya sometido a su legislación y determine su sede social en Luxemburgo.

Son numerosas las empresas que han visto con interés económico la exploración y explotación de los recursos celestes. Con este cometido han ido surgiendo en los Estados Unidos empresas como Planetary Resources, Deep Space Industries, Aten Engineering, TransAstra Corporation o Space Tango. También Asteroid Mining Corporation en el Reino Unido, Japón ha creado Ispace, Luxemburgo cuenta con Kleos Space. Incluso, ahora, empresas como Google Virgin o Microsoft están impulsando proyectos tales como *Lunar X Prize* con la idea de realizar una misión lunar únicamente financiada por capital privado. Desde una perspectiva tecnológica, habrá que tener en cuenta el desarrollo del Falcon Heavy, uno de los lanzadores de SpaceX, que implica la capacidad de una empresa privada de lanzar a órbita grandes cantidades de materiales en un mismo lanzamiento (**Faramiñan Gilbert 2020b**).

En este sentido, Planetary Resources ha sido una de las empresas pioneras en comenzar a estudiar las posibilidades de explotación de los asteroides y ha desarrollado importantes avances de carácter tecnológico, si bien ha confirmado la dificultad económica de estos proyectos. En este caso, se habla de un proyecto orientado a la explotación de las denominadas «tierras raras»²⁷ de los asteroides. En una primera etapa el proyecto estudia la posibilidad de enviar en órbita el telescopio Arkyd 100, con el fin de realizar

²⁵ <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>.

²⁶ <http://legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2017/07/20/a674/jo>. *Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg*.

²⁷ Las tierras raras son un conjunto de 17 elementos químicos de nuestra tabla periódica. Las *tierras raras* se configuran como una mezcla de óxidos e hidróxidos de los elementos del bloque F de la tabla periódica. Lejos de ser materias primas escasas en la corteza terrestre, su consideración como raras se debe a la dificultad a la hora de su separación del resto de elementos con los que esté presente. China controla los grandes yacimientos de *tierras raras*. El uso de estos minerales es habitual en industrias tan potentes como la automotriz, la energética, defensa o tecnológica avanzada. <https://www.libremercado.com/2014-02-02/la-explotacion-minera-de-asteroides-ya-esta-al-alcance-de-la-mano-1276509604/>.

un seguimiento de los asteroides y escoger los más viables²⁸. En una segunda fase se enviaría el Arkyd Series 200 para actuar como interceptor de los asteroides elegidos previamente por el telescopio y determinar el asteroide seleccionado para su posterior prospección. En una tercera etapa el Arkyd 300 sería un trasbordador espacial con el que se realizaría la extracción de los minerales y el agua²⁹.

Por su parte, Deep Space Industries se encuentra interesada, por el momento, en la extracción de agua. Teniendo en cuenta que, a través de la extracción de agua en el espacio, se podrían obtener hidrógeno y oxígeno para astronautas y también combustible para los motores con la idea de crear, en su momento, «gasolineras espaciales». Esta compañía se ha planteado un proyecto dividido en tres fases. Se previó una primera etapa de exploración a través de tres naves FireFly con el fin de inspeccionar diferentes asteroides, buscando aquellos que tengan un diámetro aproximado a unos cien metros. Una segunda etapa, con el envío de la nave Dragonfly que sirva para recoger muestras de asteroides cercanos y traerlas a la Tierra. En una tercera etapa, una nave más potente, Havestor, sería la encargada de fabricar combustible a partir de la extracción de agua e hidrógeno con el objetivo de crear refinerías de combustible a gran escala³⁰.

En el marco del *New Space*³¹ se está produciendo una transformación de intereses que ha incrementado las inversiones en las actividades espaciales de la mano del sector privado compartiendo con los Estados y las agencias espaciales estatales la explotación del espacio con fines comerciales. Esta nueva realidad ha llevado a que empresas, como SpaceX de Elon Musk, estén manteniendo una intensa y creciente actividad de lanzamientos de megaconstelaciones de satélites que, tal como se ha apuntado, resultan un problema potencial de contaminación espacial. Recientemente, los Estados Unidos, la NASA y SpaceX han unido sus esfuerzos para enviar seres humanos al espacio o transportar suministros para la Estación Espacial Internacional, o Jeff Bezos con su empresa Blue Origin, interesado en el transporte aeroespacial, o Richard Branson quien, ante los nuevos acontecimientos, transformó su empresa Virgin en Virgin Galactic con la idea de desarrollar el turismo espacial, o Planetary Resources de Larry Page que plantea dedicarse a la explotación minera de los asteroides, o empresas más pequeñas como Zero 2 Infinity de José Mariano López-Urdiales dedicada al transporte espacial y a la colocación de grandes globos interesaciales y se plantea contribuir al turismo

²⁸ Se calcula que podría haber unos nueve mil asteroides de unos 50 metros de diámetro orbitando la Tierra, alguno de los cuales contienen tanto platino como el que se extrae en nuestro planeta en todo un año. <https://www.libremercado.com/2014-02-02/la-explotacion-minera-de-asteroides-ya-esta-al-alcance-de-la-mano-1276509604/>.

²⁹ Como aseguran los investigadores de *Planetary Resources*, bastaría encontrar un asteroide, rico en platino, de 500 metros de diámetro para conseguir 174 veces la cantidad global extraída anualmente en la Tierra. A su vez, la cantidad de mineral en dicho asteroide superaría hasta 1,5 veces la cantidad total de reservas de metales del grupo del platino a nivel global (rutenio, rodio, paladio, osmio, iridio, y platino). <https://www.libremercado.com/2014-02-02/la-explotacion-minera-de-asteroides-ya-esta-al-alcance-de-la-mano-1276509604/>.

³⁰ <https://www.libremercado.com/2014-02-02/la-explotacion-minera-de-asteroides-ya-esta-al-alcance-de-la-mano-1276509604/>.

³¹ <https://www.reasonwhy.es/actualidad/nueva-carrera-espacial-sector-privado-turismo>.

espacial o PLD Space que construye cohetes reutilizables y que compiten, entre otros, por alcanzar el liderazgo de la industria espacial; sin olvidar otras empresas españolas como Pangea, Satlantis, Alén Space, DHV.

Como he apuntado, los Estados están cediendo el protagonismo al sector privado que ha detectado en el ámbito espacial oportunidades y nichos de negocio, al que, junto a los más destacados, se van uniendo jóvenes empresas de tipo start-ups.

Tengamos en cuenta que las empresas privadas representan cada vez más un mayor porcentaje de la industria espacial a nivel global y entre ellas se está generando un entorno sumamente competitivo que no debería dejarse al arbitrio de «quien llega más lejos» sino, por el contrario, al arbitrio de un control internacional «de quien lo haga mejor en beneficio de la comunidad internacional en su conjunto» y que, sin duda, en la actualidad, COPUOS es el ámbito más idóneo para controlar estos temas.

Otro proyecto relacionado con la Luna es *dearMoon* que implicaría la primera misión de turismo lunar entre SpaceX y el empresario japonés Yusaku Maezawa en la que se planea la posibilidad de seleccionar y llevar a ocho tripulantes del mundo del arte y de la ciencia, con una duración de una semana. Por otra parte, se están planificando nuevos modelos de estaciones espaciales, tal como lo fue, en su tiempo, la estación rusa MIR, o la Estación Espacial Internacional, en la actualidad.

Michael Sufreddini, antiguo funcionario de la NASA, ha cofundado la empresa Axiom Space³² con el fin de planificar el lanzamiento de la primera estación espacial de carácter privado que se denominará AxStation, que ha sido aprobada por la NASA y que en su día podrá convertirse en un alojamiento de turistas espaciales. Por su parte, The Gateway Foundation ha planteado el proyecto de crear el Voyager Station con la idea de poner en marcha un hotel espacial cuya construcción estará a cargo de la empresa Orbital Assembly Corporation que calcula que podrá ponerse en órbita entre 2025 y 2027.

En esta línea de actuaciones la NASA ha previsto poner en funcionamiento un modelo de cooperación público-privado en el cual la agencia espacial firma contratos de colaboración con empresas privadas que proporcionen los fondos necesarios para seguir llevando adelante las actividades espaciales. En 2014 puso en marcha NextSTEP (*Next Space Technologies for Explorations Partnerships*) con la idea de desarrollar las capacidades de exploración del espacio profundo con criterio comercial y con la finalidad de promocionar misiones tripuladas, tanto a la Luna como más allá, generando nuevas oportunidades comerciales en el espacio. En el marco de esta sinergia, la NASA cubrirá sus objetivos científicos y las empresas adheridas sus objetivos económicos, ya sea probando nuevos sistemas satelitales o diseñando nuevos tipos de vehículos

³² La NASA ha anunciado que Axiom Space y Collins Aerospace se encargarán de desarrollar y fabricar los trajes espaciales que utilizará en sus futuras misiones a la Estación Espacial Internacional y a la Luna. Con este movimiento, que incluye varios contratos por un total de 3.500 millones de dólares, la agencia espacial estadounidense, en un contundente cambio de dirección, pone todas sus expectativas en el sector privado.

que pudiesen servir para vuelos de carácter turístico en el futuro y, en su día, alcanzar Marte³³.

En abril de 2020, Jim Bridestine, Administrador General de la NASA anunció que una serie de empresas (SpaceX, Blue Origin y Dynetics de Leidos) habían sido seleccionadas para diseñar, desarrollar y fabricar los componentes del programa Artemis (como continuación del programa Apolo). El programa Artemis pretende llevar tripulantes, un hombre y una mujer, a la Luna con la idea de obtener recursos e instalar bases lunares permanentes y para ello las empresas implicadas deberán construir el HLS (*Human Landing System*)³⁴ para organizar el exitoso descenso en nuestro satélite natural.

Una de las claves de su sostenibilidad económica será diseñar objetos espaciales tripulados con capacidad de reutilización a lo que habrá que sumar el cohete SLS (*Space Launch System*), la cápsula tripulada Orion y la posible construcción de la estación espacial Gateway en órbita lunar que podrá servir como sistema de repostaje. Se pretende, no solo volver a pisar la Luna sino establecer una presencia sostenible en la superficie y en la órbita lunar y llevar a cabo los primeros pasos hacia una economía lunar.

Para ello la NASA ha buscado el apoyo de agencias espaciales y de empresas privadas con el fin de aposentar en la Luna diferentes tipos de rovers, infraestructuras de base lunar y módulos de alunizaje robótico, dado que lo que se pretende es una especie de colonización lunar. El proyecto se desarrollará a través de distintas misiones por lo que se calculan unos nueve modelos de Artemis que se desarrollarán desde 2022 hasta el 2030, con un primer vuelo tripulado para 2024 (Artemis II) y un alunizaje tripulado para 2025 (Artemis III).

Como señala **Elvira Prado Alegre (2021b)**:

«los Acuerdos Artemis buscan desarrollar una vía paralela que es interesante dado que se ocupa de analizar las actividades en la Luna y de mejorar la seguridad de las operaciones espaciales, la promoción del uso sostenible del espacio y pretende asegurar un régimen jurídico aplicable a las actividades espaciales de carácter civil en un entorno transparente que facilite la exploración, la ciencia y las actividades comerciales teniendo en cuenta el incremento de países y actores del sector privado».

Laura Movilla Pateiro (2021) indica que cabe esperar que estos acuerdos:

«sirvan así también de revulsivo y provoquen una revitalización de un modelo de gobernanza multilateral y descendente como el que representa la COPUOS y en el que se desarrolle un marco jurídico que garantice el cumplimiento de los

³³ <https://www.nasa.gov/nextstep>.

³⁴ Se trata de un «módulo de alunizaje» que su diseño y construcción ha sido asignado a SpaceX, lo que destaca la presencia cada vez más activa de las empresas en el sector espacial.

principios básicos del Tratado del Espacio en el desarrollo de todas las actividades espaciales y otro emergentes como el de su sostenibilidad a largo plazo».

No obstante, cabe puntualizar sobre la preocupación de que el avance de la ciencia y la tecnología estén generando una inquietante deriva hacia la utilización de los recursos espaciales con fines comerciales, lo que sin duda es encomiable, pero que intrínsecamente acarrea el riesgo de que se intensifique la competencia mundial por hacerse con la propiedad de los recursos del espacio ultraterrestre, poniendo en peligro la paz y la seguridad internacionales³⁵.

Por ello, interesa destacar que la cuestión de la explotación o modificación de los recursos naturales requeriría el establecimiento de un marco internacional jurídicamente adecuado dentro del cual pudieran hallarse «soluciones equitativas, sostenibles y racionales»³⁶, con la idea de alcanzar un instrumento jurídicamente vinculante de acuerdo con la filosofía del *Corpus Iuris Spatialis*, dado que la falta de control internacional podría dar lugar a una carrera en pos de los recursos con serias consecuencias económicas y políticas.

La presencia del sector privado en las actividades espaciales abre un nuevo campo de acciones que podría servir, ante el caso de amenazas de colisión de asteroides, para que las misiones de defensa pudiesen llevarse a cabo por empresas particulares. Sin embargo, cabría la posibilidad de que ante un peligro inminente decidiesen actuar por su cuenta y en solitario lo que produciría un «escenario complejo de responsabilidades», pues, como se ha señalado por **Elisa Simó Soler y Eloy Peña Asencio (2022)**,

«en una situación donde la capacidad tecnológica está en manos de las principales potencias mundiales, donde los actores privados tienen más poder que algunos estados y donde el proceso de toma de decisiones no está bien definido, el equilibrio de poder puede verse alterado».

Estos son momentos en los que se «deben aunar las fuerzas para trabajar en beneficio e interés de la humanidad»³⁷, incluso la ausencia de conflictos en el espacio, por el momento, no puede considerarse como una garantía de paz. Se hace necesario replantearse una gobernanza global de las actividades llevadas a cabo en el espacio ultraterrestre, máxime en una era en la que se están incorporando nuevos agentes al ámbito espacial.

Cabe preguntarse cuál sería la ruta más idónea hacia la cooperación internacional y analizar la oportunidad de arbitrar un sistema global de explotación de los minerales en el espacio ultraterrestre, coordinado por un organismo internacional que custodie la regular exploración y explotación de los recursos evitando un deterioro medioam-

³⁵ Informe de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, *cit*, 62º período de sesiones (12 a 21 de junio de 2019), véase párr. 34. A/74/20.

³⁶ *Ibidem*, véase párrs. 35-36. A/74/20.

³⁷ *Ibidem*, véase párrs. 50-54. A/74/20.

biental y que los resultados puedan ser debidamente repartidos en beneficio de la comunidad internacional.

Esto no es óbice para que las empresas privadas que colaboren en estas campañas puedan beneficiarse también económicamente, pero sin que estos beneficios redunden exclusivamente en aquellos que poseen las capacidades tecnológicas y los medios económicos para la mencionada explotación, dado que, además, estamos hablando de recursos naturales limitados que han tardado millones de años en formarse y que, sin el debido control, puedan ser absolutamente esquilados; como en muchos casos ya ha ocurrido en nuestro planeta. La cuestión será no repetir los mismos errores.

Recordemos que la idea de una autoridad internacional para el espacio no es nueva. Fue en 1968, en la ciudad de Viena cuando, en el seno de la Primera Conferencia de las Naciones Unidas para la exploración y utilización pacífica del espacio ultraterrestre (UNISPACE-I), se planteó, por vez primera, la posibilidad de crear una Organización Mundial del Espacio (OME). La idea se volvió a repetir, años más tarde, en 1982, al celebrarse UNISPACE-II, y también se recalcó el interés de reforzar y ampliar la cooperación internacional en materia de actividades espaciales (**Faramiñan Gibert y Zanghi 2007c**).

En diciembre de 1988, el presidente del *Presidium* soviético de la antigua URSS, Mikhail S. Gorbachev, presentó ante la Asamblea General de las Naciones Unidas un documento en el que reforzaba la idea y la necesidad de establecer un mecanismo de funcionamiento que abarcase y controlase el uso pacífico del espacio ultraterrestre y que podría estar a cargo de una Organización Mundial del Espacio. Además, recordaba que no era la primera vez que la URSS proponía un modelo de esta naturaleza, lo que nos permite colegir que no se trata de una necesidad que se ha detectado recientemente sino que, por el contrario, el uso pacífico del espacio requiere, cada vez más, un control internacional que evite que su uso esté exclusivamente en manos de las grandes potencias o, ahora, de las empresas multinacionales.

Dentro de esta línea, en 1999, al celebrarse UNISPACE-III, reapareció la cuestión y resulta importante la aportación de la delegación griega, la cual, a través de la palabra de su Jefe de delegación el Sr. Vassilis Cassapoglou, recordó cómo la comunidad internacional organizada, desde un principio había puesto la actividad espacial bajo la supervisión de las Naciones Unidas, con el fin de que la Organización pudiese vigilarla y, como consecuencia de ello, regularla y controlarla sobre la base de los principios en vigor del derecho internacional y de la coexistencia pacífica (**Cassapoglou 1999**).

Simone Courteix señala la oportunidad (1997):

«de crear una Organización Mundial del Espacio, al más alto nivel, de la mano de Estados con capacidad de realizar actividades espaciales (-y que se encuentren convencidos por la necesidad de plasmarla-), que podría tomar la forma de una solemne Declaración, con el fin de plantear los objetivos a largo plazo, es decir, que se comprometan no sólo a poner en marcha esta Organización sino también a continuar colaborando en su funcionamiento posterior».

Courteix recordaba, como ya se ha apuntado, que la idea de crear una Organización Mundial del Espacio no era nueva, pues ya había sido propuesta en reiteradas ocasiones en el marco de las Naciones Unidas, dando lugar a reacciones y controversias³⁸ sobre la oportunidad de su creación por parte de los Estados miembros de la Organización, así como a interesantes discusiones académicas.

4. REFLEXIONES FINALES

En definitiva, de la mano del derecho internacional y de la cooperación internacional es como mejor podremos solucionar las cuestiones que interesan a la comunidad internacional en su conjunto de las cuales la defensa planetaria constituye un tema crucial.

Si se desea alcanzar una gobernanza espacial coherente y sin negar el interés científico, económico y de desarrollo que supone una explotación equilibrada de los recursos del espacio ultraterrestre resulta urgente, antes de que sea demasiado tarde, elaborar los códigos de conducta que se reflejen en acuerdos internacionales jurídicamente vinculantes.

En tanto que la comunidad internacional no tome conciencia de la necesidad de arbitrar la creación de un organismo internacional o una alta autoridad, como ocurre en el caso de la explotación de los recursos de los fondos marinos y oceánicos, sin olvidar que el medio idóneo y más práctico para controlar la exploración y explotación de los recursos espaciales seguirá siendo la COPUOS y sus dos Subcomisiones, la de los Asuntos Científicos y Técnicos y la de los Asuntos Jurídicos.

Las posibilidades que se abren a nivel económico y científico de la mano de la conquista de los cuerpos celestes son inmensas y no sería éticamente tolerable que los beneficios de dicha explotación fuesen a las arcas de unos pocos Estados o empresas con capacidad tecnológica y económica, ni de un monopolio sobre la capacidad de defensa ante impactos cósmicos. Recordemos que el artículo I del Tratado del Espacio nos indica que «la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, deberán hacerse en provecho y en interés de todos los países, sea cual sea su grado de desarrollo económico y científico, e incumben a toda la humanidad».

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cassapoglou, V. (1999). *Délégation de la Grèce à la IIIème Conférence des Nations Unies pour l'Exploration et les Utilisations Pacifiques de l'Espace Extra-atmosphérique. Déclaration Générale*, UNISPACE III, Vienne, 19-30 juillet 1999, -multicopia-.
- Courteix, S. (1997). *Towards a World Space Organisation? Outlook on Space Law over the Next 30 Years (Essays published for the 30th Anniversary of the Outer Space Treaty)*.

³⁸ En 2001, como miembros de la COMEST de la UNESCO, Fenstad, J. E. y Faramiñán Gilbert, J. M. presentaron ante COPUOS (Subcomisión de Asuntos Jurídicos) la propuesta de crear una Organización Internacional del Espacio (Véase, **Fenstad y Faramiñán Gilbert 2001**).

- Daly, R. T., Ernst, C. M., Barnouin, O. S., Chabot, N. L., Rivkin, A. S., Cheng, A. F., ... y Zhang, Y. (2023). Successful Kinetic Impact into an Asteroid for Planetary Defense. *Nature*, 1-3. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36858073/>.
- Faramián Gilbert, J.M de. (2021a). Nuevas propuestas para el desarrollo sostenible en el espacio ultraterrestre. *Revista Española de Derecho Internacional, Sección Estudios*, 73(1), 111-136.
- (2020b) *Las controvertidas cuestiones de la minería espacial. Lagunas jurídicas en la regulación del espacio ultraterrestre*. Colección Kinnamon Cosmos, Madrid.
- Faramián Gilbert, J. M. de y Zanghì. C (2007c). L'organisation mondiale de l'espace: un défi oublié?, *Mélanges en l'honneur de Simone Courteix, L'adaptation du droit de l'espace. A ses nouveaux défis*. Pedone.
- Fenstad, J. E. y Faramián Gilbert, J. M de. (2001). Contribution de la COMEST (UNESCO) a la 40e session du Comité Juridique du Comité des Nations Unies sur l'Utilisation Pacifique de l'Espace Extra-atmosphérique (COPUOS) (coautor con Mr. Jens Erik Fenstad) y presentada en la Sede del COPUOS en el Vienna International Center y publicada en los Documentos oficiales de las Naciones Unidas.
- Ferrazzani, M. (2002). *How to avoid looming Complications for Future Missions and Exploration - Presentation made at COSPAR, Houston – 19 October*.
- Movilla Pateiro, L. (2021). ¿Hacia un cambio de paradigma en el derecho del espacio ultraterrestre?: los acuerdos Artemisa. *Revista Española de Derecho Internacional, Sección Estudios*, 73(2), 285-310.
- Muñoz Rodriguez, M.C. (2020). Le futur de la coopération spatiale internationale et régionale. En Ph. Achilleas y S. Hobedirs (Dir.), *50 Years of Space Law–Space Law in 50 Years / 50 ans de droit de l'espace-Le droit de l'espace dans 50 ans*, La Haya, Brill/Nijhoff (Académie de droit international de La Haye/The Hague Academy of International Law).
- Prado Alegre, E. (2021a). “Algunas consideraciones Jurídicas para alcanzar un consenso en torno a la gobernanza de la Luna y la utilización de sus recursos”, en *Revista de Estudios Jurídicos de la Universidad de Jaén*, nº 21, 2021, p. 13.
- (2021b). Algunas consideraciones Jurídicas para alcanzar un consenso en torno a la gobernanza de la Luna y la utilización de sus recursos. *Revista de Estudios Jurídicos de la Universidad de Jaén*, 21, 1-20.
- Simó-Soler, E. y Peña-Asensio, E. (2022). From impact refugees to deterritorialized states: Foresighting extreme legal-policy cases in asteroid impact scenarios. *Astronautica*, 192, 402-408.
- Simó Soler, E., Peña Asensio, E., García Hom, A. y Moles Plaza, R. (2023). Las megaconstelaciones de satélites como amenaza a la seguridad. *Revista Jurídica de la Universidad Autónoma de Madrid* (en prensa).

CAPÍTULO 6. UNA APROXIMACIÓN DE GÉNERO A LAS CRISIS HUMANITARIAS: IMPACTO CÓSMICO COMO SUPUESTO DE HECHO

ELISA SIMÓ SOLER¹

Profesora Ayudante Doctora de Derecho Procesal, Universitat de València

DOI: 10.14679/2278

Sumario: 1. DEFENSA PLANETARIA CON PERSPECTIVA DE GÉNERO. 2. EJERCICIO ANALÓGICO: MUJERES Y CRISIS HUMANITARIAS. 2.1. Conflictos armados. 2.2. Crisis climática. 2.3. Pandemia por COVID-19. 3. PROSPECTIVA DE GÉNERO E IMPACTO CÓSMICO. 3.1. Representatividad y toma de decisiones. 3.2. Ecofeminismo y cuidados. 3.3. Situaciones de especial vulnerabilidad. 3.4. Derechos asimétricos entre el Estado amenazado y el Estado de acogida. 4. CONCLUSIONES.

1. DEFENSA PLANETARIA CON PERSPECTIVA DE GÉNERO

La historia belicista del mundo, las catástrofes climáticas y los brotes de epidemias sitúan sistemáticamente a las mujeres en una posición de mayor vulnerabilidad y de mayor riesgo para su integridad física y moral. La violencia sexual de la que son objeto en conflictos armados (**Villellas Ariño 2010**), las tasas de mortalidad consecuencia de desastres naturales (**Stock 2012**) y la desigualdad y violencia multiforme resultado de la pandemia por COVID-19 (**UN Women 2020**) devienen argumentos de inverosímil refutabilidad para no diseñar las acciones defensivas de la Tierra frente al impacto de un meteorito² atendiendo a la categoría del género. Se trata de un motivo vital, que interpela directamente a la vida de las mujeres; una razón de peso que justifica la necesidad de simbiosis entre defensa planetaria y perspectiva de género.

¹ Politóloga, abogada, doctora en Derecho e investigadora posdoctoral Margarita Salas en el Departamento de Derecho Administrativo y Procesal de la Universitat de València, investigadora visitante en el Instituto de Investigaciones Jurídicas y Sociales «L. Gioja» de la Facultad de Derecho en la Universidad de Buenos Aires. Premio extraordinario del Máster en Derecho y Violencia de Género de la Universitat de València. Ha publicado artículos y capítulos de libros y ha intervenido en seminarios, cursos y congresos en el ámbito de la violencia de género, la inteligencia artificial y la defensa planetaria. Participa en el proyecto de investigación «Construyendo consensos para un futuro sostenible: Gobernanza anticipatoria y prospectiva administrativa (PROFUTURE)» (PID2020-116401GB-I00).

² Como se explica en el primer Capítulo, los objetos espaciales que pueden impactar contra la Tierra son los asteroides y los cometas, que típicamente se agrupan con el término impacto cósmico. Cabe destacar que solo se denomina meteorito a los cuerpos extraterrestres de tamaño apreciable que consiguen sobrevivir a la entrada atmosférica sin desintegrarse y tocar la superficie terrestre.

Al margen de esta cuestión de estricta supervivencia e igual valor de las vidas humanas, concurren dos fundamentos adicionales que refuerzan la unión entre defensa planetaria y perspectiva de género. El primero de ellos, proviene de los postulados del ecofeminismo. El segundo, deriva del reconocimiento de derechos humanos a las mujeres.

Las proposiciones ecofeministas permiten incorporar a la defensa planetaria una mirada no androcéntrica y no antropocentrista, desplazando al hombre como sujeto jurídico-político de referencia del conjunto de medidas para enfrentar un impacto cósmico y despojándolo de su condición de único sujeto merecedor de entidad y valor al incluir a las mujeres, al resto de animales no humanos y a la Naturaleza³. Esta afirmación de las mujeres como individuos formalmente iguales y con capacidad de agencia, en su vertiente activa, permite la introducción del conocimiento de las mujeres. Como explica Puleo, la exclusión y sometimiento de las mujeres durante siglos, las sitúa en una posición de poder realizar valiosas aportaciones en momentos de crisis civilizatoria (**Puleo 2021**). En su vertiente pasiva, su equiparación a los hombres en igual dignidad implica la necesaria acogida por parte de las instituciones públicas de las demandas de las mujeres y la adecuada provisión con recursos públicos para cubrir sus necesidades básicas.

La teoría ecofeminista vacía de contenido el androantropocentrismo y frente a él reclama la ecodependencia y la interdependencia como realidades elementales que hay que asumir y aprender a gestionar. Los seres humanos estamos sujetos a los límites biofísicos de la Tierra y, al tiempo, el ciclo vital requiere de los cuidados de otros sujetos. En palabras de Herrero, no puede sostenerse «una especie de idea de transcendencia, como si cada uno de nosotros pudiéramos concebirnos como emancipados de la naturaleza y de nuestro propio cuerpo. No es así. Vivimos en la naturaleza y vivimos en nuestro cuerpo, que envejece, que enferma, que tiene que ser cuidado» (**Herrero Cabrejas 2017**). La ética del cuidado ecofeminista no solo resitúa los cuidados entre seres humanos (o mejor expresado, de las mujeres hacia el resto de la sociedad) en el centro de la vida y aspira a alterar la jerarquía de los roles impuestos en un capitalismo heteropatriarcal que subestima y desvaloriza las cualidades socialmente asignadas a las mujeres relacionadas con la atención al resto (empatía, compasión, sensibilidad) sino que pretende extender la lógica de cuidados respecto a los animales no humanos y al planeta. De este modo, la consideración de la Naturaleza como una entidad que merece ser cuidada y respetada impulsa el diseño de instrumentos preventivos ante la amenaza de un cuerpo celeste. Así, la afirmación de Puleo acerca del cuidado podría ser completada considerando que «[e]l cuidado es preocupación, atención, protección...» y también prevención (**Puleo 2021**).

Una justificación adicional del enfoque ecofeminista de la defensa planetaria proviene de su vocación internacionalista. Las consecuencias de la globalización se leen en términos económicos, al instaurar el extractivismo y el expolio como proceso económico consolidado que, en múltiples lugares del planeta, despoja a las mujeres de

³ Para un análisis sobre la igual consideración de los animales no humanos en defensa planetaria se recomienda la lectura del capítulo de Catia Faria.

las tierras (Puleo 2002), y en términos jurídicos, al excluir a las mujeres empobrecidas y racializadas de las declaraciones de derechos y libertades: «son reducidas a vientres de alquiler y a cuerpos para dar placer en la prostitución. Son tratadas como vasijas, tierra a la que se arranca los frutos, mamíferas violentamente separadas de sus criaturas, fluidos orgánicos, espera y dolor organizados y distribuidos por la razón instrumental del poder neocolonial» (Puleo 2021). Siendo esta la posición normalizada de las mujeres precarizadas del Sur, ¿por qué cabría esperar una reacción diferente en el caso de colisión catastrófica de un meteorito? ¿Por qué esperar que el Norte Global reequilibre su balanza en favor de las históricamente olvidadas y degradadas? Más si cabe cuando estas situaciones se exacerban en escenarios extremos de supervivencia.

Sin embargo, el no reconocimiento de derechos a las mujeres constituye una omisión intencionada que contradice el marco normativo universal que iguala en derechos y libertades a mujeres y hombres. Un conjunto normativo contra la opresión de las mujeres en todas sus formas y, en especial, contra la amenaza de sufrir violencia. La violencia contra las mujeres es la manifestación más evidente y brutal de la discriminación, aunque existen otros factores previos (creencias, normas culturales, pautas de socialización) que generan entornos opresivos para ellas. La impregnación de estas dinámicas patriarcales en múltiples esferas de la vida (políticas públicas, mercado laboral, religión, familia, relaciones de pareja, arte, pero también guerras y catástrofes naturales) hace necesario transversalizar el análisis de la desigualdad entre mujeres y hombres. Desde el año 1997, la estrategia transversal de género o «gender mainstreaming» constituye un mandato oficial de la Organización de Naciones Unidas (ONU). El Consejo Económico y Social (ECOSOC) en sus Conclusiones 1997/2 conceptualizó la transversalidad de género como «el proceso de examen de las implicaciones para mujeres y hombres de cualquier acción planificada, incluida la legislación, las políticas o los programas, en todos los ámbitos y a todos los niveles». Se trata de una estrategia política para «hacer de las preocupaciones y experiencias de mujeres y hombres una dimensión integral del diseño, la aplicación, el seguimiento y la evaluación de las políticas y los programas en todas las esferas políticas, económicas y sociales», para evitar la desigualdad y la discriminación, constituyendo, de este modo, una herramienta analítica de carácter preventivo. Aplicar la perspectiva de género como metodología contribuye a dismantelar las estructuras patriarcales que, más allá de la violencia explícita, repercuten directamente en las condiciones de vida de las mujeres.

La igualdad es un valor y un derecho humano. La Declaración Universal de los Derechos Humanos, adoptada por la Asamblea General de la ONU el 10 de diciembre de 1948 establece en su artículo primero que «Todos los seres humanos nacen libres e iguales en dignidad y derechos» para, en su artículo 2, precisar que «Toda persona tiene todos los derechos y libertades proclamados en esta Declaración, sin distinción alguna de raza, color, sexo, idioma, religión, opinión política o de cualquier otra índole, origen nacional o social, posición económica, nacimiento o cualquier otra condición». La defensa planetaria reclama inexorablemente una perspectiva de género con enfoque interseccional que atienda a los puntos de encuentro entre diferentes ejes de opresión, ya que la adopción de medidas preventivas, de intervención o reparación frente a la

amenaza (o el resultado) de un impacto cósmico tendrán que considerar las múltiples posiciones de las mujeres en función, no solo de su sexo/género, sino también de la clase social, la raza o cualquier otra condición señalada anteriormente que pueda agravar el grado de vulnerabilidad. En términos estrictamente materiales, no es difícil imaginar los mayores problemas a los que se tendría que enfrentar una mujer sin recursos económicos o educativos para salir de un país, en comparación con otra que disponga de los medios suficientes para adquirir un salvoconducto o acceder a las vías institucionales de éxodo del territorio.

Naciones Unidas ha organizado cuatro conferencias mundiales sobre la mujer, celebradas en Ciudad de México (1975), Copenhague (1980), Nairobi (1985) y Pekín (1995). La Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer celebrada (Pekín 1995) marcó un importante punto de inflexión en la agenda global para la igualdad de género. La Declaración y la Plataforma de Acción de Beijing, aprobadas por unanimidad por 189 países, constituye un programa para la emancipación de las mujeres y se considera el documento político mundial clave sobre la igualdad de género. Promueve la incorporación de la perspectiva de género en lo que denomina «esferas de especial preocupación» que constituyen, en la práctica, el conjunto de espacios que integran la vida de una persona (salud, educación, medio ambiente, economía, medios de comunicación, escenarios de toma de decisiones) y aquellos en los que algunas personas pueden verse involucradas (pobreza o conflictos armados). Su inclusión permite valorar el impacto diferenciado de los distintos planes de acción en mujeres y hombres, así como evidenciar la necesidad de fomentar la participación de las mujeres en todas las políticas públicas implementadas en las áreas mencionadas.

Durante el Decenio de las Naciones Unidas para la Mujer, en 1979, la Asamblea General adoptó la Convención sobre la eliminación de todas las formas de discriminación contra la mujer (conocida como CEDAW por sus siglas en inglés), que a menudo se describe como una Carta Internacional de Derechos para la Mujer. Define la discriminación contra la mujer como «toda distinción, exclusión o restricción basada en el sexo que tenga por objeto o resultado menoscabar o anular el reconocimiento, goce o ejercicio por la mujer, independientemente de su estado civil, sobre la base de la igualdad del hombre y la mujer, de los derechos humanos y las libertades fundamentales en las esferas política, económica, social, cultural y civil o en cualquier otra esfera» (art. 1) e insta a los Estados Partes a combatirla por acción y omisión, esto es, adoptando las medidas adecuadas, legislativas y de otro carácter, con las sanciones correspondientes, que prohíban toda discriminación contra la mujer (art. 2 b) al tiempo que las autoridades e instituciones públicas deben abstenerse de incurrir en todo acto o práctica de discriminación contra la mujer (art. 2 d). Una doble obligación vinculante para los Estados firmantes vigente en un contexto de amenaza de colisión de un meteorito.

Un escenario de impacto de un gran objeto procedente del espacio devendrá una situación de alto riesgo con un amplio margen de incertidumbre (**Baum 2018**) que requerirá la asunción de la estrategia transversal de género para la formulación de un análisis diferenciado de las necesidades y consecuencias para las mujeres e, incluso,

una mirada feminista en las propias acciones y estrategias a seguir. Sin embargo, atender las diferencias entre mujeres y hombres no supone el refuerzo de ningún análisis esencialista del género. El abordaje de las diferencias por sexos actuales se remite a aquellas estadísticamente observadas y contextualizadas en un momento histórico, pero no implica afirmar que sean consustanciales a los individuos, constituyendo un acercamiento facilitador y en ningún caso prescriptivo. Pese a que la socialización en función de un reparto arbitrario y utilitario de roles de género ha condicionado la conformación de personalidades y expectativas sobre lo que es ser hombre y mujer y lo que se espera de cada sujeto, un estudio con perspectiva de género interseccional diluye la comprensión de las mujeres como un colectivo homogéneo y permite abordar los objetos de estudio, en este caso la defensa planetaria, asumiendo los diversos ejes que intersectan con la categoría «género» y conforman la identidad y los potenciales condicionantes de discriminación múltiple de las mujeres.

2. EJERCICIO ANALÓGICO: MUJERES Y CRISIS HUMANITARIAS

El escenario de impacto de un objeto astronómico ha sido abordado en diversas ocasiones con ligereza desde el sensacionalismo. Sin embargo, para la comunidad científica se trata de un acontecimiento que, si bien no supone un riesgo inminente, en caso de materializarse podría dibujar contextos extremos que supondrían una alteración catastrófica para la humanidad y la vida en general.

Siendo baja la probabilidad de una nueva colisión de tales dimensiones (aunque no nula), el interés actual de las misiones DART y Hera confirma su consideración como amenaza futura con un elevado grado de incertidumbre respecto al momento en el que podría tener lugar, ya que en el estado actual de la técnica no se han conseguido detectar todos los Objetos Potencialmente Peligrosos (OPP) que se aproximan a la Tierra.

La prevención trae consigo la capacidad de anticipación, siendo una técnica útil a tal efecto la realización de estudios comparados que faciliten trazar puntos de conexión entre situaciones similares para conformar de antemano el conjunto de normas, medios, especialistas, etc. con el objetivo de proteger a la población y, en especial, a aquellos colectivos tradicionalmente vulnerados entre los que se encuentran las mujeres.

Los conflictos bélicos, la crisis climática y la pandemia por SARS-CoV-2 sirven de supuestos análogos a partir de los cuales extrapolar aprendizajes para el contexto de colisión de un objeto astronómico. La revisión de estos tres marcos de referencia se realiza desde la perspectiva de género interseccional para comprender la posición diversa de las mujeres, sin buscar la esencialidad de la mujer como víctima, pero advirtiendo los ejes que pueden potenciar su vulnerabilidad e incluso maltrato. Ante la ausencia de un precedente de impacto catastrófico para la humanidad, constituyendo un ámbito inexplorado, el análisis de otros escenarios que han instalado a las mujeres en situaciones límite sirve para generar estrategias preventivas y proteccionistas de derechos.

2.1. Conflictos armados

Los peligros para la vida de las mujeres asociados a la guerra, principalmente el aumento de las posibilidades de sufrir violencia, deberían asumirse como potenciales riesgos ante el supuesto de colisión de un gran objeto de origen espacial. La situación de caos y supervivencia, los movimientos migratorios y las posibles invasiones poblacionales generadas por un conflicto bélico podrían asimilarse a la inesperada movilización de toda una población en riesgo de impacto cósmico (**Simó-Soler y Peña-Asensio 2022**). En momentos de incertidumbre y confusión, la pretendida subordinación de las mujeres puede verse acrecentada en forma de violencia explícita hacia ellas.

Aunque podría considerarse que la barbarie que rodea a los enfrentamientos armados iguala en sufrimiento a quienes los padecen, las guerras no constituyen fenómenos neutros respecto al género, sino que las estructuras patriarcales resisten el envite de las explosiones y agravan las divisiones de género (**Villellas Ariño 2010**). Pese a la ausencia de cifras y protocolos –que, por otro lado, no es ninguna novedad– para recuperar los testimonios y dimensionar la magnitud de la violencia contra las mujeres en situaciones de conflicto (**Wilches 2010**), esta realidad ya ha sido identificada y reconocida por el derecho internacional de los derechos humanos. De igual modo que la guerra presenta un impacto diferenciado de género, también lo tiene la reconstrucción posconflicto. Según **Vanyó Vicedo (2016)**, la implantación de operaciones de mantenimiento de la paz «articula nuevas jerarquías de poder y, por tanto, de género». La militarización y masculinización de los operativos, unidas a su ajenidad respecto a la población civil y a las condiciones de miseria y precariedad, definen un contexto proclive a los abusos y la explotación de las mujeres. Además, para la misma autora, un segundo elemento clave en la afectación desigual por género de estas acciones lo constituye la nula participación de las mujeres en las etapas pre y posconflicto siendo, en cambio, esencial contar con sus contribuciones, necesidades y demandas.

Sin ánimo exhaustivo, el artículo 7, apartado 1, letra g del Estatuto de Roma de la Corte Penal Internacional (1998) tipifica como crimen de lesa humanidad, la violación, esclavitud sexual, prostitución forzada, embarazo forzado, esterilización forzada o cualquier otra forma de violencia sexual de gravedad comparable, y como crimen de guerra, en el artículo 8.b.xxii, cuando también constituyan una infracción grave de los Convenios de Ginebra. El artículo 27 del IV Convenio de Ginebra relativo a la protección debida a las personas civiles en tiempo de guerra (1949) dispone que las mujeres serán especialmente protegidas contra todo atentado a su honor y, en particular, contra la violación, la prostitución forzada y todo atentado a su pudor. No obstante, la mención al honor quedó suprimida en el Protocolo Adicional a los Convenios de Ginebra del 12 de agosto de 1949 relativo a la protección de las víctimas de los conflictos armados internacionales (Protocolo I) de 1977⁴. La Declaración y Programa de Acción de Viena aprobados por la Conferencia Mundial de Derechos Humanos en 1993 estipula en el

⁴ Pese al progreso que supone la supresión del concepto de «honor», el Derecho Internacional Humanitario ha sido criticado por parte de teóricas feministas desde dos posiciones advirtiendo: «por un lado, que algunas disposiciones perpetúan estereotipos de género [casi la mitad hacen referencia al

apartado titulado Igualdad, Dignidad y Tolerancia que «las violaciones de los derechos humanos de la mujer en situaciones de conflicto armado constituyen violaciones de los principios fundamentales de los derechos humanos y el derecho humanitario internacionales. Todos los delitos de ese tipo, en particular los asesinatos, las violaciones sistemáticas, la esclavitud sexual y los embarazos forzados, requieren una respuesta especialmente eficaz».

Posteriormente, con la aprobación en el año 2000 de la resolución 1325 (2008), el Consejo de Seguridad manifiesta su voluntad de incorporar una perspectiva de género en las operaciones de mantenimiento de la paz, una máxima que se mantiene en la promulgación de otras resoluciones que conforman lo que se ha denominado la Agenda Mujeres, Paz y Seguridad (**Urrutia Arestizábal, Vilellas Ariño y Vilellas Ariño 2020; Vanyó Vicedo 2022**). Ello implica atender a las necesidades especiales de mujeres y niñas, fomentar su participación en los procesos de adopción de decisiones en materia de prevención, solución de conflictos y consolidación de la paz, así como garantizar la protección y el respeto de los derechos humanos de las mujeres y las niñas en la constitución, el sistema electoral, la policía y el sistema judicial, pero también proteger de la violencia por razón de género, particularmente la violación y otras formas de abusos sexuales. No obstante, el despliegue de esta Agenda no está exenta de críticas. Para **Vanyó Vicedo (2022)**, el trabajo de Naciones Unidas y de los Estados y organizaciones regionales se rige por «cánones y esquemas hegemónicos, estatocentristas, militaristas y androcéntricos». Además, se prioriza el ala de la seguridad desde un enfoque protector de las mujeres como sujetos siempre necesitados de auxilio, mientras se las incorpora en los distintos espacios de intervención como mera cuestión estética sin atender al verdadero grado de permeación del enfoque de género.

La jurisprudencia también contribuyó desde un inicio a la represión de la violencia sexual a partir del establecimiento de dos tribunales internacionales especiales encargados de juzgar los crímenes de guerra para la ex Yugoslavia y para Ruanda. La sentencia dictada por el Tribunal Penal Internacional para Ruanda (TPIR) en la causa *Fiscalía c. Akayesu* en 1998 impone la primera condena por violación y otros actos de violencia sexual como crimen de genocidio, ya que su comisión tuvo por objeto destruir, total o parcialmente, a un grupo específico (**Cardoso Onofre de Alencar 2011**) y es la primera vez que un Tribunal engloba la violencia sexual en su Estatuto. Además, en ese mismo caso, el TPIR incorporó una definición holística y amplia de las agresiones sexuales como «todo acto de naturaleza sexual cometido sobre una persona bajo coerción» y entiende que «la violencia sexual no se limita a la invasión física del cuerpo humano y puede incluir actos que no impliquen penetración o siquiera contacto físico» (TPIR, *Akayesu*, párr. 598 y 688), de modo que se subsumen comportamientos como la desnudez forzada o la obligación de bailar de manera erótica delante de soldados (**Gutiérrez-Solana Journoud y Zirion Landaluze 2020**).

Por su parte, el Tribunal Penal para la antigua Yugoslavia, analizó varios asuntos en los que comprendía la violación y otras violencias sexuales como crimen de guerra de

rol de la mujer como embarazada o lactante] y, por otro, que se utilizan conceptos y valores arcaicos» (**Martín Martínez e Iñigo Álvarez 2020**).

tortura (caso Čelebići) y asumió la esclavitud sexual como crimen de lesa humanidad (caso *Kunarac*). Asimismo, incluyó la violación como un crimen de lesa humanidad en su Estatuto (**Gutiérrez-Solana Journoud y Zirion Landaluze 2020; Cardoso Onofre de Alencar 2011**). La línea jurisprudencial de ambos tribunales *ad hoc* constituyó el precedente y fundamento para la inclusión de la perspectiva de género en el Estatuto de Roma de la Corte Penal Internacional (**Martín Martínez e Iñigo Álvarez 2020**).

No obstante, **Segato (2014)** señala que la transformación en el despliegue de la guerra y la brutalidad hacia los cuerpos de las mujeres, supera los progresos legales destinados a mejorar y aumentar la protección de sus vidas. Manifiesta que la violencia sexual ejercida contra las mujeres deja de constituir un daño colateral del conflicto para devenir un «comportamiento militar planificado» (**Segato 2014**), un «plan estratégico» (**Franco 2008**) que se caracteriza por la despersonalización, la territorialidad corporal, el terror y el aleccionamiento.

La violencia sexual que se ejerce en escenarios de conflictividad creciente no se perpetúa necesariamente por parejas o exparejas, sino que se ubica al margen de la intimidad, teniendo que reivindicarse como un problema público (**Segato 2014**). Son los integrantes de grupos armados de naturaleza estatal o paraestatal quienes públicamente agreden a las mujeres violentando al cuerpo femenino como terreno-territorio de la propia acción bélica y como estrategia de miedo individual y colectivo. La definición de los cuerpos de las mujeres como territorio de conquista constituye la representación material del «espectáculo de poder, en su exhibición de barbarie y ferocidad» en palabras de **Rita Segato (2014)**, ya que la violencia no se ejerce contra el bando enemigo sino contra las mujeres de esa población, generando un sentimiento de humillación por la incapacidad de proteger al tiempo que se transmite un mensaje general de sometimiento y control.

Como precisa **Villellas Ariño (2010)**, la violencia sexual obedecería no a la necesidad de satisfacer un deseo sexual sino a la voluntad de destruir el tejido social y familiar de una comunidad determinada. Sobre esta cuestión, cabe tener en cuenta que la evolución sociojurídica de los delitos que afectan a la esfera sexual de las mujeres ha sido diferente en los distintos Estados, manteniéndose todavía un nexo vinculado al honor en algunos de ellos. La honorabilidad de las mujeres y de las familias puede verse manchada por un acto de violencia sexual que deriva en el estigma y la culpa hacia las mujeres, siendo de nuevo imprescindible la adopción de un enfoque interseccional para comprender de forma integral los efectos resultantes de un mismo acto en diferentes mujeres.

La violencia sexual constituye una violencia instrumental que interpela negativamente a las mujeres en cuatro dimensiones de la vida (**Andrade Salazar et al. 2017**): 1) territorial-material, limitando la capacidad de acceso a bienes y servicios alterando directamente el rol de cuidadoras; 2) social-comunitaria, rompiendo los vínculos y lazos sociales; 3) política-ideológica, impidiendo la igual participación de las mujeres en los procesos de toma de decisiones y 4) corporal-mental, generando perjuicios que se manifiestan en el orden simbólico. Además, varias autoras asimilan el potencial de degradación de las mujeres con el expolio violento a la naturaleza (**Segato 2014**) y

comparan el trato que reciben con el que se dirige a animales y prostitutas como seres inferiores (**Franco 2008**). De hecho, recupera **Puleo (2021)** un alegato del Marqués de Sade, a finales del siglo XVIII en el que «advertía a los gobernantes de que no había mejor medio para aplacar a ciudadanos descontentos que ofrecerles prostíbulos en los que pudieran dar rienda suelta a sus pulsiones». En ausencia de prostíbulos, las mujeres objetivadas desde su funcionalidad al placer y la reproducción se convierten en objetivos prioritarios en situaciones de crisis. A la violencia contra las mujeres en forma de violaciones sistemáticas, embarazos y abortos forzados, mutilaciones... se suman los desplazamientos, la pérdida del hogar y el rol de cuidadoras mantenedoras de la paz social y familiar (**Martín Martínez e Iñigo Álvarez 2020**).

Como se ha advertido al inicio, es importante resaltar que la amenaza de impacto cósmico constituye un escenario nuevo para la humanidad (no así para la Tierra) y que, dado que las mujeres son colocadas en posiciones límite en escenarios límite (en este caso, instrumentalizadas como objetivos claros de la violencia sexual en tiempos de guerra) los recorridos revisionistas favorecen la anticipación en la que, siguiendo una lectura interseccional y contextual, es imprescindible atender a las modalidades y grados de violencia que sufren las mujeres según la zona geográfica del planeta en el que se encuentren, como puntualiza la Recomendación general núm. 30 del Comité de la CEDAW sobre las mujeres en la prevención de conflictos y en situaciones de conflicto y posteriores a conflictos de 1 de noviembre de 2013. Tomar como referencia los conflictos armados sirve para reforzar la importancia de contar con un marco normativo fruto del análisis con perspectiva de género que señale los actos que puedan constituir infracciones de derechos humanos y asumir que las mujeres pueden devenir sujetos vulnerables a los que hay que garantizar una especial protección e incluir en los procesos decisionales.

2.2. Crisis climática

El escenario desértico o totalmente inundado, ambos inhabitables, resultado de la emergencia climática podría asemejarse al estado del no-territorio tras una colisión. Siendo las causas de ambos fenómenos catastróficos muy diferentes en cuanto a su origen (factores antropogénicos y no antropogénicos), los efectos que las alteraciones medioambientales tienen en las mujeres pueden servir de guía como estrategia preventiva en el supuesto de impacto cósmico.

Abordar esta cuestión requiere de la asunción de una serie de premisas fundamentales. La primera de ellas responde a la evitación del esencialismo y la homogeneidad de las mujeres en su relación con el medio natural. Cabe reafirmar que las mujeres no constituyen un todo monolítico, pese a su configuración como sujeto jurídico-político y, además, la mayor opresión que ejerce la coalición capitalista-patriarcal fuerza su desigualdad respecto del hombre. En los estudios sobre mujer y cambio climático se resalta la doble naturaleza de las mujeres, como individuos especialmente vulnerables a las transformaciones en el entorno natural y como agentes del cambio pudiendo, en cierto grado, convertirlas en responsables de un viraje en favor de la sostenibilidad y el

buen trato al planeta (**Arora-Jonsson 2011; Resurrección 2013**). La recomendación general núm. 34 (2016) sobre los derechos de las mujeres rurales del Comité de la CE-DAW, mantiene esta doble categoría: reconoce la peor situación de las mujeres rurales, con tasas desproporcionadas de pobreza y exclusión, y las considera impulsoras del desarrollo sostenible debiendo garantizar los Estados que puedan actuar y ser visibles como partes interesadas, responsables de tomar decisiones y beneficiarias (párr. 35 y 36). Para el Comité «no debe ignorarse la importancia del empoderamiento, la libre determinación y la posición de las mujeres rurales en la toma de decisiones y la gobernanza. Cuando se ignora, los Estados ponen en peligro su propio progreso» (párr. 6).

No obstante, la mayor vulnerabilidad de las mujeres queda matizada cuando al análisis sobre los efectos de la crisis climática se incorporan otras categorías sociales (edad, raza, educación, ingresos, estado de salud, modelos de estratificación social, estado civil, orientación sexual, creencias religiosas, ocupación laboral...) que interseccionan con el género y ponen de manifiesto que no siempre, y en todo caso, las mujeres van a ser las más perjudicadas ante una catástrofe climatológica (**Arora-Jonsson 2011**). A modo de ejemplo, los hombres de países empobrecidos pueden verse perjudicados como propietarios de la tierra (aunque las mujeres no pueden perder lo que no poseen) o como responsables de la seguridad alimentaria del hogar en ciertas regiones donde las mujeres pueden invocar normas culturales que exigen el abastecimiento de alimentos por parte de los hombres (**Goh 2012**). Además, la experiencia de una mujer, blanca, de clase media, occidental posiblemente sea menos traumática que la de un hombre, negro, que habite un país empobrecido.

Además, en ese enfoque interseccional, el contexto Norte-Sur global deviene una coordenada básica. En la mayoría de trabajos empíricos los ejemplos sobre la afectación de las condiciones meteorológicas extremas según el género se concentran en los países empobrecidos. Según **Roehr (2007)**, las mujeres del Sur se ven más afectadas por el cambio climático, son las que más sufren y las que tienen menor capacidad (económica, informativa, educativa, etc.) para adaptarse y prepararse para sus efectos. Este desfase en términos globales podría ser replicable en el supuesto de una colisión, ya que Estados Unidos, China, Rusia, Francia y Reino Unido son las potencias que concentran la capacidad tecnológica y el poder político para articular misiones (**Simó-Soler y Peña-Asensio 2022**), de modo que las mujeres de esos países tendrían mayores posibilidades de prevenir, protegerse y adaptarse ante la amenaza de un impacto de un Objeto Cercano a la Tierra (OCT).

Rebajar las expectativas respecto a la articulación teórica de «la Mujer» no impide considerar que los datos empíricos corroboran que los impactos climáticos pueden afectar de forma diferente a hombres y mujeres y que ellas tienden a sufrir mayores perjuicios en sus bienes y su bienestar (**Goh 2012**). Goh elabora una revisión bibliográfica para evaluar esta diferenciación por género a partir de seis áreas de impacto: (i) impactos relacionados con la producción agrícola, (ii) seguridad alimentaria, (iii) salud, (iv) recursos hídricos y energéticos, (v) migración y conflictos inducidos por el clima y (vi) desastres naturales relacionados con el clima.

De su estudio se pueden extraer notas de sumo interés, entre otras, cómo los problemas de acceso a la información por parte de las mujeres las exponen negativamente ante los cambios meteorológicos. Los distintos medios empleados para recabar información sobre previsiones meteorológicas condicionan su capacidad de anticipación. Una experiencia recogida en Sudáfrica ponía de manifiesto que, a diferencia de los hombres, la imposibilidad de las mujeres de paralizar una hora del día para escuchar la radio limitaba su conocimiento sobre las inclemencias del tiempo (**Goh 2012**). También influye la posibilidad de ocupar el espacio público. Durante el ciclón que azotó Bangladesh en 1991, la información de advertencia era transmitida a los hombres por parte de otros hombres en espacios públicos, pero raramente comunicada al resto de la familia. Dado que a muchas mujeres no se les permitía salir de casa, la tasa de mortalidad femenina fue casi cinco veces más alta que la masculina, debido a que perecieron mientras esperaban a que sus familiares regresaran a casa y las llevaran a un lugar seguro (**Roehr 2007**).

Tal y como afirma **Stock (2012)**, «[l]as restricciones del comportamiento de las mujeres las conducen a una movilidad limitada, lo que implica que se encuentran confinadas y limitadas en sus casas y/o con frecuencia no han aprendido a nadar». Este último detalle, mínimo quizá desde una cosmovisión occidental, es de máxima relevancia en otros territorios. Las normas que prohíben enseñar a nadar a las mujeres y su autopercepción como cuidadoras familiares (aumentando las dificultades del autorrescate por la necesidad de atender a menores y personas dependientes) son los factores que pueden derivar en un incremento de las tasas de mortalidad femenina durante las inundaciones, como ocurrió en el tsunami de 2004 en el océano Índico, donde el 77% de las víctimas fueron mujeres (**Eastin 2018; Dimitrov 2019**). La priorización de la familia por delante de la propia supervivencia se puede observar también en el eje de la seguridad alimentaria. Ante catástrofes climáticas, las mujeres tienen más dificultades para proporcionar alimentos a sus familias, reducen y posponen su ingesta de alimentos para que otros miembros de la familia puedan comer más, lo que puede desencadenar problemas de malnutrición (**Arora-Jonsson 2011; Goh 2012**).

La proximidad al trabajo de cuidados las hace más dependientes del medio natural. Las mujeres son responsables del 80% de la producción doméstica de alimentos en África y Asia y del 45% en América Latina y el Caribe. La degradación ambiental puede afectar gravemente a su capacidad para realizar las tareas cotidianas de mantenimiento del hogar. El agotamiento de la productividad del suelo, por la escasez de agua, o la crisis energética, por la falta de leña, obliga a las mujeres a dedicar más tiempo a proporcionar bienes y servicios de primera necesidad a sus familias, siendo mayor su carga de trabajo y viendo reducido su tiempo de participación en la toma de decisiones y en las actividades generadoras de ingresos (**Roehr 2007**). El trabajo adicional de cuidados en momentos de crisis y los bajos niveles de intervención en los procesos decisionales, constituye un aspecto a prevenir en el supuesto de impacto cósmico, dada la peor calidad de vida que experimentan las mujeres y el valioso conocimiento que pueden aportar al ser capaces de detectar el deterioro de sus condiciones materiales y la vulneración de derechos, elemento compartido con los escenarios bélicos (**Roehr 2007**).

Otro aspecto que ha sido objeto de los estudios de género es la diferente percepción del riesgo entre hombres y mujeres ante la emergencia climática. En los países industrializados, por su gravedad, las mujeres otorgan mayor importancia al cambio climático que los hombres y apuestan por una transformación del estilo de vida y una reducción del consumo de energía como instrumentos para combatirlo, frente al apoyo de los hombres a las soluciones técnicas. Sería conveniente desarrollar estudios de este tipo, sobre la percepción del riesgo, para el supuesto de impacto de un meteorito con la finalidad de conocer qué tipo de medidas tienden a apoyar y adoptar hombres y mujeres, en qué margen temporal y con qué grado de efectividad, además de para diseñar estrategias de reducción de riesgos y de atención de necesidades particulares. Asimismo, la diferente exposición al peligro se pudo observar tras evaluar el comportamiento de hombres y mujeres cuando el huracán Mitch asoló Centroamérica en 1998. El mayor número de hombres fallecidos se ha relacionado con los rasgos típicos de la heroicidad masculina que los anima a emprender acciones arriesgadas. Afirma **Roehr (2007)** que «las mujeres corren riesgos sobre todo durante la catástrofe (y, a menudo, después de ella⁵), cuando se ven abocadas a situaciones de riesgo en las que no pueden decidir si quedarse o marcharse. Por el contrario, los hombres corren más riesgos en la búsqueda de supervivientes y la limpieza tras las catástrofes y es más probable que puedan decidir por sí mismos cómo actuar».

La reducida capacidad de reacción de las mujeres podría estar vinculada a la también reducida capacidad de agencia. En este sentido, el principio número 20 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (2020) considera imprescindible contar con su plena participación para lograr el desarrollo sostenible, a lo que cabría sumar funciones de liderazgo para forzar el desarrollo de informes de impacto sobre decisiones relacionadas con el medio ambiente como impulsa la Declaración y la Plataforma de Acción de Beijing.

2.3. Pandemia por COVID-19

Como se ha avanzado, las crisis afectan de manera desigual a mujeres y hombres. En el caso de la pandemia mundial por la expansión del virus SARS-CoV-2 las diferencias se pueden apreciar tanto en su sintomatología (como consecuencia primaria) como en los efectos irradiados vinculados al rol que las mujeres desempeñan en la sociedad. La misma precaución debería adoptarse en el caso de un impacto cósmico. Las implicaciones (laborales y psicoemocionales) para las mujeres como sostenedoras del bienestar familiar, los riesgos específicos a los que se enfrentan y las necesidades concretas que requieren ser cubiertas, son algunos de los parámetros extrapolables al supuesto de colisión de un OCT.

La ausencia de perspectiva de género interseccional en la gestión de la crisis por COVID-19 ha sido puesta de manifiesto por organismos y personas especializadas y

⁵ Como ocurre en el caso de los desplazamientos por conflictos bélicos, en la fase posterior a la catástrofe, aumenta el riesgo para las mujeres y niñas de sufrir violencia (**Carvajal-Escobar 2008**).

criticada por un sector de la opinión pública (mayoritariamente mujeres afectadas por los efectos adversos del confinamiento). Bajo la falsa apreciación de que se trataba de una amenaza que igualaba a toda la humanidad (nadie podía escapar del contagio), no se adoptaron de antemano medidas que respondieran de manera efectiva a las diferentes experiencias vivenciales de la pandemia en función del género y de otras categorías sociales. La «tiranía de lo urgente», aquella que prioriza la respuesta biomédica, pero olvida las desigualdades estructurales impide en brotes epidemiológicos (como ocurrió con los virus del Ébola y Zika, y esta vez con la COVID-19) la previa configuración de contextos de vulnerabilidad y desprecia la capacidad para hacer frente a las emergencias y la posible participación resolutoria de los colectivos marginados del poder decisorial, entre ellos, las mujeres (**Castellanos-Torres 2021**).

Los diferentes efectos de la pandemia pueden observarse en varias esferas de la vida que engloban la respuesta estrictamente sanitaria, pero también las áreas de actuación sociopolíticas y económicas. Según cifras de la Organización Internacional del Trabajo (**OIT 2020**), las mujeres representan más del 70% del trabajo en instituciones sanitarias y asistenciales de todo el mundo, situándolas en la primera línea de contención de la COVID-19 sin contar en todas las ocasiones con material de protección y condiciones de trabajo seguras (**Castellanos-Torres 2021**). La OIT también ha constatado cómo la pandemia ha repercutido de un modo desproporcionadamente negativo en el empleo de las mujeres, especialmente las jóvenes, y su recuperación ha sido de las más lentas (**Boniol et al. 2019**). El motivo principal de la reducción del 4,2% del empleo mundial de las mujeres se debe a que las medidas de confinamiento afectaron sectores altamente feminizados y con elevadas tasas de informalidad: trabajo en casas particulares, gastronomía, hotelería, comercio y servicios (**OIT 2021**). De hecho, ONU Mujeres estimó que para el año 2021, «aproximadamente 435 millones de mujeres y niñas de todo el mundo vivirían con menos de 1,90 dólares al día, y que 47 millones volverían a caer en la pobreza como consecuencia de las crisis relacionadas con la pandemia» (**Azcona et al. 2020**).

De manera equiparable a la falta de autonomía en los desplazamientos de las mujeres ante catástrofes ambientales, la reducción del transporte público debido a las restricciones de movilidad tuvo un mayor impacto en las mujeres, ya que junto a otros grupos (personas con menores, ancianas, jóvenes, habitantes de zonas rurales, con bajos ingresos y con dificultades de comunicación y movilidad) dependen mayoritariamente del transporte público por razones específicas (**Castellanos-Torres 2021; Punzo et al. 2022**).

Con el cierre de las escuelas, la saturación de los sistemas de salud, la imposibilidad de desplazarse para trabajar, la implementación del teletrabajo y el aislamiento social preventivo se constata una solidificación de los estereotipos y roles de género. Las mujeres, históricamente relegadas al ámbito privado con dedicación plena a los cuidados de la familia, intensifican durante el confinamiento una sobrecarga de trabajo remunerado y no remunerado. Una suerte de retorno a la mística de la feminidad por la ausencia de corresponsabilidad en la interna de las familias ha supuesto que las mujeres prolonguen ininterrumpidamente la «jornada laboral» y tengan que asumir

funciones educativas y de contención emocional de las personas con las que conviven (ONU Mujeres 2020). Ello ha traído como consecuencia una mayor afectación psicoemocional de las mujeres. Mientras que los hombres tienen más probabilidades de morir por coronavirus, las mujeres presentan una mayor prevalencia y gravedad de los síntomas de ansiedad, depresión y estrés agudo (Chang 2020; García-Fernández et al. 2021). La revitalización de las pautas sociales que imponen a las mujeres la responsabilidad del bienestar de sus seres queridos es una cuestión de máxima relevancia para el supuesto de impacto de un OCT, ya que la interrupción de la cotidianidad y la configuración de una «nueva normalidad» no tiene por qué conllevar necesariamente formas de organización actualizadas a los valores presentes sino la recuperación de viejas costumbres.

Así, según el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA 2020), durante las crisis, «las mujeres y las niñas pueden presentar un riesgo más elevado de padecer violencia infligida por la pareja y otras formas de violencia intrafamiliar como resultado de las tensiones crecientes en el hogar. [...] También enfrentan mayores riesgos de otras formas de violencia de género, incluidas la explotación y el abuso sexuales en estas situaciones». El aumento de la violencia ha sido identificado en brotes como el Ébola, el Cólera, el Zika y el Nipah (Mittal y Singh 2020). El confinamiento, contexto idóneo, siguiendo la adjetivación de Lorente Acosta (2020), «aisla aún más a las mujeres, aumenta el control por medio de la clausura formal en el hogar, facilita la impunidad al aumentar las barreras para que las mujeres puedan salir de la violencia y crea un contexto que facilita el uso de cualquiera de sus formas ante el más mínimo estímulo».

Tratándose de un problema estructural, demostración última de la brutalidad patriarcal, y asumiendo que el contexto generalizado de encierro no afecta por igual a todas las mujeres, el consumo de alcohol por parte de los hombres, la dependencia económica –que lleva a las mujeres a resignarse frente al abuso–, el aumento del desempleo masculino –que hace perder a los hombres su posición de sustentadores del hogar y genera frustración al no cumplir con las expectativas sociales–, la vigilancia de todo canal de comunicación (teléfono o internet), la ausencia de contacto con otras personas, de apoyo familiar y la inaccesibilidad a los sistemas asistenciales y de protección, se constituyen como circunstancias facilitadoras del ejercicio de la violencia contra las mujeres (UNFPA 2020; Mittal y Singh 2020).

Por último, se reproduce, como en los dos escenarios catastróficos antes descritos, la infrarrepresentación de las mujeres en la generación del discurso público y en la toma de decisiones. Tal y como muestran empíricamente Bacigalupe et al. (2022) «[e]n todo el mundo, la presencia de mujeres en los grupos de trabajo o comités de crisis ha sido nula en algunos países y, en términos generales, no ha superado el 25%, mientras que su presencia en los medios de comunicación y en las ruedas de prensa durante la pandemia ha sido también claramente inferior a la de los hombres». Las autoras vinculan causalmente la falta de mujeres a la desigualdad estructural y a la división de espacios, privatizando el entorno de las mujeres, y atribuyen como consecuencia la no integración de necesidades, intereses y preocupación específicas de las mujeres en los procesos deliberativos (Bacigalupe et al. 2022). En todo caso, conviene recordar para

intentar revertir en el futuro, que «[l]a mayoría de las políticas las elaboran hombres blancos, cristianos, cisgénero, heterosexuales, sanos y ricos» y que «voces y experiencias de diversas mujeres han sido a menudo olvidadas, desestimadas o silenciadas en tiempos de amenaza para la salud pública» (Ryan y El Ayadi 2020) y podrían serlo en tiempos de amenaza para la vida en Tierra, por lo que la revisión de la composición de los equipos encargados de la toma de decisiones se sitúa como una cuestión decisiva.

De hecho, la teoría feminista señala que los análisis y los procesos decisorios que omiten el género no contribuyen a la neutralidad en relación con dicha categoría sino que representan una postura sesgada y adquieren un significado concreto desde la ausencia de las mujeres (Sjoberg 2009). Los estudios de seguridad presentan este déficit respecto al género, siendo un campo especialmente masculinizado, en el que hay muy pocas mujeres (Tickner 2011), pudiendo advertirse la presencia de sesgos «desde el momento en que se conforma la agenda securitaria, se seleccionan las cuestiones y necesidades consideradas relevantes, se priorizan ciertas acciones, etc., también se invisibilizan, se esconden y se rechazan otros asuntos» (Vanyó Vicedo 2022).

Además, el hecho de concebir la seguridad en sentido clásico y como una competencia estatal (androcéntrica y patriarcal, por ende) impide considerar otras muchas de sus múltiples dimensiones. En este sentido, el concepto de «seguridad humana», enunciado por el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) en 1994, centrado en las personas y en las comunidades supone un avance, ya que configura la seguridad a partir de siete componentes básicos e interrelacionados entre los que se encuentran la seguridad sanitaria y medioambiental (Vanyó Vicedo 2022). Sin embargo, no hay que olvidar que se trata de una visión antropocéntrica que requiere ser revisada y puede ser superada por planteamientos definidos en torno a la «seguridad planetaria»⁶, configurando una visión integral que comprenda las eco-interdependencias de los seres humanos con el resto de la biosfera sin obviar su pertenencia y vulnerabilidad a los procesos de la misma (Coronel Tarancón, Simó Soler y Peña Asensio 2023).

3. PROSPECTIVA DE GÉNERO E IMPACTO CÓSMICO

Conocer hechos potencialmente análogos permite extraer variables que puedan ser extrapolables con el fin de anticipar los efectos que la amenaza de un impacto cósmico pueda tener en la vida en general, y en las mujeres, en particular. Las experiencias presentes, analizadas con perspectiva de género interseccional, favorecen la proyección de escenarios posibles a los que cabe ir esbozando respuestas que aseguren el reconocimiento y la efectividad de los derechos de las mujeres. Para ello, se prevén cuatro áreas de acción que involucran la participación de las mujeres en los procesos decisionales, la demanda de cuidados a las mujeres, la exposición a una mayor vulnerabilidad y los problemas de reconocimiento de derechos entre Estados.

⁶ Para una aproximación a esta cuestión, se recomienda la consulta del Capítulo *Entidad y gestión de la seguridad planetaria* elaborado por Ramon Moles Plaza y Anna García Hom.

3.1. Representatividad y toma de decisiones

Según cifras de **ONU Mujeres (2022)**, a fecha de 19 de septiembre de 2022, solamente 13 países están presididos por una Jefa de Estado y 15 países tienen Jefas de Gobierno. Harán falta 130 años más para alcanzar la igualdad de género en las cúpulas gubernamentales. En el ámbito empresarial, la presencia de mujeres en puestos directivos o de responsabilidad es superior al 30% en tan solo nueve Estados (Francia, Noruega, Bélgica, Suecia, Italia, Finlandia, Alemania, Canadá, Reino Unido), porcentaje que se considera óptimo para que la diversidad de género aporte mejoras en gestión y resultados (**Credit Suisse 2019; OIT 2019**). Además, la OIT apunta la diferente ocupación de los cargos de liderazgo, siendo que «la concentración de mujeres en puestos directivos de nivel intermedio y superior suele darse en determinadas áreas funcionales de la empresa: recursos humanos, finanzas y administración, y marketing y ventas. En contraposición, los hombres predominan más en áreas como operaciones, contabilidad, investigación y desarrollo que se consideran más estratégicas para las empresas y que, a menudo, pueden suponer un trampolín hacia puestos de mayor rango» (**OIT 2019**).

Tomando como ejemplo el caso de EEUU, histórica potencia mundial tecnopolítica, donde todos sus presidentes han sido hombres, también lo han sido todos los administradores de NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y lo es actualmente el fundador de SpaceX, empresa dedicada al sector aeroespacial y de servicios de lanzamientos orbitales, cabe interrogarse acerca de si la presencia de mujeres líderes en los procesos de toma de decisiones relativas a la defensa planetaria mejoraría dichos procesos.

Desde la década de los años ochenta, el interés acerca de los distintos modelos de liderazgo entre hombres y mujeres ha traído consigo múltiples hallazgos, pero evidencias contradictorias (**Cuadrado 2003**). En la revisión sobre liderazgo político y género en el siglo XXI, **Ruiloba Núñez (2013)** observa la discrepancia científica en los resultados de las investigaciones. Un sector de la doctrina considera que las características predominantes como grupo vinculadas a implicaciones fisiológicas y hormonales y a la socialización diferenciada de género conlleva que hombres y mujeres manifiesten comportamientos dicotómicos (con suerte complementarios) que se resumen en: control, poder, jerarquía y racionalidad masculina (modelo burocrático-piramidal) frente a delegación, participación, comprensión y emocionalidad femenina (modelo humanista-democrático)⁷. Por su parte, distintos estudios referenciados por la misma autora convienen en que las diferencias son inapreciables, siendo mayores en el análisis intragrupos y entre individuos. Uno de los motivos que llevan a la asimilación de sistemas organizacionales se encuentra la preferencia por el desempeño masculino, quizá por su mejor acomodo al modelo capitalista y por la ausencia de referentes femeninos siendo aún las mujeres una minoría en esferas de toma de decisiones.

⁷ Una apreciación que se mantiene en el estudio realizado por el Pew Research Center en 2018 sobre el liderazgo en Estados Unidos y la diferente consideración por género en el eje demócrata-republicano (**Horowitz, Igielnik y Parker 2018**).

Además, se suele argumentar que la sola presencia de mujeres afecta a las instituciones y en el modo de legislar, incidiendo en áreas (familia, medio ambiente, movilidad urbana, trabajo no remunerado) o colectivos (mujeres, menores) en cierto modo «feminizados» por haber sido fuente de preocupación y de ocupación de las mujeres (**Ruiloba Núñez 2013**). Sin embargo, la sola presencia de mujeres no asegura necesariamente un cambio de paradigma (¿lo hizo acaso Alemania o Reino Unido bajo las presidencias de Angela Merkel y Margaret Thatcher?). Como recuerda **Roehr (2007)** «[e]s importante tener en cuenta que la igualdad de participación en términos numéricos no garantiza automáticamente la representación de las preocupaciones de las mujeres», de modo que el aseguramiento de la perspectiva de género en los procesos decisionales no debería ir asociada automáticamente a la intervención de mujeres sino al contenido sustantivo, consiguiendo que el mismo forme parte de las líneas de actuación. Para ello, la formación a quienes vayan a participar de la toma de decisiones resulta imprescindible porque de nada sirve mantener a mujeres con una ideología patriarcal en la cúpula decisional ni postergar la inclusión de la perspectiva de género interseccional a la consecución de una mayoría femenina y feminista en esas esferas.

En todo caso, la presencia de mujeres no es una cuestión debatible. El artículo 7 letra b) de la CEDAW sostiene que Artículo 7 los Estados Partes tomarán todas las medidas apropiadas para garantizar el derecho de las mujeres, en igualdad de condiciones con los hombres, a participar en la formulación de las políticas gubernamentales y en la ejecución de éstas, y ocupar cargos públicos y ejercer todas las funciones públicas en todos los planos gubernamentales. En el caso de España, la Ley Orgánica 3/2007, de 22 de marzo, para la igualdad efectiva de mujeres y hombres, en su artículo 54 dedicado a la designación de representantes de la Administración General del Estado establece que la composición de órganos colegiados, comités de personas expertas o comités consultivos, nacionales o internacionales se hará de acuerdo con el principio de presencia equilibrada de mujeres y hombres, salvo por razones fundadas y objetivas, debidamente motivadas. En consecuencia, siguiendo el marco normativo, el equipo multidisciplinar encargado de articular las medidas para proteger a los Estados de una amenaza de impacto, debería estar conformado también por mujeres. Como formula **Puleo (2021)**, «[y]a hemos salido del ámbito doméstico y podemos juzgar el espacio históricamente masculino de lo público desde una mirada periférica»⁸.

3.2. Ecofeminismo y cuidados

Adoptando los postulados del ecofeminismo y la ética de los cuidados, la desposesión de las tierras y la salida del hogar derivada del impacto cósmico fuerza a realizar

⁸ En los últimos años, tanto la ONU como la UE, cuentan con estrategias específicas para conseguir la paridad dentro de su organigrama. El Secretario General de las Naciones Unidas, António Guterres, presentó la «Estrategia para todo el sistema sobre la paridad de género» en el año 2017 en la que se incluyen acciones recomendadas para alcanzar la paridad de género en el año 2028. La «Estrategia para la Igualdad de Género 2020-2025» de la UE también contempla conseguir el equilibrio entre mujeres y hombres en la toma de decisiones y la actividad política.

una serie de reflexiones. Como se ha detallado anteriormente, mujeres y menores son más vulnerables a la degradación ambiental por depender estrechamente del ecosistema local. Además, las mujeres mantienen su rol de responsables del bienestar familiar en situaciones de crisis. En un escenario de colisión de un gran meteorito cabría anticipar las dificultades que pueden enfrentar las mujeres como trabajadoras de la tierra y principales cuidadoras. Los obstáculos para asegurar la soberanía alimentaria, la protección de la familia y la satisfacción de las necesidades básicas pueden derivar en situaciones de estrés, secuelas psicológicas y sentimiento de culpa.

Tal y como afirma **Villellas Ariño (2010)**, «[e]stas tareas han sido consideradas al mismo tiempo como secundarias y de escaso valor para el progreso social, puesto que como ya se señaló anteriormente, únicamente el trabajo relacionado con el ámbito de la racionalidad y del pensamiento han gozado de prestigio en la organización de la sociedad patriarcal. La reproducción social, sin embargo, por pertenecer a la esfera de la naturaleza, ha carecido de valor social». La minusvaloración de las mujeres y de la naturaleza abre la cuestión acerca de la priorización de espacios en caso de sufrir daños colaterales por una deflexión parcial. Si pudiera corregirse la trayectoria de un objeto con rumbo hacia la Tierra, pero no evitar su impacto, ¿se optaría por salvar un epicentro tecnológico frente a enclaves naturales o históricos? Siguiendo a Galeano, ¿seguiría siendo el Sur global el «patio trasero» supeditado a los intereses de las principales potencias mundiales?

Por otro lado, las generalizaciones sobre la vulnerabilidad y el virtuosismo de las mujeres respecto a la crisis climática pueden conducir a un aumento de la responsabilidad de evitar o revertir los daños sin las correspondientes recompensas (**Arora-Jonsson 2011**), y la misma respuesta podría darse en el contexto de impacto: vulnerables por su conexión al entorno y virtuosas por su experiencia. Convendría incorporar a las mujeres en el diseño de las políticas públicas de reconstrucción de espacios tanto por su conocimiento y capacidad de resiliencia como por su participación en movimientos en favor de la ecojusticia que atiende a los conflictos ecológicos distributivos relacionados con el reparto y la apropiación de recursos naturales cada vez más escasos y en una distribución injusta de daños y beneficios en un contexto de globalización neoliberal androantropocéntrica (**Puleo 2021**). En caso contrario, la dinámica de reavivación de ecosistemas naturales y sociales podría mantener su carácter privatizador, delegando en manos privadas la productividad del territorio y delegando en manos femeninas el bienestar de las poblaciones⁹.

3.3. Situaciones de especial vulnerabilidad

Tal y como aprecia **Roehr (2007)**, mujeres y hombres tienen necesidades y prioridades diferentes tras una catástrofe. Algunas mujeres tienen necesidades físicas

⁹ Como supuesto práctico, el polvo y la ceniza consecuencia de la colisión podría contaminar un manantial impidiendo el consumo del agua directamente de los ríos y privando de este recurso esencial a las personas empobrecidas (un alto porcentaje mujeres) y a los animales no humanos sin acceso al agua filtrada. Para evitar que las mujeres tuvieran que responsabilizarse del suministro de agua en sus familias, los gobiernos deberían prever organismos y mecanismos públicos de gestión hídrica.

concretas (atención obstétrico-ginecológica y productos de higiene femenina) y otras necesidades sociales (auto)impuestas (crianza y aprovisionamiento de recursos esenciales). La saturación de los sistemas de salud en una situación de crisis puede dificultar el acceso a servicios de planificación familiar (anticonceptivos y atención pre/postnatal) y aumentar el número de embarazos no deseados y de abortos sin atención sanitaria, especialmente en países empobrecidos (**Solanas Cardín 2020; Ryan y El Ayadi 2020**). Como se ha mencionado, las mujeres tienden a asumir el cuidado y la protección de sus familiares lo que las expone a situaciones de mayor vulnerabilidad. Sin asumir un tono paternalista, pero advirtiendo la urgencia de responder de manera efectiva a las condiciones de las mujeres, ante la amenaza de impacto, las instituciones gubernamentales deberían prever un refuerzo de los servicios públicos como garantía de sus derechos.

Una cuestión problemática que requiere ser abordada se refiere a la posible priorización de la supervivencia de las mujeres como portadoras de vida en un contexto de catástrofe mundial. El control sobre la sexualidad de las mujeres y la capacidad reproductiva ha sido uno de los mecanismos patriarcales para la subordinación de las mujeres. En los conflictos armados se reportan técnicas para la reproducción social entre las que se mencionan el control de los nacimientos, los abortos y embarazos forzados y la muerte de mujeres embarazadas y bebés como estrategias de limpieza étnica e ideológica (**Andrade Salazar et al. 2017**). La opción de salvar a las mujeres de forma prioritaria, ¿supone su instrumentalización como entes reproductivos?, ¿dónde queda la libertad sexual y reproductiva de las mujeres? Y las que no pudieran procrear, ¿serían inútiles a la causa?, ¿habría gobiernos que impulsarían políticas natalistas que penalizaran los nacimientos de varones?, ¿podría entenderse como una medida amparada en un supuesto derecho de supervivencia de la especie? La imagen que se construye a través de estos interrogantes recuerda a la novela distópica de la escritora Margaret Atwood, *El cuento de la criada*. Siendo una realidad aparentemente lejana, la construcción de escenarios frente a una amenaza debe considerar también los supuestos extremos para formular políticas preventivas que eviten los peores imaginarios posibles.

Asimismo, como se ha descrito, las situaciones de crisis aumentan la probabilidad de que las mujeres sufran violencia por parte de sus parejas o exparejas, pero también de otros hombres. Sería necesario optar institucionalmente por la creación de comités de crisis, el refuerzo institucional (con aumento de alternativas habitacionales, de dispositivos de seguridad y protección, de servicios de atención psicosanitaria), el impulso de protocolos específicos que atiendan las condiciones específicas de mujeres migrantes, con discapacidad, menores no acompañadas, madres monomarentales, entre otras.

En el marco de esta estrategia de prevención, la concienciación es esencial. Para ello, los medios de comunicación cumplen una función principal como comunicadores y facilitadores de información (servicios de asistencia a víctimas de violencia de género y derechos que les amparan). Esta tarea deberá realizarse con perspectiva de género, asumiendo el acceso limitado que las mujeres puedan tener a la información

y adaptando la comunicación a las circunstancias concretas (por ejemplo, acudir a las casas, que sean otras mujeres quienes les informen...)¹⁰.

3.4. Derechos asimétricos entre el Estado amenazado y el Estado de acogida

La amenaza de impacto puede traer consigo el abandono de un territorio como estrategia de minimización de daños. El desplazamiento a otro Estado podría ser temporal o permanente en función de la devastación del territorio. Ante la razonable y previsible necesidad de desplazarse a otro país, además de la propuesta de configuración de las figuras de persona «refugiada de impacto» y de «Estado sin territorio» (**Simó-Soler y Peña-Asensio 2022**), cabría plantearme cuál podría ser la afectación a los derechos de las mujeres en caso de trasladarse a otro Estado. En concreto, si podría postularse el mantenimiento del ordenamiento jurídico vigente del Estado movilizado o si, por el contrario, sería imprescindible asumir las normas del Estado receptor¹¹.

Para ilustrar esta problemática se puede emplear el ejemplo del derecho a la interrupción voluntaria del embarazo entre dos Estados fronterizos, España y Andorra, donde en el primer caso es un derecho y en el segundo un delito. Una mujer española que hubiera decidido interrumpir su embarazo en España, ¿podría hacerlo en Andorra? Una mujer andorresseña que hubiera abortado en España, pero retornara con posterioridad a su país donde la interrupción del embarazo es ilegal, ¿podría ser castigada penalmente? La formulación de este tipo de interrogantes y el intento de esbozar respuestas, que cabría articular respecto a todos los derechos de las mujeres, deben contextualizarse a las dimensiones de un potencial cambio de paradigma resultado de una colisión porque no se puede equiparar a un simple cambio del lugar de residencia, sino que el Estado de origen puede haber quedado parcial o totalmente afectado por el impacto y, por tanto, la reubicación de su ciudadanía ser también temporal o definitiva.

En un caso de destrucción parcial de un territorio, podrían desarrollarse mecanismos de cooperación internacional a semejanza de la orden europea de protección, pero con un espectro de actuación más amplio. La orden europea de protección es el instrumento mediante el cual un Estado solicita a otro que mantenga y aplique las mismas medidas de protección dictadas en favor de una víctima (por ejemplo, la orden de alejamiento de una mujer respecto a su maltratador) en el nuevo país de destino. Permite, en otras cuestiones, asegurar el estándar de protección del que una persona hubiera disfrutado de no haber cambiado de país de residencia y, especialmente, asegura una mejor asistencia en aquellos lugares en los que la conducta típica no es delito

¹⁰ Para un análisis en profundidad sobre las técnicas de comunicación consultar el capítulo de José Ignacio Robles Sánchez *Psicología y defensa planetaria*.

¹¹ El Derecho Internacional regula este tipo de cuestiones dentro del tema relativo a la sucesión/disolución de Estados. Aunque se han intentado establecer normas universales (tratados), la práctica muestra que los acuerdos que afectan a dos entes jurídicos estatales (el que se extingue y el que lo integra) se negocia de manera consensuada.

o las medidas preventivas y reparadoras son inexistentes o limitadas. En este sentido, una suerte de estatus jurídico nacional transitorio podría amparar a las personas que se ven forzadas a trasladarse temporalmente a otros territorios en los que las garantías a sus derechos reconocidos son menores.

En todo caso, dada la excepcionalidad del contexto sobre el que se trabaja, desde una postura defensora de los derechos humanos, los esfuerzos deberían ir dirigidos a conseguir el prevalimiento el estatus que más garantista con los derechos de las mujeres.

4. CONCLUSIONES

Pese al progreso del ideario feminista y la materialización de unas mejores condiciones económicas, políticas, sociales y jurídicas para las mujeres (y para la sociedad en su conjunto), los momentos críticos de la historia exigen prestar especial atención a las circunstancias que envuelven a las mujeres, tanto como sujetos pasivos del impacto como activos, siendo parte de las iniciativas de defensa planetaria y, en su caso, de los ejercicios de reparación.

En una situación catastrófica, como la que puede derivarse de la amenaza de colisión de un meteorito de tamaño considerable, las medidas preventivas y los servicios esenciales deben implementarse desde una fase temprana para reducir los riesgos hacia las mujeres. Asimismo, la gobernanza de la crisis planetaria debe contar con la participación de las mujeres desde su diversidad. El enfoque de género interseccional debe presidir los planteamientos teóricos acerca de la gestión y debe regir el diseño y puesta en práctica de estrategias de mitigación de daños.

El impacto diferenciado de los contextos extremos para las mujeres, lo que **John et al. (2020)** denominan «las lecciones que nunca se aprenden», pueden convertirse en «lecciones aprendidas» si para abordar las consecuencias derivadas de la colisión se toman en consideración los precedentes catastróficos sobre los que se han podido observar las consecuencias para las mujeres y el rol que desempeñan como agentes protectores y transformadores.

Por último, esta contribución aspira a quedar obsoleta. A medida que la igualdad de género se consolide y se convierta en una realidad constatable, no deberían hacer falta aportaciones justificativas de los análisis con enfoque de género. Será una obviedad y estará arraigado en la cultura política la igual participación de mujeres y hombres en la toma de decisiones. Será evidente que hombres y mujeres se corresponsabilicen de los cuidados. Será incuestionable que existan leyes y servicios de atención a mujeres precarizadas, a las que atraviesan una etapa de mayor vulnerabilidad o a las que sufren violencia. Pero hasta que ese momento se alcance, la mejor manera de garantizar los derechos de las mujeres en situaciones de crisis es prevenir su vulneración y anticipar mecanismos garantistas de los mismos desde una perspectiva de género interseccional que las sitúe como sujetos con capacidad de agencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arora-Jonsson, S. (2011). Virtue and vulnerability: Discourses on women, gender and climate change. *Global environmental change*, 21(2), 744-751.
- Andrade Salazar, J. A., Alvis Barranco, L., Jiménez Ruiz, L. K., Redondo Marín, M. P. y Rodríguez González, L. (2017). La vulnerabilidad de la mujer en la guerra y su papel en el posconflicto. *El Ágora USB*, 17(1), 290-308.
- Azcona, G., Bhatt, A., Encarnacion, J., Plazaola-Castaño, J., Seck, P., Staab, S. y Turquet, L. (2020). *From insights to action: Gender equality in the wake of COVID-19*. United Nations Entity for Gender Equality and the Empowerment of Women (UN Women).
- Bacigalupe, A., Cabezas-Rodríguez, A., Giné-March, A., y Jiménez Carrillo, M. (2022). Invisibilidad de género en la gestión de la COVID-19: ¿quién toma las decisiones políticas durante la pandemia?. *Gaceta sanitaria*, 36, 156-159.
- Baum, S. D. (2018). Uncertain human consequences in asteroid risk analysis and the global catastrophe threshold. *Natural Hazards*, 94(2), 759-775.
- Boniol, M., McIsaac, M., Xu, L., Wuliji, T., Diallo, K. y Campbell, J. (2019). *Gender equity in the health workforce: analysis of 104 countries* (No. WHO/HIS/HWF/Gender/WP1/2019.1). World Health Organization.
- Cardoso Onofre de Alencar, E. (2011). La violencia sexual contra las mujeres en los conflictos armados. Un análisis de la jurisprudencia de los tribunales *ad hoc* para la ex -Yugoslavia y Ruanda. *InDret*, 4, 1-29.
- Carvajal-Escobar, Y., Quintero-Angel, M. y Garcia-Vargas, M. (2008). Women's role in adapting to climate change and variability. *Advances in Geosciences*, 14, 277-280.
- Castellanos-Torres, E., Mateos, J. T. y Chilet-Rosell, E. (2021). COVID-19 en clave de género. *Gaceta sanitaria*, 34, 419-421.
- Chang, W. H. (2020). Understanding the COVID-19 pandemic from a gender perspective. *Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology*, 59(6), 801-807.
- Coronel Tarancón A., Simó Soler, E. y Peña Asensio E. (2023). Defensa Planetaria Integral. Un nuevo concepto de seguridad para el Antropoceno, Cuadernos de Filosofía del Derecho (en prensa).
- Credit Suisse (2019). *The CS Gender 3000 in 2019: The changing face of companies*. Research Institute.
- Cuadrado, I. (2003). ¿Emplean hombres y mujeres deferentes estilos de liderazgo? Análisis de la influencia de los estilos de liderazgo en el acceso a los puestos de dirección. *Revista de psicología social*, 18(3), 283-307.
- Dimitrov, B. G. (2019). Effects of climate change on women. *Res. Rev. Int. J. Multidis*, 4(5), 201-215.
- Eastin, J. (2018). Climate change and gender equality in developing states. *World Development*, 107, 289-305.
- Franco, J. (2008). La violación: un arma de guerra. *Debate feminista*, 37, 16-33.
- García-Fernández, L., Romero-Ferreiro, V., Padilla, S., David López-Roldán, P., Monzó-García, M. y Rodríguez-Jimenez, R. (2021). Gender differences in emotional response to the COVID-19 outbreak in Spain. *Brain and behavior*, 11(1), e01934.

- Goh, A. H. (2012). A literature review of the gender-differentiated impacts of climate change on women's and men's assets and well-being in developing countries. *International Food Policy Research Institute, CAPRI Work*, 1-44.
- Gutiérrez-Solana Journoud, A. y Zirion Landaluze, i. (2020). *La protección frente a la violencia sexual en conflictos armados. Instrumentos jurídicos internacionales y su aplicación*. Universidad del País Vasco.
- Herrero Cabrejas, A. (2017). Conexiones entre la crisis ecológica y la crisis de los cuidados: Entrevista a Yayo Herrero López. *Ecología política*, 54, 109-112.
- John, N., Casey, S. E., Carino, G. y McGovern, T. (2020). Lessons never learned: crisis and gender-based violence. *Developing world bioethics*, 20(2), 65-68.
- Martín Martínez M. e Iñigo Álvarez, L. (2020). Mujeres en los conflictos armados). En L. Arenal Lora (Dir.), *Estudios contemporáneos sobre geopolítica, conflictos armados y cooperación internacional* (pp. 283-291). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.
- Mittal, S. y Singh, T. (2020). Gender-based violence during COVID-19 pandemic: a mini-review. *Frontiers in global women's health*, 4.
- OIT. (2021). Avanzar en la reconstrucción con más equidad: Los derechos de las mujeres al trabajo y en el trabajo, en el centro de la recuperación de la COVID-19, Nota de política, julio 2021. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---gender/documents/publication/wcms_814506.pdf.
- (2020). Women Health Workers: Working Relentlessly in Hospitals and at Home, Comment, 7 April 2020. https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_741060/lang--en/index.htm.
 - (2019). *Las mujeres en la gestión empresarial: argumentos para un cambio*. Oficina Internacional del Trabajo-Ginebra: OIT.
- ONU Mujeres. (2022). Hechos y cifras: Liderazgo y participación política de las mujeres. <https://www.unwomen.org/es/what-we-do/leadership-and-political-participation/facts-and-figures>.
- (2020). COVID 19-Corresponsabilidad en los hogares, Guía ante #Covid-19 en los hogares. <https://mexico.unwomen.org/es/digiteca/publicaciones/2020-nuevo-marzo-2020/covid19-corresponsabilidad-en-los-hogares>.
 - (1995). Declaración y Plataforma de Acción de Beijing. Declaración política y documentos resultados de Beijing+5. Reimpreso por ONU Mujeres en 2014. <https://www.unwomen.org/es/digital-library/publications/2015/01/beijing-declaration>.
- ONU Asamblea General. (1979). Convención sobre la eliminación de todas las formas de discriminación contra la mujer. ONU, A/RES/34/180.
- Lorente-Acosta, M. (2020). Violencia de género en tiempos de pandemia y confinamiento. *Revista española de medicina legal*, 46(3), 139-145.
- Parker, K., Horowitz, J. M. y Igielnik, R. (2018). Women and leadership 2018: Wide gender and party gaps in views about the state of female leadership and the obstacles women face. *Pew Research Center*. <https://www.pewsocialtrends.org/wp-content/uploads/sites/3/2018/09/Gender-and-leadership-FULL-REPORT2.pdf>. (Acceso: 27 de febrero de 2021).

- Puleo, A.H. (2021). *Claves ecofeministas. Para rebeldes que aman a la Tierra y a los animales*. 3ª Ed. Madrid: Plaza y Valdés.
- (2002). Feminismo y ecología. *El Ecologista*, 31, 36-39.
- Punzo, G., Panarello, D., y Castellano, R. (2022). Sustainable urban mobility: evidence from three developed European countries. *Quality y Quantity*, 56(5), 3135-3157.
- Resurrección, B. P. (2013). Persistent women and environment linkages in climate change and sustainable development agendas. *Women's Studies International Forum*, 40, 33-43.
- Roehr, U. (2007). Gender, climate change and adaptation. Introduction to the gender dimensions. *Both Ends Briefing Paper Series*, 2.
- Ruiloba Núñez, J. M. (2013). Liderazgo político y género en el siglo XXI. *Entramado*, 9(1), 142-155.
- Ryan, N. E. y El Ayadi, A. M. (2020). A call for a gender-responsive, intersectional approach to address COVID-19. *Global Public Health*, 15(9), 1404-1412.
- Segato, R. L. (2014). Las nuevas formas de la guerra y el cuerpo de las mujeres. *Sociedade e Estado*, 29, 341-371.
- Sjoberg, L. (2009). Introduction to Security Studies: Feminist Contributions. *Security Studies*, 18, 183-213.
- Solanas Cardín, M. (2020). La crisis del COVID-19 y sus impactos en la igualdad de género. *ARI*, 33, 1-8.
- Stock, A. (2012). *El cambio climático desde una perspectiva de género*. Quito, Ecuador: Fundación Friedrich Ebert.
- Tickner, A. (2011). Feminist Security Studies: Celebrating an Emerging Field. *Politics y Gender*, 7(4), 581-576.
- UN Women. (2020). *Policy brief: The impact of COVID-19 on women*. New York (NY): United Nations.
- UNFPA. (2020). *COVID-19: Un Enfoque de Género. Proteger la Salud y los Derechos Sexuales y Reproductivos y Promover la Igualdad de Género*, Informe técnico, marzo 2020. <https://www.unfpa.org/es/resources/covid-19-un-enfoque-de-genero>.
- Urrutia Arestizábal, P., Vilellas Ariño, A. y Vilellas Ariño, M. (2020). *Seguridad feminista. Aportaciones conceptuales y desarrollo actual*. Informes 16/2020. Institut Català Internacional per la Pau (ICIP).
- Vanyó Vicedo, R. (2022). Género y seguridad: déficits y potencialidades de la Agenda 1325 ante el actual contexto de crisis global sanitaria. En C. Sánchez Muñoz y S. Torrecuadrada García-Lozano (Eds.), *Mujeres, paz y seguridad: la Resolución 1325 veinte años después* (pp. 109-128). Madrid: Dykinson.
- (2016). *El horizonte 1325 en Derecho internacional: Cartografía del posconflicto con perspectiva de género*, Navarra: Aranzadi.
- Vilellas Ariño, M. (2010). La violencia sexual como arma de guerra. *Quaderns de construcció de pau*, 15, 1-17.
- Wilches, I. (2010). Lo que hemos aprendido sobre la atención a mujeres víctimas de violencia sexual en el conflicto armado colombiano. *Revista de estudios sociales*, 36, 86-94.

CAPÍTULO 7. ENTIDAD Y GESTIÓN DE LA SEGURIDAD PLANETARIA

ANNA GARCIA HOM¹

Doctora en Prevención y Seguridad Integral, Socióloga, consultora y analista

RAMON J. MOLES PLAZA²

Doctor en Derecho, jurista y analista

DOI: 10.14679/2279

Sumario: 1. INTRODUCCIÓN. 2. LA IDEA DE SEGURIDAD PLANETARIA. 3. ENTIDAD Y GESTIÓN DE LA AMENAZA DE OPP A LA SEGURIDAD PLANETARIA. 4. CONCLUSIONES.

1. INTRODUCCIÓN

Defensa y seguridad planetarias son conceptos distintos. El primero remite a técnicas de protección del planeta. El segundo a una resultante de la aplicación de las primeras en adición de otros factores, bien sean preventivos, de gobernanza o de otros órdenes. Esto es por lo que hemos optado por este segundo concepto para dibujar las líneas que siguen. En relación con el mismo intentaremos describir cuál es su entidad a escala planetaria (distinta de la seguridad de cada uno de los seres que habitamos la Tierra) y el contexto en el que se desarrolla, así como la interacción con los conceptos de peligro y riesgo. En función de ellos intentaremos delimitar cuáles pueden ser los mecanismos para una eficiente gestión de un concepto que, nos atrevemos a apuntar, puede tener mucho recorrido.

2. LA IDEA DE SEGURIDAD PLANETARIA

Si entendemos la seguridad como el estado de control relativo de amenazas (peligros y riesgos) tendente a facilitar un también relativo «bienestar» (puesto que el riesgo

¹ Socióloga y Analista. Doctora en Prevención y Seguridad Integral. Experta en análisis y percepción de riesgos y peligros. Autora, entre otros, de *Negociar el Riesgo* y *Manual del Miedo*. Investigadora principal de distintos proyectos en Gobernanza del Riesgo.

² Jurista y Analista. Doctor en Derecho. Autor, entre otros, de *Derecho Administrativo en colores*. Ha sido profesor titular de Derecho Administrativo. Fundador y director de varios centros de docencia e investigación en el ámbito de la seguridad y la gobernanza de riesgos. Ha ocupado diversos puestos directivos en la Administración.

cero no existe) y la defensa como el conjunto de acciones y recursos para garantizarla, no dudaremos en considerar la «seguridad» como un estado resultante de la «defensa».

No va, pues, a interesarnos en estas líneas la «defensa» (conjunto de acciones y recursos técnicos) del planeta Tierra, que es un ámbito que pertenece al universo de las ciencias aplicadas vinculadas –en lo que nos va a ocupar– al planeta y al espacio ultraterrestre. Como profesionales de las ciencias sociales nos interesa el concepto de seguridad como resultante, como bien común susceptible de ser alcanzado mediante la adecuada gestión de lo social en relación con la temática que se nos requiere. A ello vamos a dedicarnos –muy someramente– en el convencimiento de que la entidad y gestión de la seguridad del planeta requieren de modo ineludible, en primer lugar, conceptuar la Tierra como sujeto, y, en segundo lugar, identificar las tipologías de amenazas que puedan afectar al planeta para, a renglón seguido, identificar los modelos de su gestión más adecuados. Un esbozo de estas cuestiones se presenta a continuación.

La idea de seguridad puede remitir, de entrada, a dos ámbitos: el de su contenido y el de su sujeto destinatario. El qué y el para quién: «qué» se quiere que sea seguro y «quién» se pretende que esté seguro. En relación con el «qué» se trata de un concepto altamente variable, puesto que generalmente remite a ideales o valores concretos a proteger que no son necesariamente unánimes en cuanto a su entidad o escala de valoración: Estado, bienes materiales, bienestar físico o emocional, nivel de vida, patrimonio cultural, valores morales... Por ello, si se quiere homologar su contenido, es preciso apuntar a un perímetro más formal y desvinculado de valoraciones subjetivas. Para ello podemos remontarnos al concepto primigenio de «seguridad», que remite a la idea de que cualquiera de los ideales o valores subjetivos (sea el que sea) pueda estar «libre de peligro» y, en este sentido nos conduce a la idea de protección, de «estar protegido». A partir de ahí, y en una posterior evolución, la idea de «seguridad» avanza hacia un intento de garantizar situaciones «libres de riesgos», o también se asocia a la idea de eliminación o control de las «amenazas» (**Williams 2013**), si bien, como es sabido, la eliminación o control total de las amenazas (seguridad total o peligro y riesgo «cero») no es posible empíricamente.

En conclusión, el «qué» de la seguridad se asociaría a la idea de control de amenazas (peligros y riesgos) que, desde un nivel operativo material, ha ido evolucionando desde la simple seguridad como eliminación o control de las amenazas a la integridad física o patrimonial hasta la idea de seguridad como control de las amenazas en otros ámbitos contextuales: intereses estatales (seguridad del Estado), medio ambiente (seguridad ambiental), economía (seguridad económica) o tecnología (ciberseguridad), por ejemplo. Este proceso se ha ido ampliando hasta acuñar un concepto global que se refiere a la seguridad de nuestra especie como tal: «seguridad humana» (**Baldwin 1997**), concepto propuesto en 1995 por el entonces secretario general de las Naciones Unidas Boutros Ghali, que demandó un «avance conceptual» de la seguridad que fuera más allá de los límites de la seguridad territorial armada para incluir también la seguridad de las personas en sus hogares, trabajos y comunidades (**Rothschild 1995**).

De este modo la seguridad «humana» deviene tributaria, como estamos comprobando día a día, de estos otros ámbitos materiales que inciden directamente sobre el

bienestar de los seres humanos: la seguridad ambiental, la ciberseguridad, la seguridad alimentaria, del agua, del aire o de la movilidad, por ejemplo. Así las cosas, la «seguridad humana» rebose en realidad el concepto estrictamente «humano» para abarcar todos aquellos factores que, con sus amenazas, puedan afectarle en su contexto. Es este un planteamiento antropocéntrico que emerge desde una visión en la que lo «humano» es el único o principal foco de interés en cuanto nos atañe. Todo lo demás resultaría, desde esta perspectiva, accesorio.

A esta visión reduccionista podemos oponer otras más amplias que se basan en la evidencia de que la vida, en cuanto tal, es anterior a la especie humana y que nuestra especie no es más que un eslabón añadido a una cadena sistémica que abarca al conjunto del planeta. Desde esta perspectiva es obvio que la seguridad humana está íntimamente ligada a la seguridad del planeta Tierra en tanto que ser viviente, en el que la vida es un todo del que formamos parte y que, en consecuencia, nuestra supervivencia está vinculada directamente a la del planeta, siendo así que las amenazas a la viabilidad de este como cuerpo vivo lo son también a todos y cada uno de sus habitantes, y a la inversa.

Desde esta perspectiva más ecocéntrica y menos antropocéntrica se generan marcos conceptuales jurídicos muy relevantes como, por ejemplo, que la naturaleza pueda ser titular de derechos. Este planteamiento se ha formulado ya en la práctica en algunos ordenamientos jurídicos como en el caso del de Ecuador, que en su reforma constitucional de 2008 reconoció que la naturaleza (la Pachamama) es titular de derechos como el de la restauración de su estado degradado, el de regeneración de sus ciclos vitales, o el del respeto a su existencia. Similares derechos (a la diversidad de la vida, al agua, al aire limpio, al equilibrio, a la restauración y a vivir libre de contaminación) son postulados por el ordenamiento jurídico boliviano en sendas Leyes de la Madre Tierra de 2010 y 2012. Argentina también está impulsando normas similares sobre derechos de la naturaleza desde 2015 mediante el Proyecto de ley S-2506/15, de derechos de la naturaleza. En 2013 el Parlamento de Nueva Zelanda reconoció personalidad jurídica al Parque Natural Te Urewera mediante la Ley 51/2014, en la Isla Norte, y en 2017 al río Whanganui, que el pueblo maorí considera dotado de vida propia (Te Awa Tupua). Igualmente, también en ámbitos geográficos fuertemente condicionados por una cosmovisión indigenista, se han producido diversas resoluciones judiciales en el mismo sentido: la sentencia ecuatoriana del río Vilcabamba, n° 012-18 de 28 de marzo de 2018, que otorga a este río un derecho subjetivo a su curso natural y ordena su restauración, se suma a otras que reconocen a ríos y parques nacionales como sujetos de derecho (caso del río colombiano Atrato en 2016), o la introducción del principio *in dubio pro natura* por la Corte Suprema (CSJN) argentina, en sentencia de 11 de julio de 2019 CSJ 714/2016/RH1, entendiéndose que debe favorecerse la interpretación jurídica más proteccionista para la naturaleza. En el entorno europeo es de destacar la aprobación en el Senado español de una Iniciativa Legislativa Popular (ILP) para reconocer y proteger los derechos del Mar Menor, la laguna salada más grande de Europa, como sujeto de derechos. Téngase en cuenta que Europa es el único continente en el que no existen ecosistemas con derechos propios, por ello la iniciativa supone un cambio de paradigma. Todo ello puede ser leído también como respuesta a la devastadora actividad de

7.500 millones de seres humanos, que hemos alterado el 75% de la superficie terrestre y el 50% de los ecosistemas marinos hasta provocar un dramático cambio climático que ha conducido a una tasa de extinción de especies muy superior a lo acreditado históricamente.

Esta teoría ecocéntrica (**Korsgaard 2013**) plantea que la humanidad es solo una parte de los seres sintientes, y que aquella no dispone de ningún derecho para explotar a estos. En resumen, se plantea que la naturaleza es sujeto de derechos y que la Tierra es, por tanto, una comunidad sistémica integrada por distintos sujetos jurídicos, entre ellos, pero no solo, por seres humanos. Se trata de la perspectiva jurídica del planteamiento inaugurado en 1969 por **James Lovelock (2016)**, que formuló la «hipótesis Gaia», que aboga por el hecho de que la biosfera autorregula su entorno físico, especialmente la temperatura y química atmosféricas, para que sea más hospitalario con la vida; que el planeta tiene una estructura y biorritmos que consumen y transforman energía, y que, si cometas o asteroides transportan microorganismos, los planetas, a su vez, pueden generar vida. Es por ello por lo que, en línea con lo expuesto, proponemos superar el concepto de seguridad humana (reduccionista por cuanto los seres humanos no somos el conjunto del planeta) para ubicarnos en un ámbito más coherente: el de seguridad planetaria. Una seguridad que derivará del control eficiente de las amenazas que se ciernan sobre el planeta como sistema vivo y por tanto también sobre cada uno de las personas que lo habitamos.

Volvamos al concepto de seguridad y, más en concreto, al análisis del sujeto destinatario de la seguridad, del «para quién», o de quién se pretende que esté seguro. Desde un nivel operativo se han dibujado distintas perspectivas: individual, estatal, internacional y global (**McDonald y Brollowski 2011**). Cada una de ellas prefigura distintos ámbitos: físico y psicológico, individual o colectivo, estatal, regional (grupo de Estados) y planetario. También, cada uno de ellos remite a distintos imaginarios anclados en diferentes sujetos: desde la autoprotección del individuo en el nivel más «básico» hasta la necesidad de acuerdos de ámbito planetario en el más global, pasando por el ejercicio de distintas formas de gestión colectiva, soberanía estatal o de instrumentos de Derecho Internacional Público interestatal.

Si bien se ha avanzado, ni que sea sobre el papel, en acuerdos internacionales en distintos ámbitos (clima, comercio, trabajo, seguridad policial...) se echa en falta en este conjunto el imaginario de mayor dimensión: el correspondiente al planeta Tierra como sujeto (que no es lo mismo que un grupo de Estados, por amplio que este sea). Y ello porque la Tierra como sujeto puede ser (de hecho, es) objeto de amenazas, pero no cuenta todavía con instrumentos para la gestión de aquellas que le son propias y que hemos podido experimentar, o no, con anterioridad: alteraciones climáticas, pandemias, catástrofes naturales, conflictos armados o crisis económicas globales serían algunos ejemplos de ello. Yendo más allá, y sin mucha más imaginación, podemos añadir a las anteriores las derivadas, por ejemplo, del impacto de un meteorito contra la Tierra, de una tormenta solar, o de una alteración del geomagnetismo terrestre, sucesos que, por ahora, son principalmente objeto de producción audiovisual para el entretenimiento.

En este amplio abanico podemos trazar una doble línea divisoria: una, entre amenazas antropogénicas y amenazas de origen distinto al ser humano; y otra, entre amenazas de daños que pueden repararse y otras que generan perjuicios de muy difícil o imposible reparación. Si las amenazas antropogénicas reparables constituyen el escalón de menor dificultad teórica en su abordaje preventivo por cuanto la decisión sobre su gestión y reversión es esencialmente humana (más allá de la habitual incapacidad del homo sapiens para hacerlo, por ejemplo, frente al cambio climático), el escalón superior lo integran las amenazas de daños no antropogénicos y de efectos catastróficos difícilmente «recuperables», que suponen el nivel máximo de gravedad por la complejidad del control de su anticipación, impacto y daño potencial.

En el escalón superior citado hallaríamos, entre otras, la amenaza derivada de los OPP (Objetos Potencialmente Peligrosos, como asteroides y cometas). Obviamente debería preocupar la amenaza que representan estos cuerpos celestes en el supuesto de un posible choque contra el planeta Tierra. Deben preocupar los daños que pueden provocar y debería preocupar también poder discernir cuáles pudieran ser los instrumentos para una gestión eficiente tanto de la amenaza y de los daños que pueda ésta eventualmente causar como del día después del siniestro; un día en que posiblemente habrán dejado de existir no sólo vidas y bienes, sino territorios, soberanías y potestades (incluso sujetos todopoderosos, como algunos Estados, que se pueden extinguir total o parcialmente no sólo jurídica sino también físicamente) y con ellos un marco jurídico mental que devendrá del todo inservible para una nueva situación emergente que afectará al planeta en su conjunto. Así, por ejemplo, el impacto de un OPP no solo puede causar inmensos daños al planeta, a sus habitantes, a la naturaleza que aloja, o a sus infraestructuras, sino que podría perfectamente provocar la desaparición total de una o más entidades político-jurídicas, como por ejemplo aquellos Estados afectados por el impacto, que podrían resultar totalmente aniquilados y sus poblaciones extinguidas o desplazadas en terribles migraciones (**Simó-Soler y Peña-Asensio 2022**). No cabe en este tipo de escenario el recurso a la clásica «gestión de emergencias», a cargo de uno o más organismos públicos y organizaciones no gubernamentales, por la simple razón de que en este supuesto ya no existen ni las autoridades ni las organizaciones. De nada servirían los manuales de operaciones sobre recuperación de sistemas o resiliencia a las catástrofes. Es este, pues, el tipo de amenaza que ahora nos interesa.

La Tierra, como sujeto, se halla ubicada en el sistema solar y rodeada por un espacio inmediato: el espacio exterior o ultraterrestre, que es también, o debiera ser, tributario de condiciones de seguridad en la medida que en él se generan también amenazas al planeta. Es un ámbito amenazante hasta el punto de haber podido acuñar el concepto de seguridad espacial, que se centra en la seguridad del espacio exterior, aunque su definición y alcance son todavía difíciles de determinar como consecuencia principalmente del uso dual (civil-militar) desarrollado en este ámbito, aunque progresivamente se va ubicando de un modo más definitivo en lo militar. Desde esta perspectiva, la seguridad espacial es también una derivada de la seguridad humana, esto es, del uso que los seres humanos hacemos del espacio exterior. Prueba de ello es que esta preocupación se planteó ya en 1958, con la Resolución 1348 (XIII) «Cuestión del uso pacífico del

espacio ultraterrestre» de la Asamblea General de la ONU, que perseguía «evitar la extensión de las rivalidades a este nuevo campo» y que cristalizó en 1967 en el Tratado de las Naciones Unidas sobre los principios que rigen las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluida la Luna y otros cuerpos celestes. De este modo, el concepto de seguridad espacial resulta de un Tratado que tenía por objeto asegurar la estabilidad y los usos pacíficos del espacio ultraterrestre por parte de la especie humana. Es un concepto todavía claramente antropogénico, muy alejado de la visión ecocéntrica a la que nos hemos referido con anterioridad.

A partir de este enfoque han emergido también otras definiciones de seguridad espacial: «el acceso y uso seguro y sostenible del espacio y la libertad de las amenazas basadas en el espacio» (**Sheehan 2015**); «...el espacio también es cada vez más importante para la geopolítica y para nuestra seguridad y defensa. Nuestra libertad de acción depende de un acceso seguro, protegido y autónomo al espacio» (Unión Europea); «conjunto de todos los medios técnicos, reglamentarios y políticos que tiene como objetivo lograr el acceso y uso sin trabas del espacio ultraterrestre de cualquier interferencia, así como también tiene como objetivo utilizar el espacio para lograr la seguridad en la Tierra» (**Ntorina 2020**). Como es de ver, todas ellas construidas desde el habitual antropocentrismo que impregna este campo, aunque es cierto que el concepto antropocéntrico incluye también otras dimensiones, además de la militar, principalmente económica, social y ambiental (**Sheehan 2015**), aunque todas ellas se ubican igualmente en «lo humano». Esta evolución se imbrica también con otros elementos relevantes como, por ejemplo, el incremento del número de Estados con capacidades espaciales, la creciente participación de actores privados en el uso del espacio o la consolidación del uso dual (seguridad civil–defensa militar) de las tecnologías vinculadas a este campo. Es lo que se ha dado en denominar «Nuevo Espacio», que va a requerir ineludiblemente planteamientos novedosos en cuanto a su gobernanza en la medida en que se refiere a un nuevo sector global que abarca también empresas aeroespaciales con una clara orientación comercial, muy alejada de las motivaciones políticas o geoestratégicas que inspiran el quehacer de los Estados. Sería el caso, por ejemplo, de SpaceX, perteneciente a Elon Musk; Blue Origin, perteneciente a Jeff Bezos y Virgin Galactic, perteneciente a Richard Branson. Estos actores van a generar problemáticas novedosas como, por ejemplo, las derivadas de la caída en el Mediterráneo el 5 de septiembre de 2022 de la segunda etapa de un cohete Falcon 9 perteneciente a una de las misiones de SpaceX para poner en órbita 51 nuevos satélites Starlink.

Es por ello, por su carácter antropocéntrico y antropogénico, que se centra en la utilidad del espacio exterior para usos humanos, principalmente militares, que deberemos excluir esta visión del análisis que ahora nos interesa, que no es otro, como hemos indicado, que el de la protección del planeta en su conjunto frente a amenazas «exteriores» no antropogénicas, especialmente las derivadas de OPP. Quedan pues muy atrás los conceptos de seguridad humana y seguridad espacial, incapaces de acoger la visión de aquellas amenazas a las que nos hemos referido, que afectan al planeta como tal, no tienen como origen a la especie humana y provienen del ámbito más exterior. Superados pues, por insuficientes como hemos apuntado, estos conceptos de seguridad

humana y seguridad espacial proponemos otro término más adecuado a nuestro objeto: el de «seguridad planetaria», y para ello nos basamos, como hemos indicado, en una perspectiva centrada en la protección del planeta Tierra como un todo que incluye no sólo a los seres humanos, sino a la vida en su conjunto que pueda verse amenazada.

3. ENTIDAD Y GESTIÓN DE LA AMENAZA DE OPP A LA SEGURIDAD PLANETARIA

Dentro del ámbito de la seguridad planetaria nos centraremos en el peligro de impacto de OPP (asteroides y cometas) en el planeta. Hacemos referencia a una amenaza no generada por nuestra especie, de origen exterior, de consecuencias catastróficas en magnitudes muy elevadas y no experimentadas aún por la humanidad, aunque constituye un supuesto que cuenta con antecedentes que sí que han sido experimentados por el planeta en cuanto tal. Es el caso del denominado impacto K/T (del alemán: *Kreide/Tertiär*), consistente en la colisión de una roca extraterrestre de unos diez kilómetros de largo contra la Tierra en las actuales costas de Yucatán en México hace aproximadamente 66 millones de años, lo que causó un cráter de unos 200 km, cambios en la corteza terrestre y en el clima y la extinción masiva del 75% de las especies existentes. Todo ello quedó registrado geológicamente y conllevó el paso del Mesozoico al Cenozoico. Fue un evento que puede repetirse según diversas teorías que apuntan a que se trata de fenómenos cíclicos: una de ellas (**Tipler 1991**) indica que cada vuelta del sistema solar a la Vía Láctea (240 millones de años) se generan perturbaciones gravitatorias y choques de distintos cuerpos contra los planetas; otra (**Davis y Muller 1984**) plantea que el Sol estaría acompañado de una estrella enana marrón que genera perturbaciones periódicas que provocan impactos de objetos contra los planetas cada 27 millones de años.

No es, por tanto, una mera conjetura sino una amenaza evidente. Existen además otras amenazas a la continuidad de la vida en la Tierra tal como la conocemos (geomagnetismo, tormentas solares) que se caracterizan también por no ser antropogénicas y por causar consecuencias devastadoras, aunque la alteración del geomagnetismo terrestre no es un fenómeno exterior al planeta, sino absolutamente intrínseco a este. Por motivos de limitación de la extensión de este trabajo y de focalización de su objeto, descartaremos el análisis en profundidad de las tormentas solares o de los problemas derivados de la alteración del geomagnetismo natural (a los que nos referiremos muy puntualmente), aunque muy probablemente, a los efectos presentes, las consideraciones que podemos efectuar respecto de OPP podrían tener también validez, al menos en parte, para ellos.

Veamos a continuación cuál puede ser la entidad de esta amenaza: ¿se trata de un peligro o, por el contrario, es un riesgo? Ello conviene precisamente para poder determinar a continuación cuál pueda ser el modelo de gestión de peligro o riesgo más adecuado. Como hemos desarrollado a lo largo de trabajos anteriores (**García Hom y Moles 2021**), peligro y riesgo constituyen dos conceptos bien distintos, pero que pueden agruparse en una categoría más amplia denominada «amenazas». Las amenazas,

el peligro y el riesgo, son, en realidad, señales de advertencia, señales de gestión del miedo al daño. Se trata de conceptos que anticipan la posibilidad de que el sujeto sufra un daño y que, por tanto, sirven de «señales del miedo» al daño. De hecho, es posible dibujar una «geografía del miedo» que permite ubicarnos en la identificación de sus diferentes señales.

Así, podemos identificar un miedo experiencial a lo obvio, otro miedo construido a lo dudoso, otro miedo difuso a lo desconocido y, finalmente, otro miedo indefinido a lo irrelevante. El primero resulta de una experiencia dañina, bien experimentada con anterioridad, bien relatada o aprendida de un tercero. El segundo se dibuja a partir de la incertidumbre respecto del dónde y el cuándo acontecerá el daño, lo que nos ubica en el ámbito del cálculo de riesgos. El tercero es un constructo social que posiciona al grupo social frente a ignorancias concretas. El cuarto es una forma cultural: la cultura del miedo. Ejemplo del primero es el miedo a un cuchillo (sabemos que puede causar daño en forma de heridas más o menos graves). En el segundo anidan ejemplos como el riesgo financiero, el cálculo de las primas de seguros o incluso los deportes «de riesgo». Ejemplo del tercero es el miedo a las ondas electromagnéticas de las antenas de telefonía móvil, que supuestamente causan enfermedades, aunque no existe evidencia de ello, ni de lo contrario precisamente por la incertidumbre que generan las tecnologías emergentes. Finalmente, el miedo cultural ampara el miedo al cambio, a los daños que pueda generar, y dificulta la innovación y la creatividad.

Estas cuatro tipologías del miedo configuran una auténtica geografía del miedo y se ubican en un proceso de mayor a menor certidumbre y también de mayor o menor conocimiento tanto del daño como de la experiencia causal. Son también un itinerario que transcurre por distintas herramientas: desde la prevención de peligros y riesgos calculables (certidumbre experiencial) hasta los mecanismos de innovación vinculados al caos de la creatividad, pasando por el principio de precaución y la gobernanza de riesgos asociados a aquellos riesgos que no son calculables ni experienciales, y el análisis de inteligencia aplicado a los entornos de incertidumbre en supuestos de desconocimiento, o del daño o de su causa, o de los actores, o del contexto o de las secuencias temporales o causales. La elección de una u otra herramienta estará en función del conocimiento o desconocimiento de los daños y de la capacidad o incapacidad para identificar el vínculo causal y el tiempo del acontecimiento del daño. En base a lo expuesto, para poder avanzar y validar una categorización útil, recordemos que deberemos centrarnos en el breve análisis de amenazas que afecten directamente al planeta y que no tengan un origen antrópico (es decir, causado por el ser humano como, por ejemplo, el cambio climático).

Para ello, como hemos adelantado, nos referiremos a un supuesto principal: el fenómeno de los OPP –asteroides y cometas potencialmente peligrosos–. De un modo más secundario mencionaremos las tormentas solares y a las catástrofes derivadas de las alteraciones del geomagnetismo. En cuanto a lo que principalmente nos interesa, los OPP, como hemos podido exponer en párrafos anteriores, la ciencia se halla en disposición de acreditar que se trata de fenómenos dotados de certidumbre experiencial en

relación con los daños causados en un pasado remoto: han ocurrido con anterioridad y conocemos sus consecuencias, aunque la humanidad aún no la haya experimentado.

Del mismo modo, las alteraciones del campo magnético terrestre se han sucedido repetidas veces en la historia del planeta con una frecuencia aproximada de 250.000 años, provocando una inversión de los polos norte y sur. Es un fenómeno vinculado a la dinámica del núcleo de la Tierra, que genera corrientes eléctricas que provocan un campo magnético en permanente dinamismo que es fundamental para la vida en el planeta porque la protege de las radiaciones cósmicas y de las partículas solares. Así, estudios recientes de la ESA han verificado que el polo norte magnético se está alterando rápidamente y que entre África y Sudamérica se ha generado una menor intensidad magnética, descrita como la anomalía del Atlántico Sur. Esta anomalía puede provocar que los satélites sobre esta zona experimenten fallos debido a la existencia de partículas cargadas que penetran hasta la altitud de los satélites como consecuencia de la debilidad del campo magnético. Igualmente se trata de un fenómeno dotado de certidumbre experiencial en un pasado remoto.

En último lugar, las tormentas solares, esto es, las fulguraciones del Sol que afectan a la carga eléctrica de la ionosfera y alteran su papel en la transmisión de señales de las antenas terrestres. Son sucesos de la denominada «meteorología espacial», distinta de la «meteorología terrestre». Si la actividad del Sol va acompañada de la erupción de masa con carga eléctrica dotada de un campo electromagnético nos hallaremos ante una «tormenta solar», capaz de generar fallos en tecnologías diversas. Son hechos de los que se dispone de experiencia anterior. En 1859 se produjo una gran llamarada solar (el evento Carrington), así nombrada por el nombre del científico que la registró, que provocó el fallo de los incipientes sistemas de telégrafo en toda Europa y América del Norte, que sufrieron cortes y cortocircuitos provocando numerosos incendios, tanto en Europa como en Norteamérica, así como la aparición de numerosas auroras boreales en zonas como Madrid, Roma, Santiago de Chile, La Habana o las islas Hawái. Este suceso del año 1859 fue el más potente de los que se tiene constancia, aunque en 1967, en tiempos de la Guerra Fría, EE. UU confundió una tormenta solar con un ataque ruso al detectar una señal extraña en el radar, y en 1972 varias minas submarinas estallaron en Vietnam. En 1989 se paralizó una planta hidroeléctrica en Quebec que dejó sin electricidad a Canadá durante varias horas, y en 2003 se fundieron transformadores eléctricos en Sudáfrica. En diciembre de 2006 falló todo el sistema GPS mundial. En 2010 falló un satélite debido a descargas electromagnéticas y en septiembre de 2011 quedó fuera de servicio el *Global Navigation Satellite System* (GNSS) que engloba al GPS americano, el Galileo Europeo y el GLONASS ruso. Durante el huracán Irma, en 2017, el Caribe quedó sin comunicación por radio como consecuencia de otra tormenta geomagnética. El 16 de abril de 2022 el Sol emitió una llamarada solar significativa, alcanzando su punto máximo a las 11:34 p.m. est. El Solar Dynamics Observatory de la NASA, que observa constantemente el Sol, capturó una imagen del evento. Estas tormentas son fenómenos recurrentes sobre los que, como hemos apuntado, existe experiencia anterior de su capacidad de generar daños.

En resumen, tanto los OPP como las alteraciones del geomagnetismo y las tormentas solares son eventos respecto de los cuales disponemos (la Tierra, como sujeto, dispone) de experiencia anterior respecto de su capacidad para causar daño. Sabemos también que son recurrentes. Se trata, por tanto, en una primera aproximación, de peligros tributarios de políticas preventivas y de todo el bagaje conceptual propio de la técnica de prevención de peligros, puesto que estamos en el ámbito del miedo experiencial a lo obvio, esto es, a los daños que ha causado cualquiera de estos eventos. En una segunda aproximación podemos plantearnos, ahora sí, dudas sobre la mayor o menor frecuencia o el momento preciso en que estos fenómenos puedan acontecer. En este segundo nivel nos ubicamos ante otro tipo de miedo: el que se construye para la gestión de una amenaza de la que conocemos su potencial dañino, pero no el momento ni la magnitud en que va a acontecer: es un miedo construido frente a lo dudoso. Hacemos referencia ahora al ámbito del riesgo experiencial y del cálculo de probabilidades, mercedores de técnicas de gestión como el principio de precaución, desde nuestro criterio superado por inoperante (**García Hom y Moles 2021**), o la gobernanza de riesgos. Decimos que descartamos el Principio de Precaución, que se basa en la idea de «más vale prevenir que curar» («better safe than sorry»), por inoperante porque, a pesar de resultar aparentemente de utilidad ante la incertidumbre en la medida que aporta un criterio para la actuación, opera en una contradicción irresoluble entre la fe en la ciencia para asegurar una sociedad libre de daños y el escepticismo frente a la ciencia misma. Se trata de una contradicción irresoluble entre esperanza y miedo que ubica el Principio de Precaución en el campo de los riesgos contruidos –en el mundo de la ignorancia de las causas– a diferencia del Principio de Prevención, que se relaciona con peligros y riesgos experienciales de causalidad comprobable. Es decir, el Principio de Precaución pretende gestionar una amenaza o conjunto de amenazas cuya posibilidad es incierta. El Principio de Precaución resulta, pues, de la suma de la incertidumbre de los daños y la creencia indiciaria en la no aceptabilidad de la magnitud de éstos, más la ignorancia de sus causas. Como es de ver, no es el supuesto sobre el que estamos operando en relación con los OPP, puesto que, en este caso, ante la certidumbre del daño, de su magnitud y de su causa, no caben incertidumbres, que sí que se presentarán en relación con cuándo y dónde radicará el daño. Excluido el Principio de Precaución se tratará, pues, de un fenómeno abordable en dos posibles vertientes: una, tributaria de sistemas de prevención de peligros y la otra, de modelos de gobernanza de riesgos (anticipatoria o mediante análisis de inteligencia).

En la medida en que la amenaza de OPP ya ha sido experimentada por el planeta (aunque no por los seres humanos) en el pasado como un hecho acontecido que causó un daño cierto acreditado (un enorme impacto) que condujo incluso a la masiva extinción de especies, podemos pensar que es una amenaza que puede reiterarse. Desde esta perspectiva (sabemos que puede volver a ocurrir) y también desde la perspectiva del daño causado (sabemos cuánto de catastrófico a escala planetaria) esta amenaza se configura claramente como un peligro que, como todo peligro, requiere de políticas de prevención. Para lo que nos interesa: requiere de mecanismos de detección, alerta temprana y de evitación del daño (de ser posible, por ejemplo, mediante la deflexión o destrucción del OPP antes de que pueda afectar la trayectoria del planeta). Igualmente,

en tanto que peligro, deberían plantearse políticas preventivas que alcancen a establecer recursos de mitigación del daño en el caso de que se produzca, y de recuperación –resiliencia– después de la catástrofe. Un ejemplo de esta lógica «prevencionista» opera ya en relación con las tormentas magnéticas solares. El SENMES (Servicio Nacional de Meteorología Espacial) facilita información para todos los públicos con avisos automáticos de prealerta por las perturbaciones del Sol en la Tierra. Este Servicio, gestionado por el Grupo de Investigación Meteorología Espacial de la Universidad de Alcalá, proporciona información de las condiciones solares, interplanetarias y del entorno terrestre en tiempo real. Incluso dispone de un método, con patente europea, para elaborar índices geomagnéticos locales. Este Servicio ha desarrollado dos índices propios: por un lado, el «*Local Disturbance index*» (LDi), una patente europea de la Universidad de Alcalá, que mide en tiempo real y con resolución de minutos la perturbación en un lugar concreto ya sea en España o en otro lugar; y, por otro, un índice de media o baja latitud para la monitorización y predicción. Faltaría aún determinar un plan de recuperación ante los daños que un evento de este tipo pueda causar.

La amenaza de OPP, además de como un peligro, puede ser conceptuada, también, un riesgo experiencial en la medida en que se pueda considerar que el daño no pueda ser determinado con certeza, sino sólo calculable. En ambos supuestos (peligro y riesgo experiencial) se trata del mismo modelo genérico de gestión del miedo, y, por tanto, nos hallaremos ante el mismo recurso de gestión para ambos: la prevención. Los modelos preventivos de peligros antropogénicos más clásicos se basan, aún hoy, en la limitación de conductas, el aseguramiento de condiciones para la acción humana, la inspección de estas y la sanción en caso de incumplimiento. «Si bebes no conduzcas», «trabaja, pero seguro», «póntelo-pónselo», son ejemplos de ello, como lo son los limitadores de velocidad, las licencias administrativas para conducir o usar armas, o los controles de seguridad industrial. Esta prevención se basa en un modelo *ex post*, basado en la adopción de medidas preventivas como consecuencia del acontecimiento de un hecho dañoso de causalidad probada y basada en la conducta humana. El problema de OPP es que no encaja en este esquema porque es una amenaza no antropogénica: para evitar el hecho dañoso (el impacto de OPP contra la Tierra) de nada sirve la limitación de conductas, ni el aseguramiento de condiciones para la acción humana, ni la inspección de estas ni la sanción en caso de incumplimiento. Para reconducirlo a un modelo preventivo que pueda acreditar la posible evitación del daño deberemos, de manera indiscutible, ubicarnos en el campo de la anticipación; esto es, en las capacidades para anticiparnos al suceso dañoso con posibilidades efectivas de evitarlo y/o de mitigar los daños que pueda causar. En otras palabras: alerta temprana (cuanto más temprana, mejor) y capacidades de intervención para la destrucción o reorientación de la amenaza (OPP) y para la mitigación y resiliencia de los eventuales daños causados.

Como es obvio, no son capacidades al alcance ni de una empresa, ni de varias, ni de uno o varios Estados. Nos estamos refiriendo a capacidades planetarias (no estatales o regionales a escala mundial), capacidades de contribución global y de retribución también global en la medida en que lo que está en juego es la existencia misma de la globalidad, del planeta. La misión es de tal envergadura que de nada serviría la acción

aislada de un actor, ni siquiera de uno o varios Estados. Superada la mera prevención clásica y el principio de precaución (de resultados paralizantes) será preciso pues un modelo de gobernanza para preparar este escenario. Un modelo de gobernanza eficiente, estable y sostenible que cuente con el concurso del conjunto de actores públicos y privados. Para ello habrá que superar el estadio actual de comercialización salvaje y de carrera armamentista en el espacio (**Khan et al. 2020**). En este punto, vistas las limitaciones del Derecho Internacional, sería posible recurrir también a procesos de carácter autorregulatorio paralelos a la regulación clásica (**Freeland y Gruttner 2020**).

Así, mientras peligros y riesgos experienciales (con pleno conocimiento del daño y del momento en que puede acontecer) son abordables mediante el Principio de Prevención, los riesgos contruidos (relativos a una amenaza de la que conocemos su potencial dañino, pero no el momento en que va a acontecer) lo son mediante la Gobernanza Anticipatoria de Riesgos, que surge de la necesidad de gestionar múltiples intereses (científicos, políticos, sociales...) ante la emergencia de nuevas tecnologías y sus potenciales riesgos amplifícadamente contruidos y percibidos en un marco de elevada incertidumbre.

Se intentaría así consensuar una gobernanza democrática de riesgos mediante la integración de conocimientos, valores y percepciones de actores expertos y legos para facilitar los procesos de decisión. Para ello, es esencial incrementar la calidad de la información que se presenta a los distintos agentes implicados, así como acordar el proceso de cambio entre los actores integrantes (**García Hom y Moles 2021**). Y ello porque mientras los riesgos gestionados en el modelo de gobernanza clásico son abordados como probabilidades, los del modelo participativo (el propio de la Gobernanza Anticipatoria del Riesgo) lo son como percepciones, aunque en ambos casos nos hallamos frente a una limitación de hondo calado: ¿cómo determinar qué riesgos cuando desconocemos los daños potenciales, o aún conociéndolos, cuando no podemos determinar un nexo causal, o no podemos identificar ni actores reales en juego, ni circunstancias del contexto ni secuencias de hechos relevantes para el acontecimiento causante del miedo? En estos casos la incertidumbre dominante lo impide. Es el supuesto, por ejemplo, de los miedos vinculados a OPP: ¿cuándo, dónde, a quién afectarán?

Hablamos de «Gobernanza Anticipatoria» porque el problema básico de OPP no es sobre su entidad, ni sobre su capacidad para provocar catástrofes, sino en su relación con el futuro, con la incertidumbre de no saber ni dónde, ni cuándo, ni quién, ni en qué medida se va a ver afectado. De cómo se construya el futuro en relación con los OPP, de cómo se pongan en juego las capacidades colectivas, incluida la imaginación del «cerebro social», dependerá la capacidad de prevenir el fenómeno, sobrevivir al cataclismo, paliar los daños y reconstruir lo destruido. En este sentido, se trata de superar el análisis empírico de la certidumbre del presente para anticiparse al desastre mediante la «coproducción de conocimiento sociotécnico». Incluso, yendo más allá, y desde una perspectiva de naturaleza filosófica, para ciertas amenazas esa «coproducción del conocimiento» debería incorporar también la manera en la que, llegado el caso, debiéramos, o no, desaparecer después de la catástrofe.

Los «miedos difusos» que genera la incertidumbre (caso de OPP) no son abordables ni mediante metodologías de Prevención, ni mediante la Gobernanza del Riesgo clásica porque responden a percepciones que reúnen características añadidas, como la volatilidad o ambigüedad, fuentes todas ellas del creciente sentimiento de ansiedad de las sociedades actuales caracterizadas por el concepto de «entorno VUCA», un concepto que significa volátil, incierto (*uncertain* en inglés), complejo y ambiguo, y que fue acuñado por el *US Army War College* en las semanas previas al 11 de septiembre de 2001. En este sentido, si bien es cierto que el mundo ha devenido un contexto VUCA, también es cierto que podría gestionarse sobre otra base con el mismo acrónimo, el de «Visión, Comprensión (*Understanding*), Claridad y Agilidad». Ello conllevaría la necesidad de adaptar el conocimiento a un nuevo entorno completamente distinto del anterior, también en cuanto al miedo. Un miedo generado por el desconocimiento y que obliga a tomar decisiones «en el vacío», o lo que es lo mismo, fuera del marco mental del modelo científico experto, vertical, jerarquizado de arriba a abajo. A este vacío nos referimos con la idea de «Gobernanza Anticipatoria», un concepto originado en el ámbito de las políticas ambientales y en la gestión pública de las tecnologías emergentes (**Karinen y Guston 2010**).

Se trataría de gestionar el futuro (la amenaza OPP) por parte de los actores implicados (el conjunto de habitantes del planeta Tierra, especialistas o no, individuales o colectivos), mediante la imaginación y la puesta en común de recursos. Esta Gobernanza Anticipatoria se basa en técnicas propias del Análisis de Inteligencia usadas habitualmente por los servicios de inteligencia para la construcción de futuros, como por ejemplo la prospectiva, entre otras. La Gobernanza Anticipatoria serviría para cristalizar las capacidades de distintos actores (tanto expertos como legos) para imaginar, diseñar y criticar, mediante Análisis de Inteligencia, el futuro ante un OPP y, por tanto, coordinar recursos y minimizar rechazos a propuestas viables, si bien ello demanda dos requisitos ineludibles: la aceptación política y pública de los resultados de la aplicación de estos mecanismos (**Fischer et al. 2006**), y la capacidad para generar escenarios de futuro, es decir, descripciones de hechos o posibles sucesos futuros que permitan conocer las distintas alternativas en juego, así como su evolución. En resumen, la incertidumbre organizativa, económica y regulatoria, consustancial a sucesos como los OPP (también a otros como tormentas solares y fenómenos de alteración del geomagnetismo terrestre) solo puede abordarse desde la transdisciplinariedad anticipatoria, puesto que se trata de riesgos que son una idea del futuro, pero no un hecho de nuestro presente construido a partir de una experiencia del daño pasado. De este modo, el Análisis de Inteligencia puede contribuir a incrementar el conocimiento y reducir la ignorancia sobre magnitudes y probabilidades. Proponer el Análisis de Inteligencia como herramienta de gestión de amenazas con elevada incertidumbre es referirnos a un modelo de producción de inteligencia (conocimiento) para la gestión del riesgo. Un modelo clásico basado en el proceso conocido como «Ciclo de Inteligencia», que sistematiza la evaluación, integración, análisis e interpretación de la información sobre aquellas amenazas y, por tanto, también sobre los miedos difusos y la incertidumbre. Y es que la gestión de las amenazas a las que aludimos requiere de un nuevo marco de creación del conocimiento.

Un nuevo marco que permita superar el modelo tradicional de creación de conocimiento, que se ha fundamentado esencialmente en mecanismos académicos, institucionales, fuertemente jerarquizados, «unidisciplinarios», con un control de calidad basado en la revisión de los pares (*peer review*), y con un impacto social *ex post*. Y ello porque la incertidumbre asociada a las amenazas descritas exige de procesos de creación del conocimiento no sólo académico, sino transdisciplinario, aplicado, reticular, no jerarquizado, ubicuo, público-privado, y, ante todo, *ex ante* y con un control de calidad totalmente abierto. Así, un Análisis de Inteligencia útil para la gestión de estas amenazas deberá privilegiar una estrategia organizativa de los conocimientos basada en una aproximación de inteligencia compartida, reticular y de código abierto, capaz de integrar grandes volúmenes de información desde una perspectiva transdisciplinar. Ello debería permitir extraer el conocimiento (inteligencia) esencial para apoyar una toma de decisiones prospectiva. Nada que ver con la asesoría hiperespecializada tan de moda. Es preciso, por tanto, un Análisis de Inteligencia capaz de innovar en la gestión de miedos y riesgos complejos mediante la asimilación del dinamismo transdisciplinar de los conceptos en un enfoque claramente prospectivo.

Veamos un ejemplo. Si en el ámbito de las tecnologías emergentes ya planteamos en su momento las limitaciones de la Gobernanza de Riesgos clásica (**Garcia Hom y Moles 2021**) que carecía, a nuestro entender, de elementos que permitieran anticipar decisiones en contextos de amenazas derivadas de tecnologías emergentes de elevada incertidumbre, podemos ahora trasladar el mismo análisis al contexto de las amenazas OPP, por ejemplo. Así, la amenaza de OPP constituiría un «miedo complejo», de elevada incertidumbre. Ante ello el Análisis de Inteligencia, debidamente asociado a mecanismos de Gobernanza Anticipatoria, podría contribuir a determinar «cuándo es preciso hacer qué» en relación con dicha amenaza ayudando a identificar la fase más adecuada para una intervención transdisciplinar de gestión de miedos-riesgos complejos en el proceso de gestión de la amenaza. Las fases a las que nos referimos fueron identificadas por Fisher, Mitcham y Mahajan (**Fischer et al. 2006**) en el ámbito de los riesgos sociotécnicos complejos. Los autores describieron los procesos evolutivos de la investigación científica en forma de corriente, como si de un río se tratara, y caracterizaron la toma de decisiones respecto a tecnologías emergentes, distinguiendo tres momentos: un tramo superior (*upstream*), medio (*midstream*), e inferior (*downstream*). En el primer tramo (superior) del proceso relativo a tecnologías emergentes, los autores ubican la decisión de desarrollo científico de carácter básico, financiada con fondos públicos y muy inconcreta en relación con objetivos tecnológicos explotables directamente. Le sigue un segundo tramo de investigación propiamente dicha (mayor concreción de objetivos, aunque con intereses aún difusos). Finalmente, en el tercero se ubica la materialización de intereses (tanto económicos como geoestratégicos o de otro tipo) y, también, la mayor concreción de objetivos (económicos, sociales, académicos) en relación con las tecnologías emergentes.

Del mismo modo en el ámbito de las amenazas OPP cada fase conlleva un nivel distinto de información y de poder de decisión. En la inicial, quien gestiona dispone de un amplísimo poder de decisión (estrategia, objeto, metodología o financiación),

aunque ignora modo, nivel de información a diseminar y su impacto social. En el inferior es justo lo contrario: conocimiento del impacto de la información muy elevado, aunque nulo poder de decisión respecto al proceso porque los intereses ya han cristalizado. En cambio, es en el tramo medio donde el nivel de información y el poder de decisión restan a la par. Es en este tramo cuando deberemos actuar para anticiparnos a la generación de miedos complejos que se generan en la cristalización de intereses de la fase posterior (*downstream*). Estos miedos dificultarían o impedirían cualquier intervención para la gestión de la amenaza. Esta intervención en el tramo intermedio permitiría no sólo anticiparse a movimientos futuros (sociales, económicos, por ejemplo), sino también poder abordar de modo transdisciplinar la complejidad psicológica, sociológica, económica o regulatoria.

Vemos, así, como el Análisis de Inteligencia aplicado al tramo medio permite abordar la incertidumbre y sentar las bases para una posterior Gobernanza Anticipatoria por parte de las administraciones y sectores implicados que permita gestionar la amenaza en un entorno de elevada incertidumbre constatada por las distintas disciplinas que estudian los riesgos como una idea del futuro (sociología, psicología social, derecho, economía, prospectiva, epidemiología, entre otras).

4. CONCLUSIONES

La seguridad planetaria es la seguridad de la Tierra como un todo orgánico, del que todos sus ocupantes somos a la vez sujetos tributarios y beneficiarios. La defensa planetaria, en cambio, es un concepto más limitado referido al conjunto de recursos disponibles ante eventuales amenazas. Las amenazas extraplanetarias no antropogénicas que nos han interesado a los efectos de estas líneas pueden ser consideradas peligros o riesgos en función del previo conocimiento, o no, del daño y del momento en que pueden acontecer. Los peligros serán gestionables mediante el Principio de Prevención, mientras que los riesgos (una amenaza de la que conocemos su potencial dañino, pero no el momento en que va a acontecer) lo deberán ser mediante modelos de Gobernanza Anticipatoria de Riesgos, capaces de gestionar múltiples intereses (científicos, políticos, sociales...) en un marco de elevada incertidumbre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baldwin, D. (1997). The concept of security. *Review of International Studies*, 19, 5-26.
- Davis, H. P. y Muller, R. A. (1984). Extinction of species by periodic comet showers. *Nature* (308).
- Fisher, E.; Mahajan, R.L.; y Mitcham, C. Midstream modulation of technology: governance from within. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 26(6), 2006, pp. 485-496.
- Freeland, S. y Gruttner, E. (2020) The laws of war in Outer Space. En K. U. Schrogl (Ed.), *The Oxford Handbook of the International Law of Global Security* (2a ed., pp. 73-95). Springer.

- García Hom, A. y Moles Plaza R. J. (2021). *Manual del miedo. Un análisis socio-jurídico*. Aranzadi 2a ed.
- Karinen, R. y Guston, D. H. (2010). Toward Anticipatory Governance: The Experience with Nanotechnology. En M. et al. Kaiser (Eds.), *Governing Future Technologies. Nanotechnology and the Rise of Assessment Regime* (pp. 217–232). Springer.
- Khan, A. Ullah, S. y West, J. (2020) *Handbook of Space Security Policies, Applications and Programs* Springer 2a ed.
- Korsgaard, C. (2013). Personhood, animals, and the law. *Think*, 12(34), 25-32.
- Lovelock, J. (2016). *Gaia*. Oxford University Press.
- McDonald A. y Brollowski, H. (2011). *Seguridad*. Max Planck Encyclopedia of Public International Law. Oxford Public International Law.
- Ntorina, A. (2020). *Manual de seguridad espacial*. Springer.
- Rothschild, E. (1995). What is Security? *Daedalus*, 124(13), 53-98.
- Sheehan, M. (2015). *Defining Space Security*. En K-U, Schrogl, P. L., Hays, J., Robinson y D. Tipler, P. M. Ch. Giannopapa, D (Eds.), *Handbook of Space Security. Policies, Applications and Programs*, (pp. 7-21). Springer.
- Simó-Soler, E. y Peña-Asensio, E. (2022). *From impact refugees to deterritorialized states: Foresighting extreme legal-policy cases in asteroid impact scenarios*. *Acta Astronautica*, 192, 402-40
- Tipler P. M. (1991). *Física preuniversitaria*. Barcelona. Reverte.
- Williams, P. D. (2013). *Estudios de seguridad: una introducción*. Routledge, Oxford University Press.
- Ley nº 071 de 2010, de derechos de la Madre Tierra. 21 de diciembre de 2010. D.O 205NEC. <http://www.planificacion.gob.bo/uploads/marcolegal/Ley%20N%C2%B0%20071%20DERECHOS%20DE%20LA%20MADRE%20TIERRA.pdf>.
- Ley 300 de 2012. Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien. 15 de octubre de 2012.D.O. No. 0431. <http://www.planificacion.gob.bo/uploads/marcolegal/Ley%20N%C2%B0%20300%20MARCO%20DE%20LA%20MADRE%20TIERRA.pdf>.
- Proyecto de ley S-2506/15. Derechos de la naturaleza. <https://www.senado.gob.ar/parlamentario/parlamentaria/365901/downloadPdf>.
- Te Urewera Act 51/2014. <https://www.legislation.govt.nz/act/public/2014/0051/latest/DLM6183601.html>.
- Whanganui River Deed of Settlement. <https://www.govt.nz/assets/Documents/OTS/Whanganui-Iwi/Whanganui-River-Deed-of-Settlement-Ruruku-Whakatupua-Te-Mana-o-Te-Awa-Tupua-5-Aug-2014.pdf>.
- Sentencia de 28 de marzo de 2018. Nº 012-18-sis-cc. Caso nº 0032-12-is Corte Constitucional del Ecuador. <https://www.derechosdelanaturaleza.org.ec/wp-content/uploads/2018/04/CUMPLIMIENTO-RÍO-VILCABAMBA.pdf>.
- Sentencia de 10 de noviembre de 2016. Exp. T-5.016.242 Corte Constitucional. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/t-622-16.htm>.
- Sentencia de 11 de julio de 2019. CSJ 714/2016/RH1 Majul, Julio Jesús c/ Municipalidad de Pueblo General Belgrano y otros s/ acción de amparo ambiental. <https://cdh.defensoria.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2019/07/fallo-majul.pdf>.

- Sentencia de 1 de diciembre de 2017. CSJ 243/2014 (50-L) ICS1 Provincia de La Pampa c/ Provincia de Mendoza s/ Uso de aguas río Atuel. <http://www.sajj.gob.ar/corte-suprema-justicia-nacion-federal-ciudad-autonoma-buenos-aires-provincia-pampa-provincia-mendoza-uso-aguas-fa17000056-2017-12-01/123456789-650-0007-1ots-eupmocsollaf>.
- RES 1348 (XIII) UNOOSA 1958 Question of the Peaceful Use of Outer Space. https://www.unoosa.org/oosa/documents-and-resolutions/search.aspx?view=resolutions&f=oosaResolution.symbol_s1%3ARES\+1348\+\%28XIII\%29.
- 2222 (XXI). Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies (1966). <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>.
- Speech by High Representative/Vice President Josep Borrell at the 14th European Conference. The Diplomatic Service of the European Union. https://www.eeas.europa.eu/eeas/space-speech-high-representativevice-president-josep-borrell-14th-european-conference_en.
- Magnetic north and the elongating blob. ESA https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Swarm/Magnetic_north_and_the_elongating_blob.
- NASA. Madrid Deep Space Communications Complex. DEEP SPACE NETWORK. <https://www.mdsc.nasa.gov/index.php/2022/04/19/el-sol-ha-liberado-una-gran-llamarada-solar/>.
- Spanish Space Weather Service. <http://www.senmes.es/section/2>.

CAPÍTULO 8. PSICOLOGÍA Y DEFENSA PLANETARIA

JOSÉ IGNACIO ROBLES SÁNCHEZ¹

Doctor en Psicología. Especialista en Psicología Clínica.

*Director Ejecutivo de la Revista de Sanidad de las Fuerzas Armadas de España
«Sanidad Militar»*

DOI: 10.14679/2280

Sumario: 1. INTRODUCCIÓN. 2. EVENTOS DE ALTÍSIMO IMPACTO Y MUY BAJA PROBABILIDAD. 3. COMUNICACIÓN DE RIESGOS EN LAS DISTINTAS FASES: ALERTA, IMPACTO Y RECUPERACIÓN. 3.1. Si hubiese que proceder a la evacuación masiva. 4. REACCIONES GENERALIZADAS Y REACCIONES PARTICULARES. 5. PREPARACIÓN PSICOLÓGICA. FOMENTANDO LA RESILIENCIA. 5.1. Psicoeducación y planificación. 5.2. ¿Cómo se puede llevar a cabo esa preparación? 6. CONCLUSIONES.

Si algún día un asteroide colisiona contra la Tierra, eliminando no sólo a la raza humana sino también a millones de otras especies, y nosotros podríamos haberlo prevenido pero no lo hicimos por indecisión, prioridades desequilibradas, definición imprecisa del riesgo y planificación incompleta, entonces será la mayor abdicación en toda la historia de la humanidad por no usar nuestro don del intelecto racional y de la conciencia para cuidar de nuestra propia supervivencia, y de toda la vida en la Tierra².

1. INTRODUCCIÓN

Según la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC) un desastre es: «un evento calamitoso, repentino o previsible, que trastorna seriamente el funcionamiento de una comunidad o sociedad y causa unas

¹ Doctor Psicología y Especialista en Psicología Clínica. Profesor Colaborador del Máster Psicología General Sanitaria de la Universidad Pontificia de Salamanca, de la Cátedra de Emergencias de la Universidad de Málaga, del Máster de Psicología Forense y Penitenciaria de la Universidad Autónoma de Madrid, Máster Psicología Clínica, Legal y Forense de la UCM y Máster de Psicooncología y Cuidados Paliativos de la UCM. Teniente Coronel Psicólogo (Retirado), Director Ejecutivo de la Revista de Sanidad de las Fuerzas Armadas de España «Sanidad Militar».

² Declaración de George E. Brown Jr., en su discurso de apertura del Congreso sobre la amenaza OCT el 24 de marzo de 1993.

pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que desbordan la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación a través de sus propios recursos».

Atendiendo a esta definición, no hace falta retrotraerse demasiado en el tiempo, basta con apelar a la reciente pandemia por SAR-CoV-2 para ser conscientes de las consecuencias de un fenómeno de esas características. Los efectos de un desastre dependen no solo de la magnitud de la amenaza, sino también de un conjunto de variables socioeconómicas y socioambientales que interactúan entre sí (**Bahadur et al. 2010; Castleden et al. 2011; Manyena 2006**).

Desde la Gestión Operativa de Riesgos se preconiza que la prevención es el mejor método para mitigar los resultados adversos. La posibilidad de que un Objeto Cercano a la Tierra (OCT) colisione contra nuestro planeta representa una amenaza de altísimo impacto (catastrófico), pero de muy baja probabilidad, por lo que quizá no preocupe excesivamente a la mayoría social. Esta desatención no es un fenómeno nuevo; pese a las advertencias técnicas tampoco era previsible el alcance de la pandemia por COVID-19. Sin embargo, la manera más apropiada de minimizar el impacto de todas las posibles amenazas es prepararse para aquello que pueda devenir, situándonos en el peor de los escenarios posibles. La mejor medicina es la preventiva, pero las lecciones aprendidas de anteriores desastres tienden a olvidarse, la gente vuelve a sus rutinas y a sus quehaceres diarios y se vuelven a cometer los mismos errores una y otra vez. No se trata de «salvar vidas», como tanto se ha recomendado y divulgado durante la pandemia, se trata de evitar o gestionar aquellas situaciones que pongan en riesgo de perderla.

Pese a los grandes márgenes de incertidumbres actuales, en el mejor de los casos, la comunidad científica podría conocer con certeza la probabilidad de impacto y el lugar de ocurrencia. Si a pesar de las tecnologías disponibles hubiese dificultades para desviar al OCT, la población afectada tendría que estar capacitada para hacer una evacuación ordenada, ¿pero hacia dónde? Dependería del diámetro del cuerpo celeste y la posible zona devastada³. Habría que establecer prioridades (personas hospitalizadas, mayores, con movilidad reducida, etc.), e incluso se debería tener una especial prevención con aquellas personas que se negaran a abandonar sus hogares o a posibles profetas del fin del mundo que intentarán convencer a las masas para que permanecieran impasibles, así como estratificar las evacuaciones para que se hiciesen de forma efectiva. Si las infraestructuras quedasen destruidas, ¿habría agua, alimentos y medicinas disponibles para la población desplazada? Un gran reto sociopolítico, socioeconómico y sociosanitario que, incluso, podría traspasar nuestras fronteras e implicar a otros estados soberanos y que requeriría, necesariamente, del conocimiento aplicado de la psicología de grandes catástrofes.

³ El problema mayor estaría en las urbes con gran número de habitantes. Se podrían aprovechar las salidas de puentes y festividades desde las grandes ciudades para realizar los simulacros, teniendo en cuenta que en los puentes la gente sale a pasar unos días de ocio y, en esta ocasión, sería abandonar sus viviendas y gran parte de sus pertenencias sin posible retorno. Si en estas situaciones se producen grandes atascos, no es difícil imaginar el problema que se originaría si hay que tomar una única gran arteria de escape.

Los efectos sobre la salud mental generados por la pandemia han surgido no solo del peso de las medidas preventivas adoptadas para su control, del miedo a contraer la enfermedad y a no disponer de remedios eficaces para poder curarse, sino también de tener que hacer frente a un gran número de bajas mortales. En 2018, durante el brote del Ébola, se predijo que la próxima gran epidemia y los desafíos para su contención podrían no deberse a la falta de tecnologías preventivas sino al contagio emocional, lo que podría erosionar la confianza en el gobierno y causar graves trastornos económicos y sociales. Por lo tanto, es crucial comprender la relación existente entre la comunicación de riesgos y las respuestas psicológicas, especialmente en la fase ascendente de la pandemia, en la que las emociones y los comportamientos públicos en respuesta a la epidemia cambian rápidamente. Según el **Dr. Zheng Jin (2020)** director del International Joint Laboratory of Cognitive and Behavioral Science (ILCBC) en la Zhengzhou Normal University: «Los funcionarios que intentan eludir el caos o el pánico ocultando información son más dañinos que el público que se comporta de forma irracional en una emergencia de salud pública [...] Se espera que la planificación previa a la crisis cree un entorno transparente y abierto y un flujo honesto de información».

Dada la experiencia reciente durante la pandemia por la COVID-19, parece inevitable que en un contexto de catástrofe inminente haya controversias ante la información sobre los riesgos, apareciendo en los medios de comunicación gran cantidad de personas «expertas», científicas y no tan científicas que busquen sus «diez minutos» de gloria para llamar la atención o influir. La gran mayoría de la ciudadanía, así como un número elevado de profesionales de los medios de comunicación, a menudo, no pueden distinguir entre mensajes basados en la evidencia y afirmaciones carentes de legitimidad (**David y Williamsom 2013**). Además, es probable que existan diferencias de opinión entre las figuras de autoridad sobre cómo abordar la amenaza de un OCT. Por ello, quienes se encarguen de la comunicación deberán anticiparse para contrarrestar la desinformación con información transparente, fluida, clara, precisa y concisa.

Si se quiere tener pueblos resilientes hay que prepararse mediante entrenamientos y simulacros cada cierto tiempo que reproduzcan con la mayor verosimilitud los posibles escenarios para que se responda de forma automática y ordenada ante los requerimientos de las autoridades competentes, así como ofrecer preparación psicoeducativa desde edades tempranas y una adecuada capacitación de profesionales que puedan atender correctamente todo el espectro de reacciones de la población.

2. EVENTOS DE ALTÍSIMO IMPACTO Y MUY BAJA PROBABILIDAD

Las posibilidades de que un OCT colisione contra la Tierra en los años venideros son muy pequeñas, pero esa colisión es posible, y si sucede, podría resultar catastrófica (**Paine 1999; Garshnek et al. 2000; Trigo Rodríguez 2022**). **Ravan et al. (2022)**, nos recuerdan que el mundo ha estado inmerso en una pandemia única en un siglo, la COVID-19. Los recuerdos de la mal llamada «Gripe española» de 1918, que dejó más de 50 millones de muertes (**Taubenberger y Morens 2006**), se fueron difuminando con el paso de los años y las lecciones que se extrajeron en su momento se olvidaron.

La pandemia por COVID-19 es un ejemplo de un evento de alto impacto y de baja probabilidad, como puede ser la colisión de un OCT, que con gran seguridad tiene menor probabilidad de ocurrencia⁴. La experiencia más cercana en el tiempo es la ocurrida el 15 de febrero de 2013 en Chelyabinsk (Rusia), que según la agencia RIA Novosti provocó daños a varios edificios, principalmente ventanas rotas, y dejó más de 1.000 personas con heridas, contándose entre ellas más de 200 menores. La mayoría de las heridas fueron leves, causadas por los cristales rotos. Al parecer una mujer fue trasladada a Moscú para recibir tratamiento por una lesión en la columna, de acuerdo con medios estatales⁵. Otro evento similar es el acaecido en la mañana del 30 de junio de 1908 sobre la taiga rusa en Tunguska. Quedó afectada una gran extensión de terreno, alrededor de 2.100 kilómetros cuadrados, y se perdieron muchos árboles, se citan ochenta millones; sin embargo, al ser una zona despoblada no hay registros de víctimas humanas, aunque sí de renos.

Según informa la NASA (2014), se espera un impacto de objetos pequeños (entre 15 y 20 metros de diámetro) cada 100 años, por lo que no resulta extraño que no preocupe excesivamente a la población ni a sus gobernantes anticiparse a un incidente de estas características. En la gran mayoría de las naciones, un acontecimiento como un impacto por un OCT no forma parte de su preparación tradicional para desastres y planes de respuesta; de hecho, en el Marco de Sendai para la Reducción de Desastres 2015-2030 (UNDRR), no se tienen en cuenta los desastres de muy alto impacto y baja probabilidad como puede ser la colisión de un meteorito contra la Tierra, pese a que sus objetivos se pueden aplicar a cualquier suceso de estas características.

En España, se publica la Orden PCI/489/2019, de 26 de abril, en la que puede leerse: «Los desafíos en el ámbito aeroespacial provienen principalmente de fenómenos y catástrofes no intencionados como la caída de meteoritos; la basura espacial incontrolada; las erupciones volcánicas; los terremotos; los fenómenos atmosféricos severos; los fenómenos de meteorología espacial; los accidentes; las emergencias; y las epidemias y pandemias, que pueden distribuirse por medios aeroespaciales y extenderse a humanos, animales y vegetales»⁶.

Los riesgos globales, como la amenaza de un OCT, requieren la combinación de muchas disciplinas y actores provenientes de la política, la gestión de riesgos de desastres, las organizaciones no gubernamentales, grupos expertos y miembros de la comunidad (Ravan et al. 2022). No obstante, y a pesar de esto, tratar de introducir estos asuntos en la preparación del personal de las distintas agencias intervinientes, en la

⁴ Para un estudio en profundidad de esta cuestión, consultar el capítulo primero elaborado por Eloy Peña Asensio, Josep M. Trigo Rodríguez, Julia de León y Albert Rimola.

⁵ La mayoría de las heridas fueron leves, causadas por los cristales rotos. Al parecer una mujer fue trasladada a Moscú para recibir tratamiento por una lesión en la columna, de acuerdo con medios estatales.

⁶ En otro apartado de esta Orden se advierte de: «La entrada en la atmósfera terrestre de asteroides y cometas. Se estima que orbitan el sol, cerca de la Tierra, casi 10.000.000.000 (10^{10}) de estos objetos mayores de un 1 m y más de 10.000.000 (10^7) mayores de 20 m. La probabilidad de entrada de objetos mayores de 10 m es de 1 cada 5 años; estos objetos pueden provocar daños en edificios y heridas en personas (como lo acontecido en Chelyabinsk, Rusia, en 2013)».

formación de especialistas y en los programas educativos de la población general puede parecer pretencioso y utópico. La opinión más generalizada es que: «Hay necesidades más prioritarias y urgentes que atender».

Por otra parte, el estudio de la capacidad de gestión de crisis transfronterizas ha ganado mucha atención durante todo el año 2020 cuando la COVID-19 golpeó al mundo. La pandemia puede enseñarnos cuándo y dónde se agruparon efectivamente los recursos, se compartieron, se intercambiaron o priorizaron y dónde no. La investigación comparativa también nos muestra cuáles han sido los contratos comerciales, o el incumplimiento y los desacuerdos sobre las medidas de respuesta efectivas que han influido de forma significativa en las intervenciones no sanitarias en la lucha contra la pandemia. Pone en evidencia el papel del personal experto, de los recursos, de la epistemología e ideología política en la toma de sentido, de la detección temprana y de la toma de decisiones, y los diferentes efectos de los mismos en los distintos escenarios institucionales. La comparación entre países nos demuestra por qué algunos fueron proactivos y otros reactivos en la primera fase, y cómo y por qué esto, a veces, se invirtió en la siguiente fase de la pandemia. No se debe pensar en la pandemia como una lección de virología o epidemiología, en todo caso, ha sido un banco de pruebas para la gestión de la crisis. Se dispone de una rica cosecha de datos para quienes investigan crisis y desastres (Boin et al. 2021). Las sociedades con demasiada frecuencia se ven sorprendidas por contingencias que podrían haberse advertido y abordado en una etapa temprana. Como tal, la evolución de los desastres transfronterizos y los requisitos para organizar una respuesta efectiva y legítima justifican una renovada agenda de investigación que analice las diferentes fases de los desastres y enfoque las cuestiones de vulnerabilidad, de resiliencia y de reducción de riesgos desde un conjunto diverso de metodologías.

3. COMUNICACIÓN DE RIESGOS EN LAS DISTINTAS FASES: ALERTA, IMPACTO Y RECUPERACIÓN

Supongamos un ejercicio práctico. Escenario: *12 de enero de 2036, la sonda «Save the Earth» enviada para deflectar la trayectoria del 99942 Apophis no ha logrado su objetivo y el asteroide de, aproximadamente, 324 metros de largo tiene fecha probable de colisión contra la Tierra para el próximo 13 de abril, fijándose la zona de impacto sobre el Mar Mediterráneo con afectación de todo el litoral. Dada la altísima probabilidad de que el impacto provoque alteraciones en las fallas mediterráneas, se desencadenarán terremotos que pueden alcanzar hasta la zona centro de la península, así como maremotos que generarán un gran tsunami que causará una gran destrucción en la mayor parte de la costa mediterránea. La ciudadanía de las Comunidades Autónomas bañadas por el Mediterráneo ya ha recibido en su móvil la señal de alerta por emergencia. Las autoridades han puesto en marcha los planes de emergencia para gestionar una evacuación segura y programada.*

¿Contamos con los medios para proporcionar información precisa al público? Si el área de impacto involucra a varias naciones, ¿cómo se pueden coordinar las respuestas de las diferentes organizaciones con protocolos nacionales, e incluso regionales,

distintos? Una lógica preocupación es la afectación de las infraestructuras de gran parte del territorio nacional, o que incluya a espacios internacionales y se produzca una gran masa de personas desplazadas (**Wolbers et al. 2021**); ¿tenemos líderes con la suficiente preparación?

La comunicación de riesgos es un método científico basado en la transmisión de información efectiva en condiciones de alto riesgo. Es una comunicación veraz, inteligible, precisa y a tiempo, realizada por líderes muy visibles y con credibilidad; se trata de controlar y normalizar las reacciones de la población afectada con una información clara, breve, coherente, frecuente y confiable, intentando producir conectividad y proporcionar sensación de control de la situación (**Robles 2020**). **Kettl (2005)**, lo denominaba «comunicar confianza a la ciudadanía en situaciones críticas». La reciente experiencia durante la pandemia por COVID-19 ha sido un claro ejemplo de todo lo contrario: desinformación y falta de liderazgo creíble y confiable. Es necesario difundir la información adecuada a las personas adecuadas y en el momento adecuado. El flujo de información es un elemento clave que va a permitir respuestas adaptadas, implicando a la ciudadanía y a los medios de comunicación, ayudando a combatir las noticias falsas. En su lugar, difundir mensajes positivos como herramienta poderosa para contrarrestar las respuestas irracionales. La experiencia de muchos desastres pasados nos ha enseñado que esos mensajes positivos son un elemento vital para ayudar a unir personas frente a la adversidad (**Ravan et al. 2022**).

La alerta temprana, a veces con meses de anticipación, tiene que permitir la transmisión de información relevante a las personas responsables en el momento oportuno para llevar a cabo planes de acción anticipatorios. En esta fase la comunidad científica juega un papel esencial en la preparación para la toma de decisiones al proporcionar información basada en hechos reales a quienes ostentan cargos de responsabilidad. Conocer el riesgo de forma temprana permite disminuir las vulnerabilidades ya conocidas para minimizar los efectos físicos y psíquicos sobre la población diana.

En situaciones críticas, las personas toman sus decisiones de manera diferente a como lo hacen habitualmente, simplifican y se aferran a sus creencias actuales. Recuerdan lo que han visto o han experimentado anteriormente, lo que significa que los primeros mensajes son los que tienen más peso. Por este motivo, en estos momentos, la comunicación debe basarse en: mensajes simples, oportunos, precisos y transmitidos de forma reiterativa, con credibilidad y consistencia; con la finalidad de generar confianza en la ciudadanía es conveniente expresar: empatía, competencia y experiencia, honestidad y apertura, compromiso y dedicación. Por todo ello:

Hay que tener un excesivo cuidado con la información sobre el riesgo. El riesgo real y el riesgo percibido pueden ser bastante diferentes y la fuente informativa puede originar tanta preocupación o mayor que el grado real de riesgo. Se aconseja mostrar las buenas noticias en oraciones subordinadas dejando la parte alarmista del mensaje en la oración principal: «Todavía es demasiado pronto para afirmar que estamos fuera de peligro, pero desde hace cuatro días parece que han disminuido considerablemente los registros de los temblores de tierra».

No se trata de tranquilizar a la población. Se acepta mejor un sobredimensionamiento inicial del riesgo que posteriormente se modifica hacia abajo que la información en sentido contrario. Solo hace falta traer a la memoria las estimaciones oficiales iniciales sobre la gravedad y el número de personas afectadas por COVID-19.

No tratar de disipar el miedo. Las malas noticias no causan miedo social, el pánico es más fácil que lo generen los mensajes contradictorios de las autoridades competentes. Si se tiene incertidumbre, no está de más reconocerlo y transmitir a la audiencia que en esos momentos no se está en condiciones de hacer declaraciones definitivas sobre el asunto. Reconocer que el miedo en estas situaciones es una reacción normal. Una buena comunicación en situaciones de crisis debe reconocer las diferencias en la audiencia. Es más fácil que respondan de forma inadecuada quienes están más lejos del peligro real que las personas que están inmersas en la zona de impacto sin tiempo para reflexionar y que tienen que responder a órdenes concretas y precisas.

Mantener ocupada a la gente. El sentido de utilidad y la actividad reducen la ansiedad procurando sensación de control.

Preparar el mensaje inicial teniendo en cuenta las siguientes reglas. Brevedad, relevancia de la información, reiteración, proponer pasos de actuación positivos, evitar las jergas políticas y las críticas y, sobre todo, no hacer promesas que no se puedan cumplir. Así se desarmarán los rumores y las falsas noticias.

Sobre todo, tener siempre presente la «teoría del ruido mental», puesto que la gente cuando está estresada y, en estas situaciones lo está, es frecuente que tenga dificultad para escuchar, comprender y recordar la información que se les ha facilitado, perdiendo hasta el 80 por ciento de la información que se les comunica.

Covello y Allen (1988) proponen siete reglas cardinales en la comunicación de riesgos:

1. Aceptar e involucrar al público como un socio eficaz. Su objetivo es que el público esté informado, no calmar sus preocupaciones ni reemplazar acciones.
2. Planificar cuidadosamente y evaluar sus esfuerzos. Diferentes objetivos, audiencias y medios requieren diferentes acciones.
3. Escuchar las preocupaciones específicas del público. Las personas a menudo se preocupan más por la confianza, la credibilidad, la competencia, la equidad y la empatía que por las estadísticas y los detalles.
4. Actuar con honestidad, franqueza y de forma abierta. La confianza y la credibilidad son difíciles de obtener; y una vez que se pierden, son casi imposibles de recuperar.
5. Trabajar con otras fuentes creíbles. Los conflictos y desacuerdos entre organizaciones hacen que la comunicación con el público sea mucho más difícil.
6. Satisfacer las necesidades de los medios de comunicación. Los medios suelen estar más interesados en la política que en el riesgo, en la simplicidad que en la complejidad, en el peligro que en la seguridad.

7. Hablar claro y con compasión. No permitir nunca que los esfuerzos le impidan reconocer la tragedia de una enfermedad, una lesión o la muerte.

3.1. Si hubiese que proceder a la evacuación masiva

La gestión de la información pública es una parte extremadamente importante de la evacuación. La información clara, precisa y oportuna es crucial para garantizar una salida eficiente. Asegura que las personas evacuadas y otros miembros de la comunidad estén informados de los servicios de apoyo disponibles y del tiempo probable que puede durar el desplazamiento si fuese posible el retorno al lugar de origen. Además, promueve la confianza en que tanto gestores como servicios de emergencia están actuando en respuesta a la situación, contribuyendo a reducir los niveles de ansiedad y aumentando la probabilidad de que se sigan las instrucciones.

La comunicación efectiva, al público y entre quienes administran las emergencias, es esencial y permite realizar una salida con la máxima respuesta de las organizaciones y de las personas evacuadas, reduciendo la probabilidad de sufrir lesiones por parte de la ciudadanía y los equipos de coordinación.

Los mensajes deben reiterarse y la comunicación debe ser continua. La gente no necesariamente utilizará los mismos medios de información todos los días y la frecuencia de su uso puede cambiar. Los mensajes de educación y advertencia deben competir por el reconocimiento público frente al enorme volumen de información y publicidad que se transmite a través de los medios de comunicación. Además, estos escenarios, al ser dinámicos y por ende fluctuantes y cambiantes, producen modificaciones en los esquemas cognitivos de las personas desplazadas por lo que son necesarias las «dosis de recuerdo» de los avisos.

Educar a los miembros de la comunidad sobre si están en riesgo o no, qué tienen que hacer en caso de un éxodo, qué mensajes esperar y quién puede difundir esas advertencias, es, por lo tanto, una parte crucial de la preparación para emergencias.

Para los peligros potenciales de inicio rápido, como un tsunami generado localmente, se recomienda que se produzcan mapas localizados y específicos de la población concreta, realizados con la comunidad, y se exhiban públicamente mostrando las zonas de impacto o evacuación y las rutas de salida a seguir. Estos mapas deben estar disponibles en las oficinas locales, en los negocios e incluso ser distribuidos por las viviendas. Los mapas deben exponerse de forma llamativa en lugares públicos e incluir otra información relevante: las zonas de evacuación, las rutas de marcha, los centros de refugio, las señales de alerta y las fuentes de información.

El proceso de planificación será un plan de evacuación que considere peligros y riesgos específicos, factores de la comunidad y otra información relevante que pueda impactar en un éxodo. También debe establecer claramente las acciones y responsabilidades de las autoridades locales para los diferentes escenarios de salida, incluidos los detalles de mando, control y coordinación. La evacuación obligatoria se lleva a cabo cuando se espera que el riesgo para quienes residen sea demasiado grande como

para permitirles permanecer donde están. Supone una gran carga de recursos para los servicios de emergencia e impone a las autoridades el deber y la responsabilidad de garantizar que las personas trasladadas sean atendidas en la mayor parte de sus necesidades.

En el escenario concreto de impacto por OCT, **Simó-Soler y Peña-Asensio (2022)**, presuponen, en función de la colisión, un fenómeno migratorio que puede ser parcial, libre o coordinado por las autoridades correspondientes, hacia zonas menos peligrosas, «o incluso una migración global, al lado opuesto de la Tierra del impacto». Asimismo, proponen la necesaria creación de un marco legal para estas personas que denominan «refugiadas por impacto». A quienes habitan áreas no amenazadas por el peligro y que deciden abandonar para mayor seguridad se les conoce como personas «evacuadas en la sombra».

Se consideran dos formas de evacuación (Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation, 2014):

3.1.1. *Evacuación horizontal*

La estrategia de evacuación horizontal ante un riesgo inminente de inundación tiene como objetivo que las personas se resguarden del peligro abandonando, por un tiempo más o menos prolongado, la zona susceptible de ser anegada. A continuación, las personas así evacuadas son realojadas temporalmente, bien por sus propios medios (familiares, parientes, etc.) o bien son atendidas en alojamientos colectivos temporales (hoteles, salas polivalentes, polideportivos, contenedores adaptados, etc.). La evacuación horizontal es probablemente la estrategia de salida más conocida y popular.

Sin embargo, la implementación de un éxodo horizontal solo es posible bajo ciertas condiciones. El tiempo entre las primeras salidas y la ocurrencia del suceso catastrófico debe ser lo suficientemente amplio para que todas las personas afectadas puedan escapar a tiempo.

Las autoridades tienen que brindar apoyo especial a las poblaciones más vulnerables que no puedan salir por sus propios medios (personas hospitalizadas, residencias de ancianos, personas con movilidad reducida, personas sin medios de transporte propios, turistas extranjeros, etc.). En general, se debe prestar especial atención a las personas económicamente vulnerables, que están socialmente aisladas y que pueden encontrar dificultades para garantizar su propia marcha.

Cuando el huracán Katrina alcanzó el área de Nueva Orleans en 2005, el fenómeno había sido ampliamente pronosticado varios días antes. Había sido objeto de reiteradas advertencias por parte de los servicios meteorológicos sobre su carácter excepcional y sus probables consecuencias destructivas. Sin embargo, a pesar de estos pronósticos, las autoridades competentes retrasaron la emisión de la orden de evacuación obligatoria, que no se emitió hasta la víspera de la llegada del huracán. De las 437.000 personas habitantes unas 360.000 evacuaron la ciudad. Tras el paso de Katrina, quedaron afectadas más de 77.000 personas. Algunas de ellas se negaron a evacuar, más de la mitad no pudo

hacerlo por falta de medios de transporte, los autobuses previstos para transportar a las personas no autónomas no pudieron desplegarse a tiempo y el personal especializado ya había abandonado la ciudad por precaución.

La incompleta evacuación preventiva de la ciudad obligó entonces a organizar una salida masiva posterior al impacto que, por definición, es mucho más peligrosa tanto para los servicios de emergencia y los equipos de respuesta como para la población, cuando la ciudad estaba ya inundada y presa de grandes incendios. Un estudio reveló las principales razones aducidas por las personas que no siguieron las órdenes de evacuación horizontal (**Instituto Fritz 2006**)⁷: 36% de las personas encuestadas no querían salir de casa; 20% no sabían a dónde ir; 19% no querían abandonar a sus animales; 17% no querían dejar atrás a sus familiares; 10% no tenían coche; 10% físicamente no podían salir sin ayuda; 8% no tenían acceso a medios de transporte; 7% subestimaron el peligro; 5% se sentían seguras donde estaban; 2% no tenían dinero para irse. Estos datos, aunque no puedan ser totalmente extrapolables, nos pueden indicar las medidas preventivas a tomar si se produce una situación análoga.

3.1.2. *Evacuación vertical*

La evacuación vertical de poblaciones en caso de inundación se puede definir como el desplazamiento, dentro de la zona inundada o susceptible de ser inundada, de las personas a uno o más lugares ubicados por encima del nivel de agua más alto que se espere (punto alto, ladera de una montaña, rascacielos, etc.) para refugiarse allí.

La fase de advertencia se considera el período que transcurre entre que el público toma conciencia de una emergencia, a través de los mensajes oficiales, hasta que se haya concluido la evacuación. Como implicación práctica, es importante distribuir información de emergencia a través de tantos canales como sea posible y darse cuenta de que ningún método único de advertencia pública es universal y válido para toda la población. En este sentido, es deducible la importancia de incluir a los grupos comunitarios en el desarrollo de los planes de emergencia, ya que asegura un mayor nivel de comprensión ayudando a crear respeto y confianza en las agencias gubernamentales.

Como guía general, la información en un mensaje de advertencia/evacuación tiene que incluir los apartados siguientes: la autoridad emisora, fecha y hora, una breve descripción y detalles del evento, área(s) afectada(s) y/o con posible afectación con instrucciones para las personas afectadas (según corresponda):

- Si debe “refugiarse en el lugar» o evacuar (incluyendo la duración anticipada).
- Acciones de refugio en el lugar (para minimizar los riesgos).
- Qué llevar⁸.

⁷ Los porcentajes superan el 100% porque algunas de las personas consultadas alegaron más de una circunstancia.

⁸ Teléfono y cargador. Portátil/Tableta y cargador. Documentos personales (DNI, pasaporte, tarjeta sanitaria, etc.). Tenga los documentos importantes (recuerdos, escrituras de propiedad, testamento,

- Aseguramiento de locales y efectos personales.
- Rutas de evacuación.
- Áreas de reunión.
- Referencia a la lista de verificación.
- Qué hacer con las mascotas y ganado.
- Actividades de respuesta relacionadas con el peligro (es decir, lo que están haciendo las autoridades).
- Declaración para seguir las instrucciones del personal del servicio de emergencia.
- Tiempo para la próxima actualización de advertencia.

4. REACCIONES GENERALIZADAS Y REACCIONES PARTICULARES

Ann Hodges, una mujer reservada, nativa de Alabama, le dijo a su entonces esposo que hubiera deseado que el meteorito se hubiera quemado en la atmósfera, o tal vez simplemente que hubiera aterrizado en algún lugar de la carretera. En una tarde de noviembre de 1954, el meteorito se estrelló contra el techo de su casa en Sylacauga, rebotó en una radio de consola y la golpeó mientras dormía debajo de una manta en el sofá de la sala.

«Dios tenía la intención de que me golpeará», dijo Hodges. «Después de todo, me golpeó». Lo ocurrido en Sylacauga fue, sin duda, una anomalía mundial. Nunca antes se había registrado un caso así, y desde entonces parece ser la única persona que ha sido golpeada por un objeto celeste. El caso de Ann Hodges es único y de sus declaraciones no se pueden sacar conclusiones válidas sobre la forma de reaccionar del público ante la ocurrencia de este tipo de circunstancias, debido a que las hipótesis se establecen en base a lo conocido en la gran mayoría de situaciones de catástrofe y/o emergencias masivas.

La gran mayoría de la población va a reaccionar de forma adecuada y saldrá adelante por sus propios medios o con ayuda de familiares y amistades. En algunos casos se producirán reacciones al estrés agudo que, en definitiva, son reacciones normales ante situaciones anormales; reacciones que remitirán en no muchos días permitiendo una funcionalidad plena y comportamientos altruistas.

Un pequeño porcentaje experimentará trastornos mentales más complejos según se ha podido comprobar en situaciones de catástrofes y su prevalencia va a oscilar según

seguros, etc.), preparados en una carpeta y haga una copia digital de ellos. Joyas. Recambio de ropa y zapatos. Prendas de abrigo. Útiles de aseo personal. Medicación habitual. Botiquín de primeros auxilios. Botellas de agua reutilizables. Linterna y baterías de recambio, en última instancia puede servir el móvil. Gafas, lentillas, dentadura postiza, audífonos, etc. Comida no percedera (raciones de previsión). Hornillo con botellas de gas. Utensilios de cocina. Cerillas o encendedor. Mascotas y su comida.

los métodos de evaluación utilizados, alcanzando en ocasiones cifras muy engrosadas. Las metodologías de las investigaciones difieren de forma considerable entre ellas: población objeto de estudio, instrumentos de medida aplicados, horquilla temporal de la recogida de datos, etc. De hecho, se encuentran gran variabilidad en las prevalencias de los problemas psíquicos detectados (**Beaglehole 2018; Robles 2021**), por lo que se necesita de un mayor énfasis en la salud mental.

En las primeras etapas de respuesta a las emergencias/desastres se implementan medidas de triaje para las lesiones físicas, pero a menudo se olvidan los efectos adversos sobre la salud mental que también necesitan identificación y cribado, siendo de vital importancia la formación en Primeros Auxilios Psicológicos (**Kılıç y Şimşek 2019; Everly y Lating 2021**).

Las reacciones patológicas informadas más frecuentemente en las situaciones de desastres serán las reacciones graves al estrés, los trastornos adaptativos con sintomatología mixta, los trastornos depresivos, los trastornos de estrés postraumático y el abuso de sustancias, agravándose las patologías previas que pueden requerir una gestión a largo plazo. **Goldmann y Galea (2014)**, advierten que hay una serie de áreas en el campo de la salud mental en desastres que pueden beneficiarse más de una mayor investigación. Desde estudios que cambian su enfoque de la prevalencia de enfermedades mentales después de un desastre, a las evaluaciones longitudinales de las víctimas de desastres para dilucidar aún más las trayectorias de los trastornos. Estos estudios pueden ayudarnos a entender qué factores están asociados con los diferentes cursos que siguen los trastornos mentales, lo que puede contribuir a identificar a las poblaciones vulnerables e informar de cuáles son las intervenciones adaptadas⁹.

En una revisión sistemática y metaanálisis llevada a cabo por **Bedaso y Duko (2022)**, encontraron que la estimación conjunta de la prevalencia de depresión entre las personas desplazadas fue del 26,4% (cifra que quintuplica la prevalencia mundial de depresión en personas adultas que es del 5,0% según la OMS)¹⁰. Además, tres de cada cinco desplazadas internas, una de cada tres personas refugiadas y solicitantes de asilo y una de cada cuatro migrantes sufre de depresión a nivel mundial. Ser mujer migrante, de estado civil sin pareja y percibir bajo nivel de apoyo social fueron los determinantes significativos para sufrir depresión entre las personas desplazadas.

Morina et al. (2018), en otra revisión sistemática manifestaron que entre las personas desplazadas de forma forzosa la prevalencia más alta se registró para el Trastorno de Estrés Postraumático (3-88%), para la Depresión (5-80%) y para Trastornos de Ansiedad (1-81%), con unas grandes diferencias entre las distintas prevalencias.

⁹ Se necesitan estudios que evalúen una gama más amplia de psicopatología que la que se ha estudiado hasta la fecha. Por ejemplo, aunque la mayoría de los estudios evalúan los síntomas del Trastorno de Estrés Postraumático después de los desastres, pocos estudios se han centrado en otros tipos de trastornos de ansiedad como pudieran ser el Trastorno por Ansiedad Generalizada o el Trastorno de Pánico. Estos análisis pueden abordar las condiciones potenciales de comorbilidad, representando este tipo de evaluación una imagen más precisa del funcionamiento psíquico posterior al desastre.

¹⁰ Información disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/depression>.

Gissurardóttir et al. (2019), estudiando los efectos que produjo la erupción del volcán Eyjafjallajökull en Islandia sobre la salud mental, informan que quienes tuvieron experiencia directa de la erupción tenían más probabilidades de sufrir síntomas de ansiedad, síntomas de Trastorno de Estrés Postraumático y síntomas de estrés percibido, en comparación con las personas menos expuestas.

Un análisis forense de las muertes y los desplazamientos provocados por erupciones volcánicas (1986-2015), brinda información sobre cuáles son los factores que influyen en las acciones para proteger la vida en entornos de alto riesgo por erupciones volcánicas, resaltando que la vulnerabilidad física y social de las poblaciones cambia significativamente durante el curso de una erupción. El riesgo continuo para la vida está determinado por la experiencia y la acción ante peligros, los tiempos de escalada de los peligros y su relación con la advertencia y la acción, y los tiempos en los que las condiciones de evacuación son tolerables para la preservación de los medios de subsistencia y de los activos, y el bienestar mental y físico en los refugios (**Barclay et al. 2019**).

Albrecht (2005) acuñó el término de «solastalgia», mezcla de la palabra latina *solacium*= confort y de la raíz griega *algia*=dolor o pérdida, para definir la angustia causada por la transformación y degradación del entorno doméstico (cambio climático global, erupciones volcánicas, sequías, etc.). En 2015, The Lancet lo incluyó como un concepto de contribución al impacto del cambio climático en la salud o bienestar del ser humano. Concepto que irá apareciendo en la literatura científica con mayor frecuencia; de hecho, se puede encontrar en el estudio sobre el impacto del volcán de Cumbre Vieja (**Estudio IPSI-VolCanarias. 2ª Informe 2021**).

Casi todas las personas que soportan una situación de emergencia sufren alguna forma de malestar psíquico cuya gravedad se aminora con el tiempo en la mayoría de los casos (**OMS 2022**). Así, una parte de las personas afectadas superarán la crisis inicial y saldrán fortalecidas de ella, lo que se conoce como «crecimiento post-traumático».

5. PREPARACIÓN PSICOLÓGICA: FOMENTANDO LA RESILIENCIA

«Las crisis proporcionan un laboratorio único de vida política y social y un terreno perfecto para esfuerzos multi e interdisciplinarios» (**Rosenthal y Kouzmin 1993**).

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres afirma que «la reducción del riesgo de desastres se dirige a prevenir los desastres nuevos y reducir el riesgo de los existentes y gestionar el riesgo residual, todo lo cual contribuye a fortalecer la resiliencia y por tanto al logro de un desarrollo sostenible» (**UNDRR 2021b**).

En algunas investigaciones se define la resiliencia a los desastres como la capacidad para mantenerse y florecer en el advenimiento de una catástrofe (**Cox y Hamlen 2014; Cui et al. 2018**). Según esto, la resiliencia puede mejorarse reduciendo la vulnerabilidad e incrementando la preparación para el desastre. La vulnerabilidad son las circunstan-

cias y los rasgos de una comunidad, sistema o ecosistema que provocan su propensión al potencial impacto negativo de un riesgo (**Rangel-Buitrago et al. 2020**), mientras que la preparación para el desastre implica todas las acciones que mejoran la capacidad para dirigir la respuesta de la emergencia y recuperar las actividades diseñadas para proteger a las personas y sus propiedades (**Sutton y Tierney 2006**). El fortalecimiento de la preparación hacia el desastre es una de las prioridades del Marco de Sendai¹¹ para ser capaces de responder adecuadamente y reconstruir mejor (**UNDRR 2021a**). **Takao et al. (2004)** encontraron que la preparación para los desastres está influenciada por la experiencia en desastres previos y por el riesgo de padecerlos. De acuerdo con el Marco de Acción de **Hyogo (2005)**¹², la resiliencia ante desastres está determinada por el grado en que los individuos, las comunidades y las organizaciones públicas y privadas son capaces de organizarse para aprender de los desastres pasados y reducir sus riesgos futuros, a nivel internacional, nacional, regional y local.

La preparación engloba actividades como planes de contingencia, almacenamiento de suministros, preparación de edificios, planificación de la coordinación, difusión pública, así como entrenamiento y simulación que son apoyadas financiera, legal e institucionalmente (**UNDRR 2021c**). Comienza a nivel individual y continua a través de la familia y de la comunidad, teniendo en cuenta en todas las etapas de la planificación la información relativa al estatus socioeconómico, los niveles socioeducativos y las diferentes etnias sociales con sus costumbres (**Martin et al. 2011**).

5.1. Psicoeducación y planificación

Como posible vía de prevención, sería conveniente introducir en los planes de estudios escolares módulos formativos en urgencias, emergencias y catástrofes, implicando al alumnado en la generación de alternativas a las situaciones planteadas con puesta en práctica de aquéllas que sean más viables, evaluando el resultado final para corregir errores. De hecho, la Estrategia de Seguridad Nacional del Estado español¹³ establece la: «Promoción de una cultura de prevención entre los ciudadanos, que incluirá conocimientos y actitudes de autoprotección, reforzando las capacidades de

¹¹ El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (Marco de Sendai) fue el primer acuerdo principal de la agenda de desarrollo posterior a 2015 y ofrece a los Estados miembros una serie de acciones concretas que se pueden tomar para proteger los beneficios del desarrollo contra el riesgo de desastres. Información accesible en: <https://www.undrr.org/es/implementando-el-marco-de-sendai/que-es-el-marco-de-sendai-para-la-reduccion-del-riesgo-de>.

¹² La Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres se celebró en Kobe, Hyogo (Japón), del 18 al 22 de enero de 2005 y aprobó el Marco de Acción para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. La Conferencia constituyó una oportunidad excepcional para promover un enfoque estratégico y sistemático de reducción de la vulnerabilidad a las amenazas/peligros y los riesgos que éstos conllevan. Puso de relieve la necesidad y señaló los medios de aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. Información accesible en: <https://www.eird.org/cdmah/contenido/hyogo-framework-spanish.pdf>.

¹³ Información disponible en: <https://www.dsn.gob.es/es/sistema-seguridad-nacional/qu%C3%A9-es-seguridad-nacional/%C3%A1mbitos-seguridad-nacional/protecci%C3%B3n-ante>.

resiliencia ante emergencias súbitas e inesperadas. También se promoverán programas de educación para la prevención en centros escolares».

Con respecto a la infancia, uno de los grupos más vulnerables en desastres, **Seddighi et al. (2021)** proponen utilizar las escuelas como centros de enseñanza para mejorar el conocimiento y las habilidades de la infancia para capacitarse para afrontar este tipo de eventos. En estudios previos se había indicado que entrenar a menores podría ser útil y eficaz (por ejemplo, simulacros de evacuación en Chile, la prevención al estudiantado para el huracán en Cuba y la preparación para tsunamis en Japón). También se han demostrado efectivas otras técnicas más actuales como la utilización de herramientas digitales en la formación de los módulos relacionados con el cambio climático. La interacción de infancia, con los problemas raciales o étnicos, la discapacidad, el género y las desigualdades sociales aumenta la vulnerabilidad y, por lo tanto, incrementa el riesgo de desastres para los menores.

Si el estrés se produce ante el desequilibrio de las demandas situacionales y los recursos de que dispone el sujeto para afrontarlas, la educación acerca del estrés y la autoconciencia de cada persona, sobre las causas de su estrés, son claves para su gestión. El ejercicio rutinario y disciplinado en diferentes técnicas de afrontamiento es la forma más práctica y beneficiosa de contrarrestar sus efectos nocivos sobre la salud y fortalecerse psicológicamente para lo que pueda venir.

Al estar psicológicamente preparada ante la amenaza de un desastre, una persona puede ayudar a la gente a sentirse más segura, a tener mayor control de la situación y a estar capacitada para poner en marcha los planes de emergencia. Además de disponer de la información sobre los comportamientos a seguir en situación de riesgo grave, es muy ventajoso para las personas saber cómo prepararse psicológicamente ante un desastre natural y cómo afrontar emocionalmente los escenarios vividos antes, durante o después. Estar directamente involucrada en cualquier peligro potencial que ponga en riesgo la vida puede resultar aterrador.

La mayoría de la gente no tiene experiencia previa de haber estado en desastres naturales o conocimiento de lo estresante que puede resultar esta vivencia. Cuando la gente está bajo niveles de estrés grave, por lo general, no son capaces de pensar con tanta claridad y rapidez como suele hacerlo de forma habitual y esto puede afectar, y de hecho afecta, a la toma de decisiones e influye en sus reacciones y comportamientos (**Boylan y Lawrence 2020**). Son respuestas normales, aunque no siempre útiles ni adaptativas, a una posible situación de riesgo vital.

Tener una mejor comprensión de cómo van a ser sus probables reacciones psicológicas en respuesta a estas situaciones de alerta ante los desastres puede facilitar a la ciudadanía a sentirse más en situación de control personal y, por ende, tener mayor capacidad de afrontamiento. La preparación psicológica puede favorecer a las personas a pensar con mayor claridad y a reducir todo tipo de riesgos. Contar con mayor tranquilidad y serenidad también puede ser muy útil para los demás miembros de la comunidad familiar y para la transmisión de esas sensaciones a otras personas que pueden no estar tan bien preparadas psicológicamente para afrontar lo que está pasando.

Por supuesto, no es realista pensar que cualquier persona pueda estar capacitada para afrontar esas situaciones tan estresantes; sin embargo, tal preparación puede auxiliar a hacer frente al estrés provocado por la situación y reducir la ansiedad e incertidumbres post impacto. Esto no significa que la gente esté totalmente capacitada para resolver cualquier contingencia vital o que estar psicológicamente preparada signifique estar emocionalmente «a prueba de balas» y ser «*Superman*» o «*Superwoman*».

Lograr el adiestramiento psicológico también incluye prever que una situación de emergencia es dinámica y puede descontrolarse en un instante dado, de forma impredecible y ser potencialmente mortal. Ser capaz de anticipar que tal situación es posible que ocurra puede favorecer que las personas se dejen llevar cuando sea necesario y delegar la situación a la experiencia de los servicios de emergencia (**Australian Psychological Society 2018**).

5.2. ¿Cómo se puede llevar a cabo esa preparación?

Una vez establecido y practicado el plan de emergencia familiar y hechos los preparativos físicos necesarios, podemos dirigir nuestra atención a las estrategias psicológicas que mejoren la gestión del estrés ante estas amenazas. En psicología se utiliza una técnica llamada «inoculación de estrés», formulada por **Donald Meichenbaum (1985)**, que puede servir a las personas a prepararse psicológicamente para situaciones de emergencias. Esto significa tener más protección contra el estrés trabajando a través del conocimiento previo de las posibles reacciones psicológicas y de la utilización de una serie de estrategias aprendidas para hacerlas frente.

Estas estrategias evitarán que las personas estén demasiado ansiosas o abrumadas por sus respuestas emocionales, y les ayudarán a prevenir el desbordamiento por pensamientos inútiles en un contexto de emergencia. Obviamente este enfoque funcionará mejor en algunos contextos que pueden ser más frecuentes y, hasta cierto punto, más predecibles, pero los principios psicológicos en los que se basa se pueden aplicar para cualquier emergencia.

La forma en que las personas se sienten en situaciones provocadoras de altos niveles de estrés percibido está condicionada por la forma en que se afrontan los signos internos de excitación (por ejemplo, el aumento de los latidos cardíacos o la dificultad para respirar) y los pensamientos asociados que aparecen en esas situaciones (por ejemplo, «No puedo más», «Vamos a morir»). Estas reacciones y estos pensamientos pueden hacer que las personas se sientan ansiosas, desesperanzadas o incluso manifiesten enfado e irritabilidad, y aunque estos sentimientos son humanamente comprensibles, no resultan muy útiles en un estado de emergencia. Este tipo de sentimientos hacen que la gente se sienta fuera de control y sea menos capaz de concentrarse, priorizar y tomar decisiones adecuadas a la circunstancia. Una manera fácil de recordar las habilidades involucradas en esta preparación psicológica es el acrónimo «AICC» que se explica a continuación (**Australian Psychological Society 2018**).

5.2.1. *Un proceso de cuatro pasos*

Se trata de anticiparse a las reacciones psicológicas que se suelen producir en una situación de emergencia. En el período previo a la mayoría de los desastres naturales suele haber una serie de advertencias en las emisoras de radio, en la televisión y en los periódicos. Por ejemplo, pueden ser repetidos recordatorios sobre llenar el depósito de combustible del vehículo, tener cargada la batería del celular al 100%, la compra de pilas para linternas y radios, tener las botellas de camping-gas disponibles, asegurar un suministro adecuado de agua, de alimentos de emergencia y de prendas de abrigo. Estas advertencias y la incertidumbre en una situación de emergencia afectan psicológicamente a las personas. Con alguna frecuencia se repiten los mensajes de riesgo o imágenes aterradoras y sonidos para asegurar que la gente está alertada sobre el riesgo. Esto puede hacer que las personas se sientan ansiosas, impotentes, abrumadas o confundidas. Para intentar controlar estas sensaciones se propone el proceso de cuatro pasos, ajustado al acrónimo «AICC»:

1. Anticipar que sentirá preocupación y/o ansiedad y recordar que son respuestas normales, aunque no siempre útiles, a una posible situación que pone en riesgo su vida.
2. Identificar los sentimientos físicos específicos asociados con la ansiedad y si se está teniendo algún pensamiento asociado que se suma al miedo y lo incrementa.
3. Controlar las respuestas usando la respiración controlada y realizar una autoconversación («autoinstrucciones») para mantener la tranquilidad. Recuerde cómo ha afrontado otras situaciones estresantes en el pasado, y céntrese en hacer tareas prácticas focalizando su atención en ellas.
4. Comprometerse con al menos una persona de confianza. Esto ayudará a sentir conexión con otra persona, tener más apoyo y menos soledad.

5.2.2. *¿Cómo anticipar sus reacciones? Guía práctica*

Para comenzar a prepararse para el desastre natural que puede llegar, intente anticipar cuál será su más que probable respuesta a la situación, para ello a continuación se proporcionan una serie de pautas que pueden servir de guía práctica para autoconocimiento y automatización de los procesos mentales y, de este modo, empoderarse psicológicamente para resolver de forma autónoma los desafíos que vayan presentándose.

Imagine que la situación es muy estresante y piense acerca de cómo ha gestionado previamente situaciones similares. Reconocer y recordar que usted ha resuelto algunas situaciones difíciles en el pasado le dará confianza en que puede manejar esta situación.

Comprender sus reacciones habituales. Esto le proporciona la oportunidad de mejorar las posibilidades de reconocerlas y gobernarlas cuando aparecen.

Identificar sentimientos y pensamientos específicos. Es importante que la gente se sintonice con los sentimientos específicos y los pensamientos que están teniendo

en respuesta a una amenaza, ya que esto ayudará a encontrar formas de dirigirlos. Las personas generalmente se excitan físicamente en momentos muy estresantes¹⁴. Cuando comienzan las reacciones físicas al estrés, por lo general, se desencadenan pensamientos asociados como: «no puedo afrontarlo», «nos vamos/me voy a morir», «tengo miedo», «me da pánico», «no tengo ni idea de qué hacer» y otros de contenido semejante.

¿Cómo identificar sus propios sentimientos y pensamientos? Note lo que le está pasando a su cuerpo y sus sensaciones físicas, ya que le dirán que se siente con ansia, y cuánta ansiedad siente. Trate de concentrarse en esos pensamientos alarmantes que pueda tener y que se suman al miedo. ¿Qué se está diciendo exactamente a sí mismo o misma? ¿Sus pensamientos le benefician o hacen que las cosas le resulten más difíciles? Compruebe si está sacando conclusiones precipitadas. Recuerde que esas sensaciones corporales displacenteras, los pensamientos asociados y esas emociones angustiosas son reacciones normales al estrés, pero no le ayudan a mantener la calma y a tener la mente despejada. No realice una autocrítica excesiva.

¿Cómo gestionar las respuestas al estrés? En las situaciones estresantes las personas pueden utilizar dos estrategias para sentirse con mayor control personal:

1. Reduciendo la velocidad de su respiración para ayudar a calmar los síntomas físicos de excitación.
2. Reemplazando los pensamientos desadaptados por otros más prácticos.

¿Cómo respirar y pensar con más calma? Para reducir la velocidad de su respiración, tome respiraciones más pequeñas y haga una pausa entre respiraciones para espaciarlas. Cuando haya respirado lentamente, contenga la respiración mientras cuenta hasta tres antes de inhalar su próximo aliento. A veces, a las personas les resulta eficaz tomar el aire por la nariz y expulsarlo por la boca. Mientras se concentra en expulsar el aire lentamente, dígame «Relájate», o «Mantén la calma», o «Lo estoy haciendo bien, me las arreglo bien». Estas son «autoinstrucciones» que puede usar porque están asociadas con el sentimiento de sentirse en calma y controlando la situación. Trate de no insistir en las cosas malas que pueden pasar, al contrario, dígame que cuanto más tranquilidad, mejor lo hará, que estará gestionando exactamente lo que hay que hacer. Recuerde que necesita poder dibujar por su cuenta fortalezas y recursos de supervivencia y su capacidad de afrontamiento. Es importante no dejar que los sentimientos y pensamientos inútiles interfieran en el camino de acciones cuidadas y bien planeadas. Recuerde que esta es una situación de emergencia y que es natural que sienta ansiedad y estrés. Usted no puede controlar directamente lo que está sucediendo, pero puede regular sus respuestas en esta emergencia e influir en el impacto emocional que tienen sobre usted y sobre su familia. Ayude a otras personas a sobrellevar sus sentimientos: difunda y enseñe estos sencillos ejercicios de control de la respiración. Sea sensible y apoye al resto, en lugar de juzgarlos. Pueden sentir miedo, ansiedad o vergüenza si no se las arreglan tan bien como usted. Anime a las personas a hablar con usted o con alguien

¹⁴ Los síntomas físicos más frecuentes incluyen: corazón acelerado y palpitaciones, dificultad para respirar y mareos, tensión en determinados grupos musculares, sensación de fatiga o agotamiento, náuseas, entumecimiento u hormigueo, dolores de cabeza, etc.

en quien tengan confianza sobre cómo se sienten. Ayúdeles a encontrar pensamientos más útiles para ellas mismas y para el grupo. Involucre a las personas en ocupar su tiempo en realizar actividades en lugar de detenerse en sus preocupaciones. Apóyeles a asumir la responsabilidad de una tarea que sea necesaria.

Comparta significativamente con una persona de confianza durante esos períodos de mucho estrés, porque sentirse en conexión siquiera con otra persona con la que podamos compartir nuestros sentimientos y pensamientos, y acceder y brindar apoyo es extremadamente importante para nuestra salud mental. Busque a alguien en quien confíe y con quien pueda compartir sus experiencias porque tener una conexión significativa con los demás le ayudará a sentir apoyo y menos soledad.

También es necesario el conocimiento de una serie de falacias comunes en las que la gente puede caer en respuesta ante la amenaza de un desastre natural. La ansiedad y la preocupación son provocadas por los preparativos para el desastre. Una vez que las personas comienzan a prepararse para un desastre natural, pueden experimentar sentimientos repentinos e inesperados de ansiedad y desamparo ante la realidad de lo que está sucediendo y sus posibles consecuencias. ¿Qué sucede entonces? La preocupación a menudo impide que las personas se centren en lo que están haciendo, por lo que no completan los preparativos para el desastre que se avecina ¿Qué hacer? Continúe con sus preparativos sabiendo que es normal sentir esta preocupación e incluso experimentar pánico ocasional. No es agradable, pero puede lidiar con ello.

Tener la sensación de que todo es completamente incontrolable. Otra causa de sentimientos de preocupación e impotencia ante la amenaza de un desastre natural es el pensamiento repetido de que un desastre natural es un «Acto de la voluntad divina o de la naturaleza cobrándose su tributo». ¿Qué sucede? Que estos sentimientos de impotencia y futilidad pueden hacer que la gente opte por la inacción. ¿Qué hacer? Es importante recordar que, aunque no se puede ejercer control directo sobre el desastre en sí, usted no está en indefensión para protegerse y cuidar a su familia de sus consecuencias. Tomando todas las medidas de protección contenidas en las guías de emergencia para desastres no solo le ayudará a sentirse seguro, sino a tener más sensación de control y a sentir menos ansiedad.

Seguir ciegamente al resto. Cuando las personas están asustadas y ansiosas, es fácil sentirse abrumada y confundida, e imitar cualquier comportamiento que otra persona está haciendo, sin pensar en ello. ¿Qué sucede? La incertidumbre, junto con un sentido de urgencia que puede llevarle a imitar ciegamente, sin pensar, el comportamiento ansioso de otra persona. ¿Qué hacer? No tenga miedo de hacerse cargo si eso es lo que siente que debe hacer. Es importante, sin embargo, que usted sepa lo que se debe hacer, y que se comporte con calma.

Los sentimientos de irrealidad ante lo que está sucediendo. A menos que la persona haya tenido la experiencia previa de un desastre natural, le va a resultar difícil imaginar cómo será y hasta dónde pueden llegar los sentimientos de miedo. Algunas personas afrontan esta situación tomando a la ligera la amenaza o evento tratándolo como si no fuera real. ¿Qué sucede? Este sentimiento de irrealidad puede interferir con la prepara-

ción de los planes de acción. ¿Qué hacer? Tiene que seguir diciéndose a sí mismo que lo que está sucediendo es muy real y requiere un comportamiento sensato por su parte.

Las advertencias pierden su impacto. Una vez que la gente ha escuchado una serie de advertencias en mensajes muy similares pueden empezar a esperar que no va a ocurrir nada grave. Los mensajes pueden ser repetitivos y puede ser que la amenaza de desastre sea eso, sólo una amenaza, porque el desastre pasa por alto en su región o simplemente no suceda. ¿Qué sucede? Las advertencias repetidas pierden su impacto y la gente siente que las cosas son irreales o que el riesgo no es tan amenazante como realmente es. ¿Qué hacer? tenga cuidado con esta trampa, ya que puede fallar la nueva información y empezar a comportarse como si las cosas fueran volver a la normalidad.

Falsa sensación de seguridad. También es posible, y de hecho muy común, que las personas experimenten una falsa sensación de seguridad en respuesta a las advertencias de un desastre, porque pueden pensar que la tecnología moderna, el gobierno, o los servicios de emergencia no permitirían que tal evento suceda. ¿Qué sucede? La gente piensa que está segura porque ahora viven en casas más equipadas y pueden rastrear y anticipar con mucha precisión lo que está sucediendo con las amenazas en términos de ubicación, velocidad e intensidad. Esto es tranquilizador, pero también puede ser muy peligroso. La ubicación en un mapa no tiene nada que ver con control científico o tecnológico sobre el evento y, a menudo, poco que ver con predicciones precisas. ¿Qué hacer? Trate siempre las advertencias de peligro como algo muy real para que pueda responder de manera adecuada y responsable, minimizando el riesgo para su familia y para usted.

«Tener la preparación para cualquier peligro potencial es clave para minimizar los efectos sobre la vida, la propiedad y la economía. Nuestras acciones, si no son apropiadas e informadas, pueden ser innecesariamente contraproducentes para la mitigación a largo plazo» (Titus, Robertson y Sankey 2021).

6. CONCLUSIONES

Los objetos cercanos a la Tierra están orbitando en el espacio exterior, su colisión contra la Tierra es un evento de muy baja probabilidad y de altísimo impacto. Están ahí y su ocurrencia puede resultar catastrófica en pérdida de vidas y propiedades si no se toman las medidas preventivas a tiempo.

De las lecciones aprendidas en anteriores situaciones de desastre se ha observado la importancia de una adecuada comunicación de riesgos a la población para que tome conciencia de la situación y siga las instrucciones dadas por las autoridades competentes con el fin de proteger vidas, haciendas y salud física y mental de la ciudadanía que en el caso hipotético de la colisión de un asteroide o cometa, la destrucción y desolación que provocaría haría necesaria la evacuación masiva de la zona de impacto. En este éxodo habría que tener en cuenta y priorizar a los sujetos más vulnerables de la

población contando con la gran probabilidad de un regreso incierto al lugar de origen hasta que no haya transcurrido un gran lapso de tiempo.

Estas situaciones son altamente estresantes y producirán efectos negativos sobre la salud mental de la población, la gran mayoría se recuperará en un periodo corto, pero otro gran número de personas padecerán una serie de trastornos mentales: Trastornos depresivos, trastornos de ansiedad, trastornos del sueño, trastorno de estrés postraumático, etc., que precisarán de cuidados especializados.

La mejor manera de prepararse psicológicamente para este tipo de eventos es a través de la formación, iniciada en las escuelas, y de la información transparente, fluida, clara, precisa y concisa, junto con simulacros para automatizar las respuestas y, de esta forma, fomentar la resiliencia personal y comunitaria al disminuir el estrés y sentirse con competencias para afrontar las circunstancias sobrevenidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albrecht G. (2005). Solastalgia. A New Concept in Health and Identity. *PAN: philosophy activism nature*, 3, 41-55.
- Australian Psychological Society. (2018). Psychological preparation for natural disaster. Tip sheet. <https://psychology.org.au/getmedia/c24bf1ba-a5fc-45d5-a982-835873148b9a/psychological-preparation-for-natural-disasters.pdf>.
- Bahadur, A. V. et al. (2010). The resilience renaissance? Unpacking of resilience for tackling climate change and disasters. *Strengthening Climate Resilience Discussion Paper 1*, Brighton: IDS.
- Barclay J., Few R., Armijos MT., Phillips JC., Pyle DM., Hicks A., Brown SK. y Robertson REA. (2019). Livelihoods, Wellbeing and the Risk to Life During Volcanic Eruptions. *Frontiers in Earth Science*, 7, 205.
- Beaglehole B., Mulder RT., Frampton CM., Boden JM., Newton-Howes G., Bell CJ. (2018). Psychological distress and psychiatric disorder after natural disasters: systematic review and meta-analysis. *Br J Psychiatry*, 213(6), 716-722.
- Bedaso A. y Duko B. (2022). Epidemiology of depression among displaced people: A systematic review and meta-analysis. *Psychiatry research*, 311, 114493.
- Boin A., McConnell A. y Hart P. (2021). *Governing the Pandemic: The Politics of Navigating a Mega-Crisis*. Cham, Switzerland: Palgrave MacMillan.
- Boylan J.L. y Lawrence C. (2020). What does it mean to psychologically prepare for a disaster? A systematic review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, 101480.
- Castleden M., McKee M., Murray V. y Leonardi G. (2011). Resilience thinking in health protection. *J Public Health (Oxf)*, 33(3), 369-77.
- Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (2014). L'évacuation massive des populations. Les territoires face à l'inondation.

- Covello VT. y Sandman PM. (2001). Risk communication: evolution and revolution. En A. Wolbarst (Ed.), *Solutions to an environment in peril* (pp. 164-178). Baltimore: John Hopkins University Press.
- Cox RD. y Hamlen M. (2014). Community disaster resilience and the rural resilience index. *Am Behav Sci*, 59, 220-237.
- David L. y Williamson R. (2013). A Communications Plan for an International Response to a Threatening NEO. IAA-PDC2013-06-01. Planetary Defense Conference. Flagstaff, USA.
https://swfound-staging.azurewebsites.net/media/105649/communications_plan_international_response_threatening_neo.pdf.
- Estudio IPSI-VOLCanarias – 2º informe (2021). https://areapsiquiatria.unioviado.es/wp-content/uploads/2021/12/DiaposResumen_LaPalma-7-12.pdf.
- Everly GS Jr. y Lating JM. (2021). Psychological first aid (PFA) and disasters. *International Review of Psychiatry*, 33(8), 718-727.
- Fritz Institute (2006). Hurricane Katrina: Perceptions of the affected. <https://reliefweb.int/report/united-states-america/hurricane-katrina-perceptions-affected>.
- Garshnek V., Morrison D. y Burkle FM. (2000). The mitigation, management, and survivability of asteroid/comet impact with Earth. *Space Policy*, 16(3), 213-222.
- Gissurardóttir ÓS., Hlodversdóttir H., Thordardóttir EB., Pétursdóttir G. y Hauksdóttir A. (2019). Mental health effects following the eruption in Eyjafjallajökull volcano in Iceland: A population-based study. *Scand J Public Health*. 47(2), 251-259.
- Goldmann E. y Galea S. (2014). Mental health consequences of disasters. *Annu Rev Public Health*, 35, 169-83.
- Kettl, D.F. (2005). *The Worst Is Yet to Come. Lessons from September 11 and Hurricane Katrina*. Fels Institute of Government. University of Pennsylvania.
- Kılıç N. y Şimşek N. (2019). The effects of psychological first aid training on disaster preparedness perception and self-efficacy. *Nurse Education Today*, 83, 104203.
- Manyena, S.B. (2006). The Concept of Resilience Revisited. *Disasters*, 30, 433-450.
- Martin ML., Jenkins HA., Mehring BB. y Ma AC. (2011). All-Hazards, All Communities: An Approach to Disaster Preparedness and Policy. *Journal of Race & Policy*, 7(1), 26-41.
- Morina N., Akhtar A., Barth J. y Schnyder U. (2018). Psychiatric Disorders in Refugees and Internally Displaced Persons After Forced Displacement: A Systematic Review. *Front. Psychiatry*, 9, 433.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2014). NASA's efforts to identify near-Earth objects and mitigate hazards. <https://oig.nasa.gov/audits/reports/FY14/IG-14-030.pdf>.
- OMS (2022). La salud mental en situaciones de emergencia. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-in-emergencies>.
- Orden PCI/489/2019, de 26 de abril, por la que se publica la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional, aprobada por el Consejo de Seguridad Nacional. BOE núm. 103, de 30 de abril de 2019, páginas 43482 a 43508. <https://www.boe.es/eli/es/o/2019/04/26/pci489>.

- Paine M. (1999). Australian Spaceguard Survey: the Australian component of an international effort to detect Earth-threatening asteroids and comets.
- Rangel-Buitrago N., Neal WJ., Bonetti J., Anfuso G. y de Jonge VN. (2020). Vulnerability assessments as a tool for the coastal and marine hazards management: an overview. *Ocean and Coastal Management*, 189, 105134.
- Robles-Sánchez, J.I. (2020). La Psicología de Emergencias ante la COVID-19: Enfoque desde la Prevención, Detección y Gestión Operativa del Riesgo. *Clínica y salud*, 31(2).
- Robles-Sánchez, JI. (2021). Salud Mental en tiempos de pandemia: la pandemia paralela. *Sanidad Militar*, 77(2), 69-72. Epub 13 de septiembre de 2021.
- Rosenthal U., y Kouzmin A. (1993). Globalizing an Agenda for Contingencies and Crisis Management: An Editorial Statement. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 1(1), 1-12.
- Seddighi H., Sajjadi H., Yousefzadeh S. et al. (2020). Students' preparedness for disasters in schools: a systematic review protocol. *BMJ Paediatrics Open*, 4(1).
- Simó-Soler, E. y Peña-Asensio, E. (2022). From impact refugees to deterritorialized states: Foresighting extreme legal-policy cases in asteroid impact scenarios. *Acta Astronautica*, 192, 402-408.
- Sutton, J., y Tierney, K. (2006). Disaster preparedness: Concepts, guidance, and research. *Colorado: University of Colorado*, 3(1).
- Trigo Rodríguez JM. (2022). *La Tierra en peligro. El impacto de asteroides y cometas*. Univ. de Barcelona.
- Titus, T., Robertson, D. y Sankey, J. B. (2021). Planetary Defense Preparedness: Identifying the Potential for Post-asteroid Impact Time Delayed and Geographically Displaced Hazards. *Bulletin of the AAS*, 53(4).
- UNDRR (2021a) Disaster risk reduction. <https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk-reduction>.
- UNDRR (2021b) What is the Sendai framework for disaster risk reduction? <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>.
- UNDRR (2021c) Preparedness. <https://www.undrr.org/terminology/preparedness>.
- Wolbers J., Sanneke K. y Boin A. (2021). A systematic review of 20 years of crisis and disaster research: Trends and progress. *Risks Hazards and Crisis Public Policy*, 12(4), 374-392.
- Zheng Jin et al. (2022). Relationship Between Psychological Responses and the Appraisal of Risk Communication During the Early Phase of the COVID-19 Pandemic: A Two-Wave Study of Community Residents in China. *Frontiers in Public Health*, 8, 550220.

CAPÍTULO 9. CÓMO SIMULAR Y CONTAR EL FIN DEL MUNDO

NADJEJDA VICENTE CABAÑAS¹

Editora y generadora de contenidos, Agencia Espacial Europea

DOI: 10.14679/2281

Sumario: 1. LA URGENCIA DE SIMULAR UN APOCALIPSIS. 2. CRO-NOLOGÍA DE UNA MUERTE ANUNCIADA. 2.1. Asteroides 8, la Tierra 1. 3. EJERCITANDO LA #DEFENSAPLANETARIA DESDE EUROPA Y LAS REDES. 3.1. Prepárate para el hipotético impacto de un asteroide. 3.2. Misión imposible: impacto en el corazón de Europa. 3.3. Día del asteroide. 4. COMUNICACIÓN EN TIEMPOS DE CRISIS. 4.1. Una escala para el pánico. 4.2. Comunicar el riesgo. 4.3. El papel de los expertos. 5. POST MORTEM.

1. LA URGENCIA DE SIMULAR UN APOCALIPSIS

En febrero de 2013, un asteroide del tamaño de una casa golpeó la atmósfera de la Tierra sobre la ciudad rusa de Cheliábinsk. La colisión dañó miles de edificios, hizo ventanas añicos e hirió a más de mil quinientas personas. Nadie en la Tierra lo vio venir. El evento de Cheliábinsk fue el impacto más energético registrado desde la explosión de Tunguska en 1908 en la Siberia rusa. El asteroide, con una masa de unas 12.000 toneladas y un tamaño de 19 metros, explotó a casi 60 veces la velocidad del sonido a unos 25 kilómetros por encima de las cabezas de quienes se dirigían a sus puestos de trabajo una mañana cualquiera (ESA 2014).

Lo inesperado del suceso fue un macabro recordatorio de la vulnerabilidad del planeta en el oasis cósmico. Y si bien los entre 50 y 100 metros del asteroide que asoló los bosques de Tunguska no causaron una masacre debido a lo remoto de la zona de impacto, un estudio de la NASA apunta que, de ocurrir hoy en una zona poblada, causaría la muerte de medio millar de personas. Si el tamaño del asteroide aumentase a 600 metros, las víctimas mortales podrían ascender a cinco millones. Y si alcanzase el kilómetro, el asteroide no sólo devastaría el lugar del impacto, sino que podría alterar drásticamente el clima durante años y provocar extinciones masivas (Chapman 1994). Ante tales pronósticos, resulta difícil ignorar que la mayor parte de la comunidad científica considera que la extinción de los dinosaurios de la faz de la Tierra se debió a la colisión de un asteroide hace 66 millones de años.

¹ Licenciada en Periodismo por la Universidad Complutense de Madrid en 2002. Se doctoró en Periodismo en 2010 con una tesis centrada en las estrategias de comunicación durante la Guerra Fría hasta bien entrado el segundo milenio, y cuyo proceso de investigación le llevó a visitar los principales centros espaciales de Rusia y Estados Unidos. Su trabajo doctoral, su experiencia en divulgación científica y la publicación del libro *La cuenta atrás le abrieron las puertas para trabajar en la Agencia Espacial Europea, donde actualmente desempeña las labores de editora para el departamento de vuelos tripulados.*

Hay probablemente entre 500 y 1.000 asteroides de más de un kilómetro, cuerpos rocosos que giran alrededor del Sol y en las cercanías de la Tierra. Tarde o temprano, uno de ellos entrará en un rumbo de colisión con nuestro planeta. Aunque los impactos de grandes asteroides no son nada nuevo para la Tierra, la buena noticia es que aquellos de gran magnitud y altos niveles de extinción son extremadamente raros y fáciles de detectar hoy en día. Ahora sabemos dónde están la mayoría de ellos y la comunidad internacional que rastrea el cielo sin descanso afirma que nuestro planeta está a salvo, al menos durante los próximos cien años.

Más frecuentes son los impactos terrestres procedentes de asteroides de tamaño medio, de los que hay muchos más dispersos por el sistema solar. Aunque los de estas dimensiones no siempre alcanzan el suelo, pueden crear grandes ondas expansivas al entrar en la atmósfera y causar daños a los edificios e infraestructuras de la zona, tal y como ocurrió en Cheliábinsk. La atmósfera cumple su función de escudo protector a diario. Se calcula que entre 40 y 100 toneladas de material espacial de menos de un metro bombardean la Tierra cada día, desintegrándose al entrar en la atmósfera sin mayores repercusiones o, como mucho, con espectaculares fogonazos de luz durante varios segundos antes de desaparecer.

La historia nos enseña que la mayoría de los asteroides que han impactado la Tierra se descubrieron muchos años después, a menudo varios millones de años. La prueba está en los alrededor de 200 cráteres que han hecho mella en la superficie terrestre. Su huella cuenta la impactante historia de cómo nuestro planeta y la vida en él han sido dramáticamente moldeados por violentas colisiones con rocas espaciales. Tan sólo siete veces en la historia de la humanidad se ha descubierto un asteroide antes de que impacte.

La primera vez fue en octubre de 2008, cuando una espectacular bola de fuego iluminó el cielo del norte de Sudán antes del amanecer. El evento no tenía precedentes porque el asteroide se descubrió el día antes de que alcanzara la Tierra y, por primera vez, se predijo con antelación el lugar y el momento del impacto. El objeto se denominó 2008 TC3.

Este primer impacto previsto contó con el seguimiento de 26 observatorios internacionales. Equipos de todo el mundo calcularon con antelación su órbita, lugar y momento de impacto, tan sólo 20 horas después del descubrimiento del objeto. Esta dramática predicción de un impacto real reafirmó la valía de los programas de detección y predicción de Objetos Cercanos a la Tierra, conocidos como OCT.

El asteroide explotó a 37 km de altura y liberó una energía equivalente a un kilotón de explosivos (**Jenniskens 2009**). Contrario a lo que se esperaba, varios fragmentos sobrevivieron a la explosión. Una expedición dedicada a la búsqueda de los restos extraterrestres recuperó 47 fragmentos del meteorito en el desierto de Nubia.

Otro ejemplo de rápida detección y observación del impacto tuvo lugar en 2022. A las 19:24 UTC del 11 de marzo de 2022, el astrónomo Krisztián Sárneczky descubrió un objeto brillante surcando el cielo a gran velocidad con un telescopio situado en Hungría (**ESA 2022**). Tan sólo 14 minutos más tarde informó de su hallazgo al Centro

de Planetas Menores. Sus observaciones fueron procesadas por sistemas automáticos de evaluación de impactos de todo el mundo. Con aquellos datos iniciales, la posibilidad del impacto era menor del 1%. Krisztián continuó observando aquel punto de luz en el cielo una decena de veces más. Para su sorpresa, el resultado emitido por los procesadores de datos fue totalmente distinto. La probabilidad de impacto era ahora del 100%, y ocurriría en menos de una hora, en algún momento entre las 21:21 y las 21:25 UTC. El lugar de impacto del nuevo objeto ya era predecible con una precisión de mil kilómetros, y se esperaba a sólo unos cientos de kilómetros al norte de Islandia.

Afortunadamente, el objeto resultó tener apenas un metro de diámetro y no supuso ninguna amenaza para la Tierra, donde desapareció en forma de bola de fuego tras su periplo por el océano cósmico. Objetos similares a éste llegan al planeta unas 30 o 40 veces al año. ¿Por qué entonces sólo se han detectado siete antes de su impacto hasta la fecha, y todos después de 2008? La respuesta está en los sistemas de detección, y no en la cantidad de material espacial que nos ronda.

Una prueba más reciente del desarrollo de los sistemas de detección fue el descubrimiento de un meteoroide antes de impactar contra la Tierra el 12 de febrero de 2023. Fue la séptima vez en la historia, y la segunda para Krisztián Sárneczky y el telescopio Schmidt de 60 cm ubicado en Hungría.

El tamaño estimado del asteroide, designado oficialmente como 2023 CX1, era de alrededor de 1 metro de diámetro, su probabilidad de impacto en el Canal de la Mancha era del 100% y no suponía ningún riesgo para la población de la zona. Durante las siete horas posteriores a su descubrimiento, observatorios astronómicos de todo el mundo monitorizaron el objeto. El bólido se produjo a la hora y en el lugar previstos.

El equipo de la Oficina de Defensa Planetaria de la Agencia Espacial Europea (ESA) contribuyó al evento tanto con las oportunas notificaciones de su sistema Meerkat, como con el uso de una red de telescopios ópticos establecida para estas ocasiones (**ESA 2023**). El aviso del evento en redes sociales movilizó a la ciudadanía, que se lanzó a compartir vídeos de su espectacular entrada en la atmósfera e incluso a organizar redadas de búsqueda en pos de posibles restos en la superficie. Varios fragmentos fueron recuperados.

Las tecnologías de observación de asteroides han mejorado a pasos agigantados en los últimos años. Ya se han descubierto 30.000 asteroides cercanos a la Tierra en el Sistema Solar. El NEOCC (*Near-Earth Object Coordination Centre*) es el centro de la ESA encargado de calcular las órbitas de asteroides y cometas, así como sus probabilidades de impacto contra la Tierra. El centro maneja una lista de riesgo, similar a un catálogo de todos los objetos para los que se ha calculado una probabilidad de impacto distinta de cero. Cada entrada contiene detalles sobre la aproximación a la Tierra que plantea el mayor riesgo de impacto e incluye su fecha, tamaño, velocidad y probabilidad. En la actualidad, unos 1.400 asteroides con alguna probabilidad de impacto, los denominados Objetos Potencialmente Peligrosos (OPP), están bajo su vigilancia. La información se actualiza constantemente online y está a disposición de todo el mundo (**ESA 2021**).

Una cosa está clara: el impacto de un gran asteroide o cometa contra la Tierra es inevitable. La cuestión es, ¿de qué tamaño será el siguiente y cuándo tendrá lugar? Cuanto antes tengamos la respuesta a estas preguntas, más posibilidades tendrá la comunidad científica de prever el encuentro y tratar de impedir daños catastróficos.

2. CRONOLOGÍA DE UNA MUERTE ANUNCIADA

El día que un asteroide esté camino de aniquilarnos, nos levantaremos de madrugada para esperar las noticias que nos lleguen a través de los medios. O no. Si algún día un asteroide se precipitara hacia la Tierra, ¿cuál sería el plan para impedir que impactara contra el planeta? ¿Habría un plan? ¿Y quién y cómo nos informaría?

«El primer paso para proteger nuestro planeta es saber lo que hay ahí fuera», dice Rüdiger Jehn, jefe de la oficina de Defensa Planetaria de la ESA. «Sólo entonces podremos tomar las medidas necesarias con la suficiente antelación para evitar por completo el impacto de un asteroide, o al menos minimizar los daños».

El impacto de un asteroide es una catástrofe natural que podemos evitar, pero para ello se necesita tiempo. Las mejores herramientas disponibles en la actualidad son los explosivos nucleares, que podrían detonarse cerca de un asteroide para romperlo en trozos menos peligrosos, y las sondas espaciales, que podrían chocar con un asteroide para desviarlo de su trayectoria. Las misiones de desviación y mitigación son posibles, pero se requieren años de preparación. Paul Chodas, gerente del Centro de Estudios de Objetos Cercanos a la Tierra de la NASA, cree que cinco años de antelación es el mínimo absoluto para desplegar con éxito una de estas opciones, aunque otras voces expertas sugieren que necesitaríamos al menos una década para planificar, construir y lanzar una misión anti-asteroide desde cero.

Desde que el impacto sobre Cheliábinsk pillara desprevenida tanto a la población como a las autoridades y a los expertos, surgió la necesidad de prepararse. El año 2013 fue el detonante de las simulaciones: las agencias espaciales estadounidense (NASA) y europea (ESA) llevan organizando desde entonces una serie de simulacros para planificar la gestión de desastres causados por nuestra vecindad cósmica. La estrategia no es nueva. Las emergencias simuladas se utilizan comúnmente para ayudar a informar a las partes involucradas y a acelerar la toma de decisiones en situaciones críticas. Son escenarios de alerta rápida que preparan a sus participantes para reaccionar del mejor modo posible, incluso ante un fracaso inminente.

Más allá de si se consigue evitar el impacto y de su cierta carga morbosa, estas simulaciones son una herramienta crucial para ayudar al mundo a prepararse para una crisis de gran envergadura, enseñando a gobiernos y especialistas cómo comunicarse y compartir información antes de un impacto. La comunidad de defensa planetaria encuentra en ellos una práctica saludable para entender los posibles escenarios y cómo

gestionar la información de forma eficaz. Se reflexiona sobre cómo facilitar las evacuaciones, qué dirían para mantener al público tranquilo e informado, y cómo compartir responsablemente la información entre los gobiernos (**Ravan 2022**).

De hecho, la ESA incorporó a una de sus recientes simulaciones en 2019 una campaña en las redes sociales en la que tuiteaba en tiempo real las medidas a tomar y conclusiones que los grupos expertos iban alcanzando. No sólo el público aprende los pasos a seguir y qué han de esperar durante estas simulaciones. La comunidad científica también aprende lo que los organismos de gestión de emergencias necesitan saber. Y aunque los detalles sobre el asteroide son cruciales para desviarlo o reducir su impacto, lo que el conjunto de terrícolas que gestionan la crisis de origen cósmico quieren saber es el cuándo, dónde y cómo impactaría un asteroide, así como el alcance de los daños que podrían producirse. El centro de la noticia no es el asteroide, sino su impacto contra la Tierra.

2.1. Asteroides 8, la Tierra 1

En total, la NASA ha ayudado a dirigir nueve escenarios de impacto de asteroides en la última década. Sólo en una ocasión se logró impedir que la roca espacial impactara contra la Tierra. Lo preocupante de estos resultados da cuenta de lo difícil que sería detener un asteroide que se aproximase a la Tierra en la vida real, incluso con años de antelación. Durante los ejercicios, la NASA y sus socias, incluida la Agencia Espacial Europea y la Agencia Federal de Gestión de Emergencias (FEMA) de Estados Unidos, tienen la tarea urgente de responder a escenarios realistas pero ficticios. Cada escenario ha sido diferente.

En el primer simulacro de impacto de la NASA en 2013, equipos científicos y el funcionariado del gobierno tuvieron que decidir qué hacer con un asteroide del tamaño de la Estatua de la Libertad que iba a impactar en sólo cinco semanas. Quienes participaron se encontraron con pocos recursos y poco tiempo. Decidieron que sería imposible impedir que la roca espacial se estrellara en el Océano Atlántico, pero lograron calcular que el tsunami resultante tendría 15 metros de altura y devastaría una parte de la costa este de Estados Unidos.

Al año siguiente, la NASA y la FEMA volvieron a intentarlo. En esa ocasión, el asteroide ficticio de la simulación era casi tres veces mayor, pero se descubrió unos siete años antes del impacto previsto. El aviso anticipado de la NASA permitió simular el envío de una nave espacial para embestir al asteroide y desviarlo dos años antes de que chocara. Pero, incluso entonces, un trozo de 50 metros se desprendió del asteroide, y la roca comenzó a dirigirse hacia la costa del Golfo de Texas. Dos años no fueron suficientes para lanzar otra misión de desviación, así que, una vez más, la Tierra sufrió un impacto.

En 2015, la NASA incorporó a agencias espaciales de otros países para que participaran en sus ejercicios. El primer simulacro con este grupo internacional fue similar al del año anterior: tras desviar con éxito un asteroide avistado con siete años de antela-

ción, descubrieron que no podían evitar que un fragmento de la roca impactara contra la India. Explotó con la fuerza de una pequeña bomba. Es lo que se conoce como la «división del asteroide», un escenario bastante concebible. El patrón se repitió en 2016: el equipo de especialistas no pudo detener un asteroide de 120 metros que se dirigía a California en tan sólo cuatro años.

La gran y única victoria de la humanidad en estos ejercicios se produjo durante la simulación de 2017. Un asteroide del tamaño de la Torre Eiffel fue avistado con rumbo a la Tierra con 10 años de antelación. Tras enviar una misión de exploración al espacio, descubrieron que en realidad se trataba de dos rocas espaciales, orbitando una alrededor de la otra. Es lo que se conoce como asteroide binario (de hecho, un tercio de los asteroides suelen serlo). En lugar de estrellar una nave espacial contra esa pareja de asteroides, optaron por hacerlos estallar con armas nucleares. Y lo consiguieron.

Fue en el ejercicio de 2019 cuando se intentó evitar, sin éxito, que un hipotético asteroide colisionara lanzando varias naves espaciales contra él. Equipos de todo el mundo llevan casi dos décadas utilizando la tecnología espacial para la evaluación de riesgos. De todas las estrategias propuestas para mitigar los riesgos en caso de que un asteroide se dirija hacia la Tierra, el impactador cinético es considerado por la comunidad internacional como la técnica más recomendable.

La NASA se lanzó a probar esta última tecnología en el espacio con una misión real: la *Double Asteroid Redirection Test* (DART). La noche del 26 de septiembre de 2022 pasará a la historia del espacio por ser el momento en que la nave espacial DART de la NASA impactó contra el asteroide Dimorfos en un intento de desviar su trayectoria: la primera prueba de defensa planetaria de la humanidad. DART demostró, por primera vez, que era posible desviar un asteroide mediante un impactador cinético cuidadosamente orquestado.

En 2024 la ESA lanzará la nave espacial Hera para investigar el asteroide tras el impacto. De hecho, Hera no es una nave, sino tres: lleva consigo los primeros CubeSats europeos de espacio profundo para realizar observaciones adicionales. La ESA pretende así asumir una mayor responsabilidad en la protección de nuestro planeta y un papel de liderazgo en el esfuerzo global de hacer frente a las posibles amenazas de los asteroides.

3. EJERCITANDO LA #DEFENSAPLANETARIA DESDE EUROPA Y LAS REDES

Tras un lustro de simulaciones teóricas, la ESA tomó la iniciativa de retransmitir el impacto ficticio pero plausible de un asteroide contra la Tierra en las redes sociales. Fue en 2019 cuando por primera vez se tuiteó en directo el hipotético escenario de impacto desde el corazón de la Conferencia de Defensa Planetaria en Washington DC. La audiencia fue invitada a enterarse de lo que iba ocurriendo a través de la cuenta de Twitter @esaoperations en tiempo real (**ESA 2019**).

Durante la semana que duró el simulacro, del 29 de abril al 3 de mayo de 2019, quienes participaron en la conferencia asumieron diferentes papeles: como portavoces de los gobiernos, como agencias espaciales, miembros de las oficinas de protección

civil y de la comunidad astronómica. Ninguna de las personas participantes supo cómo evolucionaría la situación de un día para otro, sino que debían hacer planes basándose en las actualizaciones diarias que recibían. La gente que hizo el seguimiento en las redes se enteró de las ‘noticias’ tal y como lo hacían las expertas (ESA 2019). El goteo de información y las decisiones tomadas se compartió con la audiencia a medida que iban surgiendo, incluyendo ficticios comunicados de prensa. ¿Qué harán en esa situación? ¿Qué harías tú?

3.1. Prepárate para el hipotético impacto de un asteroide

Es el año 2028, y la ESA ha estado vigilando atentamente una situación preocupante: un enorme asteroide va camino de chocar contra la Tierra, aunque el punto exacto de impacto aún no está claro.

Los gobiernos nacionales están planeando evacuar a millones de personas. Los trastornos que se prevén son de una escala gigantesca. Si se puede fijar la zona de impacto del asteroide, tal vez pueda evitarse semejante caos. Durante el ejercicio, se realizó una cuenta atrás para el impacto y se practicaron los pasos a seguir si se detectaban OCT de diversos tamaños. La Oficina de Defensa Planetaria de la ESA se movilizó para obtener y compartir información crucial sobre este desastre potencial (ESA 2019).

La primera alarma saltaba casi una década antes, el 26 de marzo de 2019, cuando el Centro de Planetas Menores descubrió un asteroide y le otorgó el nombre de 2019 PDC. Se sabía por entonces muy poco sobre las propiedades físicas de este asteroide recién descubierto. Con una magnitud de brillo de 21 –invisible a simple vista pero visible para los telescopios profesionales–, fue clasificado como un «asteroide potencialmente peligroso». Pudieron determinar que su tamaño medio oscilaba entre los 100 y los 300 metros.

Al día siguiente de descubrirse el 2019 PDC, los sistemas de seguimiento de la ESA y la NASA identificaron varias fechas en las que el asteroide podría chocar contra la Tierra. En esa fase inicial en la que aún no se habían registrado muchas observaciones, ambos sistemas coincidieron en que lo más probable era que el asteroide impactara en 2027, más de ocho años después, con una probabilidad de aproximadamente 1 entre 50.000. Su tamaño oscilaba inicialmente entre 12 y 38 metros y se desplazaba a una velocidad de 12 kilómetros por segundo. Diferentes observatorios astronómicos siguieron monitorizando el asteroide durante un mes después de su detección inicial, lo que les proporcionó más información sobre la trayectoria del objeto. Para su estupor, la probabilidad aumentaba rápidamente. El 29 de abril de 2019, primer día de la Conferencia de Defensa Planetaria, la probabilidad aumentó a 1 entre 100.

A medida que transcurría el tiempo y la información se actualizaba con un preocupante escenario sobre Denver, en el estado de Colorado, se decidió intentar evitar la colisión lanzando varias naves espaciales contra él. Aunque la acción disruptiva cambió su trayectoria, un trozo de roca de 80 metros se desprendió y acabó golpeando la ciudad

de Nueva York. Fue el peor escenario posible: impactó en Central Park produciendo una bola de fuego que liberó tanta energía como miles de bombas atómicas.

3.2. Misión imposible: impacto en el corazón de Europa

En la Conferencia de Defensa Planetaria de 2021, un asteroide ficticio se estrella sobre Europa y destruye una región de unos 100 km de ancho cerca de la frontera entre la República Checa y Alemania (**ESA 2021**). Cuando se trata de asteroides gigantes, tenemos la seguridad suficiente de haber encontrado todos los que hay, su tamaño los hace fáciles de detectar. Cuanto más pequeños son, más nos quedan por encontrar.

En este caso, todo comenzó el 19 de abril de 2021, cuando se descubrió un nuevo asteroide con una probabilidad preocupante de chocar contra la Tierra en tan sólo seis meses. Como ocurriría si un asteroide real estuviera en trayectoria de colisión, la Red Internacional de Alerta de Asteroides –un conjunto de organizaciones que detectan, rastrean y caracterizan asteroides potencialmente peligrosos– difundió públicamente actualizaciones semanales sobre la probabilidad de impacto a medida que avanzaba la situación. Las observaciones posteriores confirmaron lo que la comunidad internacional temía: el impacto era seguro. Sin embargo, el tamaño del objeto seguía sin estar claro, oscilando entre 35 y 700 metros de diámetro.

En paralelo, el Grupo Consultivo de Planificación de Misiones Espaciales (SMPAG) estudió las opciones para evitar el impacto. La mayoría implicaba dar un ligero empujón a la roca espacial, lo suficiente para que su trayectoria hacia la Tierra se desviase. El escenario era imaginario, pero las personas que participaron en él son muy reales. Sigamos su día a día.

Día 1: Conozca al asteroide

Durante el primer día de la Conferencia de Defensa Planetaria se examina con un poco más de detalle el asteroide simulado 2021 PDC y se abordan los daños en caso de impacto.

- Probabilidad de impacto: 5%.
- Tamaño del objeto: Muy incierto, entre 35 y 700 metros.
- Zona de impacto: Cualquier lugar de una región que cubre 2/3 de la superficie de la Tierra.
- Efecto del impacto: El peor escenario posible para 2021 PDC es que mida 700 metros de tamaño. Un asteroide de este tipo que impactara contra la Tierra tendría resultados catastróficos, aunque está por debajo del umbral de un kilómetro para una posible catástrofe global. Si, en el mejor de los casos, se tratase de un asteroide de 35 metros, podría provocar una gran explosión al desintegrarse en la atmósfera o una devastación a escala local.

Día 2: Impacto seguro

En este escenario hipotético ha pasado una semana y estamos a 2 de mayo de 2021. Nuevas observaciones confirman que el asteroide ficticio 2021 PDC impactará contra la Tierra dentro de seis meses. Las regiones en peligro son Europa y el norte de África.

- Probabilidad de impacto: 100%.
- Fecha del impacto: 20 de octubre de 2021, 17:13 UTC.
- Tamaño del objeto: Muy incierto, entre 35 y 700 metros.
- Zona de impacto: Una amplia región que abarca gran parte de Europa y se extiende hasta el norte de África.
- Efecto del impacto: Dependiendo del tamaño del objeto, los daños graves causados por el impacto aéreo podrían extenderse desde mínimos (unos pocos kilómetros) o locales (decenas de kilómetros) a regionales (cientos de kilómetros).
- Estrategias de desviación: El SMPAG estudia la viabilidad de las misiones espaciales como respuesta internacional coordinada al 2021 PDC. Los principales problemas son que el tiempo es reducido y no se tiene una idea clara del tamaño del asteroide.

Debido al poco tiempo que queda hasta el impacto ficticio, las opciones son limitadas. La mayoría de las propuestas en una encuesta de Twitter el primer día favorecen que se empuje suavemente al asteroide para provocar un cambio notable de dirección. Sin embargo, la fuerza necesaria para desviar el asteroide ficticio 2021 PDC de su trayectoria de colisión rumbo a la Tierra es tan grande que se corre el riesgo de romperlo, creando quizás múltiples fragmentos de gran tamaño que podrían impactar contra la Tierra. Las opciones disponibles son enviar una misión de reconocimiento y/o enviar una misión con un artefacto explosivo nuclear de 4.5 millones de toneladas. Sin embargo, varias leyes internacionales prohíben el uso de armas nucleares en el espacio. ¿Qué hará la comunidad internacional?

Día 3: Misión imposible

Es el tercer día de la Conferencia de Defensa Planetaria y hay nuevos acontecimientos, nada positivos, en el escenario ficticio del impacto. Avanzamos dos meses, hasta el 30 de junio, menos de cuatro meses antes de que el asteroide imaginario 2021 PDC impacte contra la Tierra.

- Probabilidad de impacto: 100%.
- Tamaño del objeto: El tamaño oscila entre 30 y 500 metros, según las mediciones realizadas por el satélite NEOWISE.
- Zona de impacto: Algún punto de una zona de Europa central de unos 800 km de largo por 250 km de ancho. Los países en peligro son Alemania, República Checa, Austria, Eslovenia y Croacia.

- Efecto del impacto: Tomando un tamaño medio para el asteroide de 136 metros, hasta seis millones de personas podrían verse afectadas. Nuevas mediciones espaciales en el rango infrarrojo apuntan a que los principales riesgos son la explosión y el impacto.
- Estrategias de desviación: El SMPAG llega a la conclusión de que no es posible lanzar ninguna misión espacial al asteroide ficticio 2021 PDC a tiempo para desviar o interrumpir su trayectoria de colisión.

Día 4: Evacuación masiva

El cuarto día de la simulación representa el 14 de octubre de 2021, seis días antes de que el asteroide imaginario 2021 PDC impacte contra la Tierra. El asteroide se encuentra actualmente a 6,3 millones de km y se dirige hacia la Tierra a una velocidad de 10,7 km/s.

- Probabilidad de impacto: 100%.
- Tamaño del objeto: Las nuevas imágenes de radar muestran un tamaño de 105 m \pm 10%.
- Velocidad de impacto: 15,2 km/s.
- Lugar y hora del impacto: Una región cerca de las fronteras de tres países: Alemania, República Checa y Austria. El lugar del impacto puede predecirse con una precisión de 23 km, y el tiempo con una precisión de un segundo.
- Efecto del impacto: La región con riesgo de daños graves tiene unos 300 km de diámetro, mientras que la zona afectada con categoría de daños medios es de unos 150 km.

Día 5: Predecir para prevenir

Durante el último día de la conferencia, se discuten las estrategias de evacuación y las lecciones aprendidas para el futuro. El impacto ficticio del PDC 2021 en esta edición arrojó una lección importante: sólo podemos prevenir lo que podemos predecir.

El impacto de un asteroide es la catástrofe natural más previsible a la que nos enfrentamos y, si se detecta y se nos avisa con suficiente antelación, en principio disponemos de la tecnología necesaria para evitarlo por completo. En las últimas décadas, el campo de la defensa planetaria ha progresado notablemente: la humanidad dispone ahora de telescopios repartidos por todo el planeta en busca de rocas peligrosas rondando el espacio.

Si en 2014 hubiera existido un rastreo de asteroides más exhaustivo, es casi seguro que se habría detectado 2021 PDC en un viaje anterior alrededor del Sol y esta advertencia de siete años hubiera abierto un sinfín de posibles resultados. Se habrían podido realizar misiones espaciales de reconocimiento para averiguar más sobre el tamaño y la composición del asteroide, o una misión de desviación con impactador cinético podría

haberlo apartado de su camino. Invertir en más telescopios y sistemas de detección de OCT es fundamental para nuestra protección. Tenemos que encontrarlos antes de poder hacer nada contra ellos.

3.3. Día del asteroide

El Día Internacional del Asteroide tiene como objetivo sensibilizar a la opinión pública sobre el peligro de impacto de asteroides e informar sobre las medidas que deben adoptarse a nivel mundial en caso de que surja una amenaza creíble de un OCT.

Así lo introduce las Naciones Unidas, organización que avala esta campaña de concienciación mundial que se celebra anualmente el 30 de junio, coincidiendo con el mayor impacto registrado en la historia: la explosión aérea de 1908 sobre Tunguska, en la desértica Siberia, que derribó unos 60 millones de árboles.

«Comenzó como una luz inesperada en el cielo de la madrugada, tomó rápidamente la apariencia de una catástrofe en ciernes y finalmente todo terminó en una cruda advertencia. Aunque hayan pasado diez años, el mensaje de la explosión del asteroide de Cheliábinsk sigue siendo tan poderoso como siempre» (Clark 2023).

Para mantener el auge del interés público por los asteroides, el astrofísico y músico Brian May del grupo de rock Queen, el astronauta del Apolo 9 Rusty Schweickart, el cineasta Grig Richters y la presidenta de la Fundación B612 Danica Remy cofundaron el Día del Asteroide al año siguiente del impacto.

Cada año desde entonces, el Día del Asteroide ha organizado eventos mundiales para educar al público sobre la importancia de los asteroides. Tal y como reza la web del Día del Asteroide, su misión es inspirar, comprometer y educar al público sobre las oportunidades y los riesgos de los asteroides. Y cada 30 de junio, el programa *Asteroid Day Live* transmite en vivo un completo programa con contenidos sobre asteroides y comentarios de astronautas, expertos y celebridades. Los actos del Día del Asteroide se celebran en todo el mundo gracias a miles de organizadores independientes, y su presencia en las redes no hace más que aumentar exponencialmente. En el momento de escribir este capítulo, la cuenta de Twitter @AsteroidDay tiene más de 400.000 seguidores.

4. COMUNICACIÓN EN TIEMPOS DE CRISIS

Ahora ya sabemos que el impacto de un objeto cercano a la Tierra puede conocerse meses o años antes de su impacto. Cada año se descubren nuevos candidatos a protagonizar una catástrofe, pero también los inofensivos.

En 1997, la histeria mediática se extendió por todo el mundo cuando un astrónomo sugirió que el asteroide 1997 XF11 tenía una dimensión considerable y podría

chocar contra la Tierra en 2028. Se alertó al Centro de Planetas Menores de la Unión Astronómica Internacional y otros grupos se unieron a aportar sus observaciones. Tras unos meses de estudio, Brian Marsden, del Centro Harvard-Smithsonian de Astrofísica, anunció el descubrimiento del asteroide de 1.5 kilómetros de diámetro y advirtió de que existía una pequeña, pero no del todo descartable, posibilidad de que chocara con el planeta el 26 de octubre de 2028.

La predicción resultó ser errónea, pero durante un tiempo los cálculos de Marsden desataron el pánico. Y aunque Marsden y su equipo reconocieron más tarde que se habían equivocado, sostuvieron que habían hecho bien en anunciar rápidamente la presencia del asteroide, ya que querían asegurarse de que no se perderían futuras observaciones del asteroide.

Llegado el momento, será necesario gestionar la comunicación pública y controlar el terror. Es previsible que la histeria inicial, la alerta exacerbada y el deseo inmediato de actuar se aplaquen a medida que trascurren las semanas durante la cuenta atrás para el impacto. Contrarrestar la fatiga y el estrés emocional se ha de tener en cuenta también a la hora de prepararse para gestionar la información y canalizar los esfuerzos de evacuación. Además, habrá que tomar medidas contra la posible desinformación, incluidas las personas negacionistas o las que simplemente se niegan a dejar sus hogares, así como contra adictas a la adrenalina y cazadoras de catástrofes (**Ravan 2022**).

Algunas investigaciones han señalado que existe un paralelismo con la pandemia del coronavirus: se comunica una amenaza inminente y se urge una respuesta (**Lea 2022**). Las reacciones son diversas, desde la aceptación y la cooperación hasta la negación, las teorías conspirativas, las noticias falsas y la oposición activa. Cada una de estas posturas habrá de considerarse a la hora de elaborar estrategias de comunicación.

4.1. Una escala para el pánico

En un esfuerzo por mejorar la forma en que se comunica la probabilidad de tales colisiones, Richard P. Binzel, profesor de Ciencias de la Tierra, Atmosféricas y Planetarias del Instituto Tecnológico de Massachusetts, elaboró una escala de colores y números. Es conocida como la Escala Torino, en honor a la ciudad italiana en la que fue adoptada durante un taller copatrocinado por varias organizaciones internacionales, entre ellas la ESA y la NASA.

Similar a la escala Richter utilizada para los terremotos, Binzel espera que su escala de predicción del peligro de asteroides sea considerada del mismo modo. La escala Torino está codificada por colores. Cada color recibe una descripción general, en la que el blanco representa el riesgo más bajo y el rojo la categoría de riesgo más alto. Dentro de estas divisiones, se utilizan números del 0 al 10 para dar una indicación más clara del riesgo potencial.

Aunque nadie debería perder el sueño por un asteroide de las categorías cero o uno; un asteroide que registre seis o más debería generar una preocupación considerable; 10 significa que una colisión es segura, con una catástrofe global como resultado inevi-

table. «La naturaleza humana tiene dificultades para determinar el nivel de ansiedad que debemos asignar a un asteroide que se aproxima», explicó Binzel cuando introdujo su escala al público y a la comunidad internacional. «Los científicos no han hecho un buen trabajo a la hora de comunicar al público el peligro relativo de colisión con un asteroide. Lo que espero que consiga la escala es poner en perspectiva si un objeto merece preocupación», añadió (ESA 1999). La escala supuso un primer paso para poner al alcance del público general el peligro potencial de un OCT.

4.2. Comunicar el riesgo

La premisa de cualquier plan de comunicación de riesgos es la claridad y corrección de la información que se divulga. La comunidad especializada que trabaja en la observación de OCT y en la planificación de la defensa planetaria comparten el mensaje y reconocen la necesidad de difundir mensajes claros, concisos y rigurosos sobre los riesgos de impacto de asteroides.

Las palabras importan, y la mera distinción entre riesgos, peligros y amenazas reales en una nota de prensa o tuit puede desembocar en una cascada de reacciones diametralmente opuestas. Las tácticas para asustar, la desinformación, el lenguaje cargado y las teorías conspirativas siguen siendo demasiado comunes en el discurso público sobre los OCT y los asteroides potencialmente peligrosos (Billings 2015).

La comunicación de riesgos debe incluir la narración de historias sobre riesgos y catástrofes, la atención a los grupos vulnerables y la colaboración con periodistas para contrarrestar la información falsa. Las investigaciones sugieren que las comunidades resilientes logran su fortaleza, en parte, compartiendo historias sobre peligros y catástrofes, y tratando de confirmar la información mediante el seguimiento de los medios de comunicación y las conversaciones interpersonales. Estos procesos comunicativos contribuyen a crear un sentimiento de comunidad y pertenencia frente a la adversidad (Ravan 2022).

Es importante contar historias cuando se transmiten riesgos al gran público, ya que éstas son una forma universal de comunicación humana. Todas las culturas las generan y comparten. Las investigaciones sobre la función cerebral indican que las historias involucran tanto la amígdala, que responde rápidamente al peligro, como a la parte del córtex, utilizado para analizar y tomar acciones de conservación.

En la Conferencia de Defensa Planetaria de 2021, la escritora científica Sarah Scoles habló de la importancia de que las agencias científicas establezcan buenas relaciones laborales con periodistas de confianza. También describió técnicas eficaces para ayudar a detectar información falsa. Una de esas técnicas se denomina *pre-bunking*, que consiste en alertar al público sobre los medios que se utilizan para difundir información falsa. Una técnica de manipulación es la de la «falsa equivalencia». Es una falsa equivalencia, por ejemplo, afirmar que las opiniones de una persona equivalen a las conclusiones de miles de profesionales de la ciencia y la ingeniería cuyos análisis de un peligro concreto han sido revisados por especialistas (Ravan 2022).

Las investigaciones demuestran que las personas buscan información y fuentes en su entorno para corroborar lo que han oído o leído. Hablan con quienes les rodean para ver qué piensa hacer el resto en respuesta a una advertencia o peligro. Esto significa que las advertencias eficaces deben activar las conversaciones y el debate entre la gente, especialmente entre los grupos vulnerables.

4.3. El papel de los expertos

La figura del experto es crucial a la hora de informar sobre el espacio que nos rodea. Veamos por qué y cómo su rol ha adquirido protagonismo en los medios de comunicación, y en particular, en los temas espaciales.

Antes de los años sesenta, el periodismo se basaba en el reportaje descriptivo. Quienes cubrían un acontecimiento noticioso debían describir lo que había sucedido. Con la llegada de la televisión, el gremio de periodistas adoptó gradualmente un estilo interpretativo: describían lo que había sucedido y explicaban por qué había sucedido. En la prensa escrita, los periódicos no podían sobrevivir relatando únicamente los acontecimientos que sus lectores y lectoras habían visto previamente en televisión o escuchado en la radio. Para asegurar su propio nicho en el mercado de las noticias, la prensa escrita tenía que analizar, interpretar y explicar (**Albaek 2011**).

Más recientemente, Internet canaliza información que es prácticamente contemporánea con la noticia en sí, ha acentuado la necesidad de que los medios profundicen aún más. Asistimos al auge del periodismo interpretativo y de investigación.

Hoy en día, una noticia suele incluir numerosas fuentes. En aras de la neutralidad, el periodismo no puede permitirse aportar sus propias ideas. Necesita una legitimación compensatoria, es decir, necesita recurrir a la autoridad de especialistas, personas expertas que se perciben como imparciales y con suficiente conocimiento y experiencia en un tema determinado. Además, cuando los plazos de la noticia son imperiosos, hay poco tiempo para la investigación independiente. En consecuencia, la consulta de fuentes especializadas puede proporcionar la solución rápida necesaria para obtener conocimientos y hechos de fondo (**Laurson 2019**).

En la gran mayoría de los casos, el contacto se produce como resultado de iniciativas tomadas por periodistas (aproximadamente el 90% de los casos), y no al revés (**Albaek 2011**). En ocasiones, profesionales del periodismo creen que existe una explicación definible para todo lo que existe bajo el sol, y que especialistas en la materia pueden decirnos cuál es. Con el auge de la Web, la figura de autoridad científica ha pasado a representar algo distinto de lo que significaba antes. Ha surgido lo que en Inglaterra llaman «expertos por experiencia», profesionales que han aparecido en Internet porque escriben bien y con frecuencia sobre sus temas, en lugar de convertirse en especialistas por aclamación de la comunidad experta o por su afiliación a una institución venerada. En la maraña de la web, existen las personas que se hacen pasar por doctas, los denominados «falsos expertos». Nicco Mele, profesor en la Kennedy School de Harvard, afirma que «las instituciones clásicas están desapareciendo como

árbitros de la reputación de los expertos, mientras que Google, Twitter y Facebook están ocupando su lugar» (Quart 2010).

Uno de los problemas radica en la propia autoridad de los científicos, a quienes se respeta como voces legítimas en las deliberaciones sobre determinados temas. En el caso de la defensa planetaria, los científicos se están convirtiendo en expertos en seguridad y se les exige que asesoren a los responsables de la toma de decisiones con opiniones equilibradas. Más allá de los datos, la comunidad científica asume una responsabilidad ética (Schmidt 2019).

Un reciente ejemplo que pone de relieve la figura de la autoridad científica cuando de asteroides se trata es la película *Don't look up*, o *No miren hacia arriba*, (McKay 2021) que alcanzó más de 150 millones de horas de visualización durante su primera semana, estableciendo un récord de audiencia para Netflix. *Don't look up* es una sátira sobre la comunicación de la ciencia al público y ofrece una visión nihilista del impacto de la ciencia. La película hace referencia a la pasividad del público, la manipulación de los medios de comunicación y la politización de una crisis de origen espacial. Mientras intenta retratar el proceso científico de detección de asteroides y un equipo de profesionales comprometido con la verdad científica, se parodia la percepción pública de la ciencia (Chambers 2022).

La comunicación de la ciencia es un trabajo de identidad. Las personas que comunican la información y cómo lo hacen importa. *Don't look up* articula este desajuste entre quienes comunican y el mensaje en medio de un paisaje mediático en el que la audiencia está sobresaturada de información. El científico Randall Mindy, interpretado por Leonardo Di Caprio, se convierte en el rostro de una campaña cuidadosamente gestionada que resta importancia a la gravedad del apocalipsis que se avecina y elabora una narrativa reconfortante en torno a lo que sucederá después. En este caso, el experto aparece como un amigo accesible en el que apoyarse en tiempos de incertidumbre y cuyo papel principal es calmar las ansiedades del público ante el fin del mundo.

Randall no tiene dotes de buen comunicador y está centrado en la lógica, personificando la forma en que la mayoría de la comunidad científica transmite ideas importantes al público en general (Chambers 2022). Recibe formación mediática y un estilista le hace pasar rápidamente de ser un profesor desconocido a asesor científico jefe de la Casa Blanca y «el científico más sexy de Estados Unidos». Randall se convierte en una estrella científica que eclipsa la noticia sobre el impacto del asteroide. La necesaria figura de la autoridad científica requiere, en consecuencia, dosis nada menospreciadas de atención y cautela.

«Aunque los científicos pongan el grito en el cielo por el tratamiento general de la ciencia en el cine, desde el punto de vista de la sensibilización del público y el apoyo a la aplicación de la amenaza que suponen los objetos cercanos a la Tierra, los científicos tienen una gran deuda de gratitud con las superproducciones de Hollywood» (Bobrowsky 2007).

Películas como *Don't look up*, *Armageddon* o *Deep Impact* han suscitado una mayor concienciación y apoyo públicos sobre la defensa planetaria que cualquier otra campaña educativa más específica y costosa.

Millones de personas de todo el mundo, que de otro modo hubiesen permanecido ignorantes, son gracias a las películas conscientes de unos cuantos mensajes clave: que en el pasado objetos del espacio exterior impactaron la Tierra con consecuencias devastadoras (y sin duda lo harán de nuevo en el futuro); que son predecibles; y que normalmente podemos hacer algo para evitar el impacto o, al menos, sus consecuencias.

El cine de ciencia ficción ha de ser visto como una oportunidad y no una amenaza. Los investigadores pueden analizar las películas aportando correcciones, ofreciendo explicaciones y aprovechando cada duda para educar sobre los procesos científicos y el pensamiento crítico, todo ello con un debate franco que involucre al público (**Bobrowsky 2007**).

El poder de los medios para catapultar la credibilidad de los expertos no es nada nuevo. El pánico que provocó Orson Welles con un programa radiofónico basado en la novela *La Guerra de los Mundos* (**Wells 1898**) cumple 85 años y, con él, la alianza exitosa de medios y científicos para comunicarse con la población. *La tarde de Haloween* de 1938, una inocente retransmisión radiofónica de apenas una hora provocó el pánico entre miles de personas que, despavoridas, huían de sus hogares convencidas de que el mundo estaba siendo invadido por un ejército extraterrestre. La novela se adaptó al formato de un boletín noticioso urgente donde el propio Welles interpretaba al científico que explicaba la invasión.

«Señoras y señores, interrumpimos nuestro programa de baile para comunicarles una noticia de último minuto procedente de la agencia Intercontinental Radio. El profesor Farrel del Observatorio de Mount Jennings de Chicago reporta que se ha observado en el planeta Marte algunas explosiones que se dirigen a la Tierra con enorme rapidez... Continuaremos informando» (**Welles 1838**).

Las explosiones asociadas a la caída de los meteoritos representaban la llegada de las naves extraterrestres. La narración del actor y futuro director de cine Orson Welles desdibujó la fina línea entre realidad y ficción. Todavía se considera uno de los momentos más grandes de la historia de la radio, un paradigma del poder de los medios de comunicación de masas.

5. POST MORTEM

Este es el desenlace de un ejercicio sin final feliz, pero con numerosas lecciones aprendidas. Cuando un asteroide impacte contra el planeta, ¿estará la población preparada para digerir la información? ¿Quién y cómo ha de contárnoslo?

Enseñanzas extraídas de las conferencias de Defensa Planetaria enfatizan la necesidad de prepararse ahora para lo que pueda venir en el futuro. Ejercicios como estos son esenciales para poner a prueba los mecanismos de respuesta y sacar a relucir los puntos débiles. Los escenarios simulados demuestran que la defensa planetaria es un

esfuerzo global que requiere la colaboración de muchas disciplinas y actores, desde la política, la gestión de riesgos de catástrofes, las organizaciones no gubernamentales, a la academia y la ciudadanía.

Uno de los grandes aprendizajes es que el flujo de información es un elemento clave para permitir respuestas adecuadas. Desde las agencias espaciales, centros de rastreo y gobiernos se debe fomentar un intercambio de información rápido y fiable que mantenga a los medios de comunicación y al público al día de los acontecimientos.

Difundir la información adecuada en el momento oportuno es clave. La divulgación pública es fundamental para evitar el pánico y garantizar evacuaciones bien planificadas. La comunidad científica desempeña un papel esencial a la hora de facilitar este proceso, proporcionando información basada en hechos a los responsables de la toma de decisiones. Quienes se han especializado en gestión de catástrofes podrán así traducir la información científica en información operativa, es decir, en un lenguaje que los responsables de la toma de decisiones entiendan perfectamente.

No obstante, meses o años de alertas tempranas y la incertidumbre asociada a la localización del impacto pueden provocar malestar y cansancio. La histeria se aplacará, y la alerta inicial y el deseo inmediato de actuar se transformarán en impaciente espera. Dicha espera puede fatigar a quienes se encargan de la respuesta, de la toma de decisiones y al público.

En la planificación previa debe tenerse en cuenta la necesidad de contrarrestar la fatiga e intentar dosificar la información durante la cuenta atrás al impacto para no saturar y mantener la atención de la audiencia. La repetición es una aliada: deben emplearse estrategias de divulgación sostenidas y progresivas para crear comunidades resilientes.

Los mensajes positivos son una herramienta poderosa para contrarrestar las respuestas irracionales y el pánico. La experiencia de catástrofes pasadas nos ha enseñado que son un elemento vital para ayudar a unir a la gente ante la adversidad. El conocimiento y la confianza de poder mitigar el impacto de una catástrofe pueden elevar enormemente la moral de la población afectada y la eficacia de los servicios de asistencia. En cuanto a los mensajes negativos o la circulación incontrolada de noticias engañosas, es crucial desarrollar herramientas para detectar y gestionar la desinformación. Para ello resulta de gran utilidad una colaboración estrecha con profesionales del periodismo.

La experiencia con la misión DART (*Double Asteroid Redirect Test*) fue un claro ejemplo de cómo escenificar un impacto y proporcionar a la audiencia adecuadas dosis informativas sin dejar de lado el morbo mediático. Con DART, la NASA puso a prueba sus recursos de divulgación con reportajes especiales, entrevistas a personas expertas y una amplia cobertura en directo del impacto de la nave contra el asteroide Dimorfos. Aunque el ejercicio fue inverso –la humanidad colisionaba con un asteroide, y no al revés– los recursos fueron los mismos que se podrían utilizar para retransmitir el final del mundo. La misión fue un válido ejemplo de cómo poner en escena y contar la

historia del impacto. El miedo y las emociones no fueron ignorados, sino que formaron parte de la narrativa para enganchar al público.

En 2024 llegará el turno de la misión Hera para sondear los efectos del impacto, que a buen seguro acaparará la atención del mundo. Experimentos controlados de este tipo nos ayudan a afrontar con mayor eficacia la defensa activa y las campañas de información más útiles para nuestra supervivencia como especie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albaek, E. (2011). *The interaction between experts and journalists in news journalism*. University of Southern Denmark, Research Gate.
- Asteroid Day: <https://asteroidday.org/>.
- Billings, L. (2015). *Words matter: A call for responsible communication about asteroid impact hazards and plans for planetary defense*. *Space Policy*, Part 3.
- Bobrowsky, P.T. y Rickman, H. (2007). *Comet/Asteroid Impacts and Human Society* (capítulo 3), Springer.
- Chapman, C.R. y Morrison, D. (1994). Impacts on the Earth by Asteroids and Comets: Assessing the Hazard, *Nature*, 367, 33-40.
- Clark, S. (2023). How the Chelyabinsk Blast Changed the Way Humanity Deals with Asteroid Threats. <https://b612foundation.org/how-the-chelyabinsk-blast-changed-the-way-humanity-deals-with-asteroid-threats/>.
- Chambers, A. C. (2022). The handsome astronomer and the yelling lady: representing scientists and expertise in ‘Don’t look up’. *Journal of Science Communication*, 21.
- ESA (European Space Agency). 28 Septiembre 1999, *Deep impact? New scale will evaluate impact threats*. ESA Website. <https://sci.esa.int/web/home/-/11635-deep-impact-new-scale-will-evaluate-impact-threats>.
- ESA (European Space Agency). 18 Diciembre 2014, *Preparing for an asteroid strike*. ESA Website. https://www.esa.int/Space_Safety/Preparing_for_an_asteroid_strike.
- ESA (European Space Agency). 25 Abril 2019, *Brace for hypothetical asteroid impact*. ESA blog Rocket Science. https://blogs.esa.int/rocketscience/2019/04/25/hypothetical_impact/.
- ESA (European Space Agency). 29 April 2019, *Asteroid impact 2028: Protecting our planet*. ESA space safety videos: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/04/Asteroid_impact_2028_Protecting_our_planet.
- ESA (European Space Agency). 26 Abril 2021, *Deep (fake) impact*. ESA blog Rocket Science. <https://blogs.esa.int/rocketscience/2021/04/26/deep-fake-impact/>.
- ESA (European Space Agency). 30 Abril 2021. *Lessons learnt from simulated strike*. ESA Website. https://www.esa.int/Space_Safety/Lessons_learnt_from_simulated_strike.
- ESA (European Space Agency). 11 Octubre 2021, *Scaling up ESA’s asteroid facilities*. ESA Website. https://www.esa.int/Space_Safety/Planetary_Defence/Scaling_up_ESA_s_asteroid_facilities.

- ESA (European Space Agency). 15 Marzo 2022, *Fifth asteroid discovered before impact*. ESA Website. https://www.esa.int/Space_Safety/Planetary_Defence/Fifth_asteroid_ever_discovered_before_impact.
- ESA (European Space Agency). 13 Febrero 2023, *Seventh shooting star spotted before it struck*. ESA website. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2023/02/Seventh_shooting_star_ever_spotted_before_it_struck.
- Jenniskens, P., Shaddad, M., Numan, D. et al. (2009). The impact and recovery of asteroid 2008 TC3. *Nature*, 458, 485-488.
- Nagel, L.K., Albrecht, R. y Koeberl, C. (2022). Planetary defense: The communication challenge. Lessons from the COVID-19 pandemic, *Geological Society of America*, 557.
- Laursen, B. y Trapp, L. (2021). Experts or Advocates: Shifting Roles of Central Sources Used by Journalists in News Stories. *Journalism Practice*, 15.
- McKay, A. (Director). (2021). *Don't look up*. Hyperobject Industries y Bluegrass Films. NASA (National Aeronautics and Space Administration). *Hypothetical impact scenarios*. <https://cneos.jpl.nasa.gov/pd/cs/>.
- NEOCC (Near Earth Objects Coordination Centre). <https://neo.ssa.esa.int/>.
- Quart, Alissa. Julio 2010, *The trouble with experts*. Columbia Journalism Review. https://archives.cjr.org/feature/the_trouble_with_experts.php.
- Ravan, S., De Groeve, T., Mani, L. et al. Enero 2022, *When It Strikes, Are We Ready? Lessons Identified at the 7th Planetary Defense Conference in Preparing for a Near-Earth Object Impact Scenario*. *Int J Disaster Risk Sci*, Volumen 13.
- Schmidt, Nikola. 2019. *Planetary Defense, Global Collaboration for Defending Earth from Asteroids and Comets* (capítulo 14), Springer.
- Simó Soler, Elisa; Peña-Asensio, Eloy. Marzo 2022, *From impact refugees to deterritorialized states: Foresighting extreme legal-policy cases in asteroid impact scenarios*. *Acta Astronáutica*, Volumen 192.
- United Nations, *Asteroid Day*. <https://www.un.org/en/observances/asteroid-day>.
- Welles, Orson. 1938, *La guerra de los mundos*, programa radiofónico para CBS radio.
- Wells, H. George. 1898, *La guerra de los mundos*.

CAPÍTULO 10. ¿QUÉ SIGNIFICA DEFENDER EL PLANETA EN EL ANTROPOCENO? INMUNIDAD Y AUTOINMUNIDAD DE LA DEFENSA PLANETARIA

ALBERTO CORONEL TARANCÓN¹

Investigador Postdoctoral, Universidad Complutense de Madrid

DOI: 10.14679/2282

Sumario: 1. INTRODUCCIÓN. DEFENDER EL PLANETA EN EL ANTROPOCENO. 2. EL PLANETA-OBJETO. EL PARADIGMA ASTRONÓMICO DE LA DEFENSA PLANETARIA. 3. DEL PLANETA-OBJETO AL PLANETA SUJETO. INTRODUCCIÓN AL PARADIGMA GEOFISIOLÓGICO. 4. HOMEOSTASIS E INMUNOLOGÍA DE GAÑA. 5. INMUNIDAD Y AUTOINMUNIDAD DE LA DEFENSA PLANETARIA. 6. CONCLUSIONES.

1. INTRODUCCIÓN. DEFENDER EL PLANETA EN EL ANTROPOCENO

La entrada del planeta en el Antropoceno ha redibujado los mapas que durante siglos habíamos utilizado para orientarnos. En palabras de Will Steffen, Paul J. Crutzen y John R. McNeil, el término Antropoceno (del griego *ἄνθρωπος*, *Anthropos*: humano; y *καινός*, *kainos*: nuevo) sugiere que: «la Tierra ha abandonado ya su época geológica natural, el actual estado interglaciar llamado Holoceno. Las actividades humanas se han convertido en algo tan profundo y omnipresente que rivalizan con las grandes fuerzas de la naturaleza y están empujando a la Tierra al interior de una *terra incognita*» (Steffen et al. 2007). Como resultado de su creciente capacidad para extraer y transformar la energía del planeta Tierra, el metabolismo del mercado global ha inaugurado un nuevo estado planetario caracterizado por ser «menos diverso biológicamente, menos boscoso, mucho más cálido y probablemente más húmedo y tormentoso» (Steffen, Crutzen y McNeill 2007). Con todo, el significado profundo del concepto de Antropoceno, o la razón por la cual este término se ha extendido a través de las ciencias sociales y humanas, no se reduce a la suma de los cambios ambientales. Para la filosofía ecológica y la ecología política contemporánea, lo crucial del Antropoceno

¹ Alberto Coronel Tarancón es investigador posdoctoral y docente en la Universidad Complutense de Madrid con un contrato Margarita Salas (FondosEU-NextGeneration). Es especialista en el ámbito de la biopolítica y la ecología política contemporánea, y ha publicado numerosos artículos científicos sobre los retos ecosociales del Antropoceno. Es miembro de Ecologistas en Acción y de Rebelión Científica.

es que este fenómeno arrastra consigo profundas mutaciones en la relación de la vida humana y la Tierra.

¿En qué consiste exactamente esta mutación? Desde el punto de vista de la filosofía ecológica, la clave se encontraría en la crisis de las grandes dicotomías modernas. En el Antropoceno, los binomios mente-cuerpo, sociedad-naturaleza, animal-humano, natural-artificial, entre otros, habrían dejado de resultar operativos (**Raffnsøe 2016**). Desde el punto de vista de la ecología política, significa pensar los procesos sociales, culturales, tecnológicos, económicos y políticos en el seno de los metabolismos terrestres (**Hamilton et al. 2015; Saito 2022**). En líneas generales, la referencia al planeta ya no podría dejar fuera el hecho constitutivo y evolutivo de que el ser humano no está sobre el planeta, ni con el planeta, sino que forma parte de él. Sus formas de arraigo y sus distintos modos y ritmos en el uso de los recursos terrestres lo han modificado. Dicho de una vez: la Tierra también tiene historia, y en los últimos momentos de esta historia, el ser humano ha dejado de ser un personaje secundario para ser –quizás durante un brevísimo lapso de tiempo– una fuerza protagónica. Por esta razón sigue abierto el debate sobre si el Antropoceno debe ser considerado una nueva época o un evento geológico (**Gibbard et al. 2022**).

Ya sea época o evento, la pregunta es: si la vida humana forma parte del planeta Tierra, ¿qué defiende el ser humano cuando dice querer defender el planeta Tierra? ¿Se trata del planeta humanizado defendiéndose a sí mismo? ¿O de una humanidad planetaria defendiéndose a sí misma? En los términos propios de la reflexión filosófica: ¿qué significa que un sujeto defienda un objeto cuando sujeto y objeto no pueden ser ontológicamente diferenciados? Para responder a esta pregunta, proponemos un acercamiento filosófico a la defensa planetaria en el Antropoceno a través de la teoría de Gaïa, la cual alumbró la naturaleza dinámica del sistema-Tierra. O, en palabras de James Lovelock y Bruno Latour, proponemos una lectura del Antropoceno basada en la teoría de Gaïa a partir de una concepción fisiológica –y no meramente geológica– del planeta Tierra como entidad animada (**Lovelock y Rioja 1983; Latour 2013**). De este modo, el capítulo comienza diferenciando dos paradigmas o modelos epistemológicos de abordar el problema de la defensa planetaria: tomando el planeta como objeto –paradigma astronómico– o tomando el planeta como sujeto –paradigma geofisiológico–. Como veremos, mientras que el primer paradigma se corresponde con las coordenadas epistemológicas de un siglo, el siglo XX, que se concebía a sí mismo como parte del Holoceno, este segundo paradigma es el que posibilita aterrizar la reflexión filosófica sobre defensa planetaria en el Antropoceno.

2. EL PLANETA-OBJETO. EL PARADIGMA ASTRONÓMICO DE LA DEFENSA PLANETARIA

Según la Sociedad Española de Astronomía (SEA): «La definición oficial de la Unión Astronómica Internacional establece que un *planeta* es un cuerpo celeste que: a) orbita alrededor del Sol, (b) posee suficiente masa como para que su propia gravedad domine las fuerzas presentes como cuerpo rígido, lo que implica una forma

aproximadamente redondeada determinada por el equilibrio hidrostático, (c) es el objeto claramente dominante en su vecindad, habiendo limpiado su órbita de cuerpos similares a él» (SEA 2022).

Esta definición de planeta es la que opera en el actual paradigma de defensa planetaria. Aquel que comprende las actividades de las agencias espaciales como NASA y ESA, quienes utilizan la etiqueta de «Defensa planetaria» (DP)² para englobar todas las capacidades, tecnologías y estrategias necesarias para defender al planeta Tierra de impactos de Objetos Cercanos a la Tierra (OCT), o, en inglés, *near-Earth object* (NEO). O, atendiendo a su peligrosidad, Objetos Potencialmente Peligrosos (OPP) o *potentially hazardous objects* (PHO) (Abell et al. 2020). Este paradigma permite diferenciar claramente las tareas y los saberes de la DP de otras disciplinas e instituciones que también han estado tradicionalmente orientadas a la protección de las condiciones de habitabilidad del planeta Tierra. Conforme a esta definición de DP, la humanidad sería el sujeto terrestre encargado de defender el planeta respecto del futuro impacto de objetos potencialmente peligrosos. Este esquema científico, reduccionista o no-holista, ofrece ventajas epistemológicas e institucionales que no deben ser obviadas: i) ofrece a la DP un marco de saber-poder específico; ii) fija su actividad y su legitimidad a una serie de saberes expertos dotados de un estatus social y epistemológico reconocible; iii) facilita la incorporación de profesionales especializados en las ramas de la astrofísica, la ingeniería espacial, ingeniería de telecomunicaciones, etcétera; iv) canaliza una forma de acción especializada capaz de entrelazar el saber astronómico con la ingeniería y los más sofisticados sistemas de teledetección y, de este modo, v) profundiza en el conocimiento del espacio ultraterrestre y brinda al conjunto de la humanidad tanto el conocimiento como la técnica que haría posible la defensa del planeta frente a impactos cósmicos; vi) interconecta instituciones y agencias especializadas como la *International Asteroid Warning Network* (IAWN) y la *Space Missions Planning Advisory Group* (SMPAG), y, todo ello, en el marco de la Comisión de las Naciones Unidas sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS) para la coordinación de la defensa planetaria desde las agencias de la NASA (Martin 2014).

Con todo, al denominar defensa planetaria a la detección y mitigación de cometas y asteroides se incurre en un reduccionismo espacial evidente respecto del conjunto total de amenazas que podrían ser comprendidas como sus objetos. Principalmente, se excluye la consideración de amenazas internas o provenientes del propio planeta Tierra, lo que exigiría un concepto de defensa planetaria más amplio, capaz de integrar la vulnerabilidad de la Tierra a las amenazas internas, entre otros, aquellas derivadas de los propios programas de DP. Este concepto amplio de defensa planetaria excede los límites del paradigma astronómico³. Ahondando en esta misma línea, ¿deberían

² A partir de este momento utilizaremos las siglas DP para referirnos a la defensa planetaria desde el paradigma astronómico de forma específica, y escribiremos defensa planetaria en referencia al problema general.

³ Este reduccionismo lleva implícito la posibilidad de la ampliación que, junto a Elisa Simó-Soler y Eloy Peña-Asensio, he tenido la oportunidad de investigar en un trabajo inédito en el momento de la redacción de este capítulo, titulado: “Defensa Planetaria Integral. Un nuevo concepto de seguridad para el Antropoceno”, donde se defiende la necesidad de pensar de forma integrada las amenazas cósmicas,

formar parte de la DP aquellas estrategias orientadas a minimizar su propia peligrosidad operativa? Esta pregunta, explorada desde distintos ángulos por diversos autores (**Zaitsev y Space 2019; Baum 2020; Simó-Soler y Peña-Asensio 2022**) nos invita a trascender este concepto restringido de la DP a un paradigma más amplio. La cuestión es si la teoría de Gaïa y los modelos orgánicos del planeta Tierra son más adecuados o no para pensar la defensa planetaria en el interior del Antropoceno.

3. DEL PLANETA-OBJETO AL PLANETA SUJETO: INTRODUCCIÓN AL PARADIGMA GEOFISIOLÓGICO

Dejando de lado la referencia a todas las cosmovisiones que han concebido durante miles de años el planeta como un ser animado, la dinamización científica de la Tierra puede comprenderse a través de lo que Hans Blumenberg denominó «metáforas absolutas», es decir, aquellas metáforas que subyacen a la construcción de los conceptos que despliegan la objetividad que atribuimos a nuestras teorías (**Blumenberg 2003; García 2010**). Pues bien, ¿qué dos metáforas se han enfrentado en la historia del pensamiento científico occidental? Simplificando, el mecanicismo que concibe la naturaleza y la Tierra desde la imagen de la máquina, y el organicismo, que durante siglos ha rechazado el reduccionismo mecanicista por hacer de la realidad objetiva una dimensión exterior al sujeto de conocimiento. En su libro *Filosofía de la Naturaleza*, el filósofo José Luis San Miguel de Pablos escribe un párrafo que sintetiza el núcleo de la imagen mecanicista del universo:

«La imagen de la Naturaleza imperante a partir de la revolución científica es la de una maquinaria cuyos movimientos pueden ser predichos y, por tanto, controlados. Consecuentemente, el antiguo asombro y veneración por el mundo natural se ha ido transformando en una actitud puramente cuantificadora, ergo, mercantilista y fría. Pero es posible proyectar sobre la Naturaleza una mirada distinta: la que, reconociendo nuestra implicación en ella, la percibe como un sujeto sensible y dialogante que participa de la misma vitalidad que nos anima» (**San Miguel 2010**).

Para el mecanicismo de cuño cartesiano –el modelo que inspiró esta imagen mecanicista de la naturaleza– la realidad está compuesta por tres sustancias: la *res extensa* (la materia) es la parte divisible de la realidad, mientras que la *res cogitans* (el pensamiento) es la parte indivisible: aquello que divide (el *cogito*), en tanto que constante de todas las operaciones del conocimiento es, en sí mismo, indivisible. Por último, la *res divina* se identifica con el todo ilimitado, perfecto e indivisible, distinto tanto del conocimiento humano (imperfecto) como de la realidad carente de pensamiento (**Descartes 2005**). De la célebre escisión entre *res cogitans* y *res extensa* se deducen tres grandes consecuencias que todavía tienen efectos epistemológicos en nuestra concepción de la naturaleza

ecológicas como problemas de defensa planetaria junto a los riesgos derivados de su organización jurídico-política.

como algo insensible, determinado, irresponsable e ignorante en contraposición a la humanidad sensible, indeterminada y dotada de comportamiento ético. Y, además, al situar las capacidades del intelecto al margen de los movimientos materiales regidos por leyes deterministas, el mecanicismo ubicó el método y la mirada científica por fuera de la realidad científicamente observable.

Este es el modelo mecanicista que subyace al paradigma astronómico de la defensa planetaria. Al concebir el planeta como objeto exterior al sujeto de conocimiento, introduce la escisión entre el sujeto y el objeto que caracteriza al mecanicismo antropocéntrico. Y si algo tiene de radicalmente novedoso el modelo geofisiológico es, precisamente, que cancela esta escisión ontológica e introduce al sujeto de conocimiento en el planeta. En efecto: el desmontaje epistemológico de la imagen mecanicista, determinista y reversible de la naturaleza llegó primero de la mano de aquellas investigaciones que fueron salvando la distancia entre lo físico y lo biológico. La progresiva introducción de la irreversibilidad y la indeterminación en nuestra comprensión de los fenómenos biofísicos (**Schrödinguer 1951; Prigogine 1993; Schneider et al. 2009**) ha mediado, a su vez, la inscripción ontológica de los seres humanos en la irreversibilidad temporal del proceso evolutivo. Y con esta reubicación de la vida en la materia y de la vida humana en la vida –por utilizar la expresión de Prigogine–, el proceso epistemológico y la praxis científica pudo ser reinsertada en la materialidad viviente de la Tierra.

Anticipado por la crítica filosófica y recogido por la reflexión científica⁴, el desmontaje epistemológico del mecanicismo en el siglo XX tuvo consecuencias decisivas para el estudio de la relación entre el planeta y lo económico. En este caso, se suele atribuir al economista rumano Nicholas Georgescu-Roegen el haber utilizado exitosamente la termodinámica para demoler los fundamentos epistemológicos mecanicistas de la teoría neoclásica. En su gran obra *El proceso económico y la ley de la entropía*, de 1971, Georgescu-Roegen introdujo tanto la irreversibilidad biofísica como la finitud del planeta Tierra como elementos internos al proceso económico. Al operar con modelos matemáticos ideales y reversibles, la ciencia económica, situaba el proceso económico fuera del tiempo y en los márgenes de los procesos biofísicos reales que lo sustentaban. Dicho de forma sencilla, ya sea en economía o en defensa planetaria, las metáforas mecanicistas (reversibles) y las metáforas orgánicas (irreversibles) arrastran consigo descripciones distintas tanto del mundo conocido como del propio proceso de conocimiento. Y todos estos procesos epistemológicos han modificado radicalmente el sentido profundo de lo que hoy podemos entender por «planeta».

⁴ En filosofía, la crítica del tiempo cronológico y aritmórfico (que avanza conforme al número) como una forma de temporalidad históricamente instituida se abrió camino a través de trabajos como *La evolución creadora* de **Henri Bergson (1907)** o *Ser y tiempo (1927)* de **Martin Heidegger**, donde la disputa entre Bergson y Einstein sería retomada por el propio Prigogine para defender la existencia de la flecha del tiempo (irreversible) frente a la comprensión determinista de Einstein, para quien el tiempo –tal y como refleja la carta que le escribe Einstein a la viuda de un colega fallecido– no era más que una ilusión derivada de la experiencia humana. Véase a este respecto la obra de Ilya Prigogine de 1983, ¿Tan solo ilusión?

En suma, del mecanicismo al organicismo transitamos de una metáfora absoluta a otra, y con ello, nos movemos entre sistemas de pensamiento inconmensurables entre sí⁵. Para la defensa planetaria esto significa tener en cuenta que no es posible utilizar las mismas metáforas y los mismos conceptos para pensar la defensa planetaria desde un marco metafórico y epistemológico mecanicista que hacerlo desde un marco organicista. A esto refiere el título del apartado: *introducción al paradigma geofisiológico*, lejano al mecanicismo y cercano al cúmulo de rupturas epistemológicas que hoy se agrupan bajo el humilde nombre de «ecología».

La «ecología», término derivado del término alemán *Ökologie* empleado por Haeckel, nació como el estudio del lugar donde vive o se halla algo. Para el pensamiento ecológico, que da la espalda a la imagen mecanicista de la naturaleza, la clave reside en cuestionar si la Tierra puede ser reducida a aquello que es espacialmente exterior y lo temporalmente anterior a la existencia histórica del ser humano. Para el mecanicismo, la transformación de la Tierra no afecta a aquello que el ser humano es en tanto que ser inteligente. En el marco del pensamiento ecológico y anti-esencialista, en la medida en que el ser humano es un ser terrestre, las transformaciones de la Tierra cambian aquello en lo que consiste ser un ser humano. Es decir, la vida humana y el planeta Tierra coevolucionan.

Desde el cuestionamiento de la escisión organismo-entorno –teorizada por el geoquímico Vladimir I. Vernadsky en 1926– hasta la hipótesis Gaïa propuesta por James Lovelock y desarrollada junto a la bióloga **Lynn Margulis (2018)** –que retomamos en este capítulo–, la Tierra ha dejado de ser un objeto estático que soporta dinámicas biológicas a ser un único sistema termodinámico y biogeoquímico integrado capaz de autorregularse gracias al comportamiento interrelacionado de sus subsistemas. En este sentido, la teoría de Gaïa⁶ –que concibe el planeta Tierra como un ser autorregulado y dotado de homeostasis interna– sería el cenit del pensamiento organicista y antimecanicista. Por ello, las metáforas que deben orientar el estudio objetivo de Gaïa son las propias de una comprensión geofisiológica de la Tierra (**Lovelock 1989**). O, si se prefiere: «Gaïa es una metáfora global, sí, pero con respaldo científico» (**Dillard-Wright 2019**). En el marco de la filosofía ecológica contemporánea, el recientemente fallecido Bruno Latour ha sido uno de los teóricos que más han profundizado en este

⁵ El concepto de inconmensurabilidad, utilizado por **Thomas Kuhn** en su célebre *Estructura de las revoluciones científicas (2019)*, remite a problemas de confrontabilidad epistemológica y a problemas semánticos o de traducción. De un paradigma científico otro, los axiomas y elementos varían, dando lugar a puntos de partida incompatibles entre sí. A su vez, este puede resultar intraducible en la medida en que el significado de un concepto científico encuentra en su paradigma el contexto del que obtiene su significado. Esta relación de inconmensurabilidad es la que nos interesa destacar como existente entre la visión mecanicista y la organicista del planeta Tierra. Al atribuir propiedades o atributos incompatibles a un mismo término –planeta–, el planeta mecánico y el planeta orgánico refiere antes a dos planetas distintos con un mismo nombre que a un mismo planeta con dos nombres.

⁶ En los términos de James Lovelock, Gaïa sería la hipótesis: «según la cual la materia viviente de la Tierra y su aire, océanos y superficie forman un sistema complejo al que puede considerarse como un organismo individual capaz de mantener las condiciones que hacen posible la vida en nuestro planeta» (**Lovelock 1984**).

nuevo concepto fisiológico del planeta. De hecho, Latour compara a James Lovelock con Galileo por haber descrito el carácter animado, dinámico, activo de la Tierra en contraposición a su descripción como objeto inerte y estático. En sus términos:

«Hemos entrado en una nueva era: el Antropoceno, y ahora tenemos que enfrentarnos a un nuevo actor: Gaïa. (...) Este investigador [J. Lovelock] ha formulado rigurosamente una obviedad, que otros habían intuido, pero que él es el primero en documentar de manera bastante completa: la Tierra no es inerte. Este es su descubrimiento. En otras palabras, el ambiente no es un entorno pasivo para los seres que tratan de sobrevivir. Por el contrario, nuestro ambiente está totalmente formado por seres vivos. El ejemplo más obvio es la composición de la atmósfera: el oxígeno que respiramos ha sido producido por las plantas a través de la fotosíntesis» (Latour 2020).

Para Latour la clave no reside tanto en la consideración de la Tierra como un organismo individual, sino en la superación de los modelos y de las metáforas mecanicistas de raigambre cartesiana que nos hablaban de una naturaleza extensa, inanimada y pasiva (*res extensa*) en contraposición a una naturaleza pensante, animada y activa (*res cogitans*). De una concepción a otra, aquello que la defensa planetaria dice saber y poder defender ha cambiado. No es lo mismo defender el planeta, el objeto-Tierra que defender a Gaïa, el sujeto-Tierra. Pero cuando decimos «defender a Gaïa» nos encontramos con que el sujeto-Tierra ya dispone de mecanismos de defensa propios. Para añadir un nuevo mecanismo de defensa –la capacidad de detectar y deflectar objetos cercanos potencialmente peligrosos– no solo es necesario problematizar la diferencia entre amenazas antropogénicas y no antropogénicas, sino también trasladar dicha diferencia al estudio de los sistemas de defensa antropogénicos y no antropogénicos. Retomando la metáfora geofisiológica, se trataría de pensar en qué medida puede el ser humano llegar a fortalecer o debilitar el conjunto de sistemas defensivos o inmunológicos de Gaïa.

4. HOMEOSTASIS E INMUNOLOGÍA DE GAÏA

¿Tiene el planeta Tierra un sistema inmunológico? Y, de ser así, ¿cuál es el lugar que ocupan las sociedades humanas en el mismo? En fisiología médica, el sistema inmunológico refiere al conjunto de elementos y procesos biológicos que permiten conservar la homeostasis frente a los efectos de agentes o elementos patológicos, ya sean estos internos, como las células cancerosas, o externos, como los virus provenientes del entorno, entre otros (Lozano Soto 2012; Delves 2021). En términos generales, por tanto, hablar de inmunología terrestre implica tomar como punto de partida la homeostasis del sistema-Tierra (Lovelock y Margulis 1974; Lovelock 1989).

Como señala Carlos de Castro, en un primer momento la hipótesis Gaïa quedó sintetizada en los siguientes tres enunciados. Primero: «Existe una homeostasis (~regulación) de la atmósfera por y para la biosfera». Ambas coevolucionan favoreciendo

la reproducción de la biosfera al conservarla en un gradiente térmico propicio a pesar a las grandes diferencias de radiación. Segundo, y en referencia a su composición: «La vida regula el clima y la composición de la atmósfera en un óptimo para ella misma». Tercero: «La vida controla todo su entorno; los organismos pertenecen a un organismo mayor que es Gaia» (**Lovelock y Margulis 1974, 2007; de Castro 2020**). En la medida en que Gaia sería un organismo muy particular –no se reproduce y no compete–, la hipótesis Gaia recibió numerosas críticas por parte del pensamiento neodarwinismo. Por esta razón, muchos de los elementos de la versión inicial han sido rebajados⁷.

Lo que hoy se acepta como el núcleo de la teoría de Gaia puede ser formulado del modo siguiente: «Gaia es el sistema homeostático que emerge de la interacción entre la biota y la biosfera y cuyo resultado son estados que permiten la permanencia de la vida» (**de Castro 2020**). Esta homeostasis involucra todo un conjunto de sistemas interrelacionados con el dinamismo de la biosfera: «la salinidad de los océanos, el pH de aguas y suelos, la concentración de oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera y el mismo clima que disfruta» (**de Castro 2020**). Y más allá de la capacidad autorreguladora de estos sistemas, lo decisivo del enfoque de Gaia es que ilumina por qué muchas dinámicas evolutivas, como los saltos en la complejidad de los organismos, no pueden ser explicados mediante las relaciones de competencia de la selección natural pero, en cambio, sí por la simbiogénesis no-competitiva. **Carlos de Castro (2020)** pone el ejemplo del hongo y el alga que conforman el líquen:

«Cuando un hongo se encuentra con problemas de acceso a la energía o un alga se encuentra con problemas de acceso al nitrógeno (en una visión micro de la teoría), la solución no es competir, sino coordinarse hasta el punto de formar un único ser, el líquen. La simbiosis en el líquen –la forma total de coordinación– permite liberar al hongo de sus límites con la energía disponible porque se la proporciona el alga a través de la fotosíntesis; el alga a su vez es liberada de su límite con el nitrógeno porque se lo proporciona el hongo. Al formarse la simbiosis algo casi mágico ocurre: se alejan de pronto los factores limitantes (ya no hay que “luchar por la existencia”), aumenta la complejidad, aumenta la entropía del entorno más rápido que con el hongo y el alga cada uno por su lado. La formación es estable, se “selecciona” de forma automática. Hay evolución».

Este fenómeno, central en la teoría de la endosimbiogénesis de Lynn Margulis, se puso en evidencia que el tránsito de las células procariotas a las eucariotas no se dio por mutación azarosa, sino por la integración simbiótica de seres diferentes (**Lavagnino et al. 2014**). De este modo –y esto es un hecho científico aceptado por la teoría evolutiva– se demostró lo que Kropotkin había sugerido mucho tiempo antes: que la

⁷ Biólogos como Doolittle, Richard Dawkins o Maynard Smith criticaron la hipótesis de Gaia por mostrar incompatibilidades con el concepto de organismo derivado de la selección natural y la teoría neodarwinista. Carlos Castro Carranza, defensor de la teoría orgánica de Gaia, ha continuado la línea argumentativa esbozada por Lynn Margulis, según la cual el neodarwinismo no es capaz de explicar muchos fenómenos que sí se explican desde la óptica gaiana.

cooperación y la simbiosis han sido dinámicas mucho más relevante para el proceso evolutivo de lo que el darwinismo fue capaz de pronosticar. Margulis se sumó a la defensa de la hipótesis Gaïa de Lovelock, precisamente porque la relación de la biosfera y la atmósfera ha conservado durante miles de años las condiciones térmicas y químicas óptimas para la permanencia de la vida⁸. Incluso tras sufrir el impacto de un meteorito, Gaïa ha sido capaz de restaurar las condiciones anteriores, y no unas nuevas derivadas del azar de la selección natural⁹. Esto pone claramente de manifiesto que Gaïa posee mecanismos de autorregulación y autodefensa que han hecho posible la conservación de su homeostasis interna a lo largo de la historia biológica. Y esto, a su vez, nos permite indagar en la «inmunología» intrínseca a sus dinámicas y recalcar, como ya lo ha hecho D. B. Dillard-Wright, que dicha inmunología no concede ningún tipo de privilegio a la vida humana: «Gaïa es el sistema autoinmune por el que la Tierra se protege», entre otras cosas, «de los excesos de la humanidad» (Dillard-Wright 2019).

La inmunología de Gaïa consistiría en el conjunto de elementos y procesos que permiten conservar la homeostasis frente a los efectos de agentes o elementos patológicos internos o externos a la Tierra. ¿Qué elementos? ¿Qué procesos? ¿Qué patógenos? De lo más simple a lo más complejo, hablemos primero de las barreras gaseosas que envuelven y protegen la integridad de la biosfera y después de los procesos de inmunización que la atraviesan, incluyendo en estos últimos los efectos del Antropoceno en los sistemas inmunológicos de Gaïa. En analogía con la piel –la más simple de todas–, cabría comenzar señalando los efectos inmunológicos evidentes de la capa de ozono respecto de los efectos nocivos de la radiación ultravioleta (aquella con una λ menor de 360 nm) y que, proveniente del sol, posee efectos extremadamente dañinos para la biosfera. Por sus efectos, esta capa gaseosa no difiere de la piel pigmentada que nos protege de la radiación solar. De hecho, solo la piel de los organismos nacidos en cuevas o en profundidades abisales carece de pigmentación.

En efecto, la formación de la capa de ozono que ha bloqueado la radiación ultravioleta constituye una primera barrera inmunitaria de la Tierra. Pero la atmósfera no solo nos protege de la radiación, de hecho, y como sabemos, la atmósfera nos protege también de meteoroides gracias a la ionosfera (donde se desintegran la mayor parte de los meteoroides) o la presión del aire, que jugó un rol crucial en la fragmentación del asteroide que explotó en Chelyabinsk, Rusia, el 15 de febrero de 2013. Este tenía 20 metros de diámetro, y su explosión liberó una energía de 500 kilotonnes. En el estudio

⁸ Así comienza el artículo conjunto de Lovelock y Margulis: «Durante el tiempo, $3,2 \times 10^9$ años, que la vida ha estado presente en la Tierra, las condiciones físicas y químicas de la mayor parte de la superficie planetaria nunca han variado de las más favorables para la vida. El registro geológico dice que el agua líquida siempre estuvo presente y que el pH nunca estuvo lejos de ser neutro». (Lovelock y Margulis 1974).

⁹ «Gaïa se autorrepara, y las pruebas vienen precisamente de catástrofes de escala planetaria como la caída de grandes meteoritos que provocaron extinciones masivas. Gaïa perdió momentáneamente el control del clima y de sus procesos metabólicos; sin embargo, en pocos millones de años se reparaba y además (lo que demuestra que es un ‘ser’) Gaïa volvía a su estado anterior, con distintas especies y ecosistemas, pero con las mismas funciones metabólicas –el clima anterior, el pH anterior, el oxígeno anterior, etc.– y su misma capacidad de reciclar materia» (de Castro 2020).

publicado en *Meteoritics y Planetary Science*, **J.H. Tabetah y Melows (2018)** concluyeron que el aire a presión se infiltra en los poros del meteoróide haciéndolo estallar. La radiación y los proyectiles cósmicos serían, entonces, los ejemplos de patógenos físicos respecto de los cuales la atmósfera presenta funciones inmunitarias.

En el interior de la biosfera, y aunque no agotarían el repertorio de mecanismos inmunológicos de la Tierra, los virus ilustran a la perfección en qué consiste *virar* de la inmunología médica a la ecológica o terrestre. Su importancia para limitar crecimientos descontrolados, proteger la biodiversidad y diferenciar los ecosistemas habitables o inhabitables para unas u otras especies hace de los virus uno de los principales agentes de inmunidad terrestre. Más allá de la mirada antropocéntrica:

«Actualmente se considera a los virus no sólo como causantes de enfermedades sino también como agentes muy importantes que colaboran en el mantenimiento del equilibrio ecológico. Los virus, además de producir la disminución de las poblaciones a animales o vegetales en un determinado hábitat, sirven como mediadores en el intercambio genético entre individuos de una misma o de diferentes especies, cooperando en la variabilidad de los organismos que son susceptibles de ser infectados» (**Santos et al. 2004**).

Los virus bacteriófagos, por ejemplo, juegan un papel crucial en la regulación de las poblaciones bacterianas en océanos y ecosistemas. Estos limitan el crecimiento de las poblaciones que, al no tener depredadores, crecerían sin control alterando la composición química de sus medios (**Wilhelm y Suttle 1999; Vaqué 2020**). En la historia de la inmunidad terrestre, los microorganismos han desempeñado un rol decisivo. La peste negra, o el bacilo *Yersinia Pestis*, que fue transmitida por roedores a través del comercio marítimo acabó con un tercio de la población europea. La viruela, o *Variola virus*, tras ser transportada de Europa a América después de 1492 causó la muerte de la mayor parte de las poblaciones indígenas. En *Armas, gérmenes y acero* **Jared Diamond (1998)** estudió minuciosamente la importancia de los bucles de retroalimentación entre la agricultura (vida vegetal), la ganadería (vida animal) y la inmunidad adquirida por las poblaciones europeas y americanas (microbiología) en el proceso de colonización siconatural del continente americano y en la apertura colonial del espacio transatlántico. Recientemente, la pandemia de la COVID-19 ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad inmunológica del mundo globalizado: debido al turismo global, la población humana en su conjunto está expuesta a los efectos de las enfermedades contagiosas que puedan surgir en cualquier lugar del globo. Es decir, el mundo globalizado es *de facto* el resultado de haber chocado y derribado las barreras inmunológicas que constituían un estadio hoy perdido de la biosfera. Las consecuencias de haber superado los límites que imponían estas barreras por parte de poblaciones humanas constituyen uno de los factores más importantes en la configuración biohistórica del planeta que hoy habitamos.

El crecimiento económico de las poblaciones humanas en el siglo XX es incomprensible sin atender a la historia de la «inmunización antropogénica» adquirida por

ciertas poblaciones humanas frente a los efectos limitantes y autorreguladores de la «inmunidad terrestre», y esto desemboca en una de las grandes paradojas del Antropoceno. La necesidad de defender el planeta, primero, de los impactos de la especie que se dice capaz de defenderla. La bio-historia reciente de la humanidad es inequívoca al respecto: los mecanismos de autodefensa y autorregulación de las sociedades humanas han evolucionado en contradicción con los mecanismos de defensa y autorregulación del sistema-Tierra, de ahí que el Antropoceno sea sinónimo de un desequilibrio global mediado por el crecimiento descontrolado de las actividades humanas con mayor impacto. El hecho de que ya hayamos superado la mayor parte de los límites planetarios señalados por el equipo del científico sueco Johan Rockström (**Lade et al. 2020**) nos lleva a preguntarnos si, de aquí en adelante, la humanidad deberá defender el planeta o si, más bien, deberá defenderse de él.

Si retomamos la pregunta que nos hicimos al principio ¿qué significa la defensa planetaria en el Antropoceno? no es posible obviar que el ser humano en el siglo XXI, lejos de ser un «defensor planetario» es (salvando las grandes diferencias existentes entre poblaciones, grupos sociales y territorios) un «agresor planetario» que arriesga su propia supervivencia en el despliegue global de sus impactos¹⁰. O, por decirlo con las palabras del economista ecológico **José Manuel Naredo (2004)**: «El hecho de que las reglas del juego económico globalmente imperantes se muestren en franca contradicción con aquellas que caracterizan el comportamiento de la biosfera explica la consideración de la especie humana como patología terrestre». Esta hipótesis define el impacto de las actividades humanas no la metáfora mecanicista de la «huella ecológica», sino con la metáfora orgánica de la patología terrestre. Y al transitar de una descripción mecanicista a una organicista se pone de manifiesto la gran paradoja de la defensa planetaria en el Antropoceno: la idea benigna de defensa planetaria desarrollada por la DP convive en el Antropoceno con la malignidad de las mismas sociedades en condiciones tecnológicas y económicas de desplegarla. A su vez, la idea benigna, protectora o sanadora de defensa planetaria emerge en el interior de las mismas sociedades que, por su poder económico y tecnológico, tienen una mayor responsabilidad biohistórica en la degradación de la inmunidad terrestre.

El objetivo de nuestra lectura no es, sin embargo, dar más razones a la misantropía, sino ofrecer una imagen de la defensa planetaria que no eluda las profundas ambivalencias del momento geofisiológico en que se despliega. Si la DP está llamada a formar parte de la inmunidad terrestre esta no puede ignorar la tendencia ecopatológica de las sociedades que la despliegan, y esto implica tener en cuenta tanto los beneficios inmunitarios de la defensa planetaria como sus riesgos autoinmunes. Hasta el momento, la DP se ha lanzado a defender la Tierra de amenazas cósmicas de espaldas a otro tipo de amenazas (como las ecológicas, políticas, económicas, etcétera) pero esto está justifica-

¹⁰ En efecto: la lectura de la especie humana como patología planetaria no es nueva: en 1990, el médico y antropólogo **W. Hern (1990)** señaló las numerosas semejanzas entre los efectos de los procesos cancerígenos y la incidencia de las actividades humanas sobre los territorios. En otro texto igual de explícito, titulado *Humans as Cancer*, Kent MacDougall retomaba esta analogía para pensar el crecimiento descontrolado de los seres humanos en el planeta.

do como efecto inevitable de su «especialización orgánica». Como «órgano» de defensa planetaria no puede atender a todas las amenazas a la vez, sin embargo, tampoco puede dejar de atender a los riesgos autoinmunes ligados a su propio funcionamiento.

5. INMUNIDAD Y AUTOINMUNIDAD DE LA DEFENSA PLANETARIA

Lo más valioso de la DP es su virtual capacidad para transformar a las sociedades humanas en una barrera inmunitaria de la biosfera. En un sentido general, cuando un sistema implica la interacción organizada de cientos de miles de elementos (células u organismos) necesita de los beneficios que aporta la inmunización para autoconservarse. Es decir, a mayor complejidad, mayor dependencia de un sistema respecto de los efectos homeostáticos de la inmunización. Si entendemos por inmunidad el conjunto de procesos de reconocimiento que median respuestas de tolerancia o rechazo en el interior de dinámicas homeostáticas, y reconocemos que a) la humanidad forma parte de la biosfera y que b) la Tierra dispone de dicha homeostasis, es fácil identificar la matriz inmunológica de la Defensa Planetaria, cuya especificidad queda definida en las tareas de reconocer, alertar y mitigar los efectos potencialmente destructivos de un objeto cercano. En este caso, los OPP serían el agente patógeno, y los instrumentos de deflexión, los órganos antropogénicos de inmunidad planetaria.

La idea de que el ser humano, a través de los programas de DP, pueda convertirse en un sistema de protección para el conjunto de la biosfera contiene connotaciones inmunológicas evidentes. Si la piel y las membranas son consideradas barreras inmunitarias respecto de los patógenos que dejan fuera, las barreras de la DP servirían para que los agentes externos potencialmente dañinos no lleguen a tocarnos. Esta posibilidad (todavía tecnológicamente irrealizable pero recientemente testada en la misión DART) suele ser esgrimida como la mejor razón por la cual la sociedad no debería dejar de financiar los costosos programas y tecnologías de la DP. La posibilidad de proteger la Tierra de un impacto semejante al que produjo la extinción de los dinosaurios es inequívocamente seductora.

Ahora bien, ¿qué es lo que garantiza que estos avances tecnocientíficos no puedan ser empleados como una ventaja militar por parte de aquellas potencias capaces de desviar un objeto peligroso? ¿Qué tipo de contrapesos jurídicos y procedimientos democráticos pueden prevenir el uso ofensivo de las capacidades tecnológicas desarrolladas por la defensa planetaria? Estas preguntas están en el centro de la reflexión propuesta por los trabajos pioneros de **Seth D. Baum**, *Accounting For Violent Conflict Risk In Planetary Defense Decisions* (2020), al analizar las estrategias de la DP como factor de riesgo en conflictos violentos, y *From impact refugees to deterritorialized states: foresighting extreme legal-policy cases in asteroid impact scenarios* (2021), de **Elisa Simó-Soler** y **Eloy Peña-Asensio**, donde se estudian riesgos ligados a la (des)organización jurídico-política de la Defensa Planetaria cuando esta queda reducida a su dimensión tecnocientífica. Ambos trabajos han abierto la veda al análisis de lo que, desde la teoría de Gaïa y del Antropoceno, tiene sentido denominar las profundas ambivalencias inmunológicas de la defensa planetaria.

La clave reside en que, desde la detección de la amenaza hasta la fabricación de la respuesta inmunitaria, todas las acciones defensivas de la DP tienen una naturaleza dual que puede disminuir o aumentar el riesgo para las poblaciones humanas. En términos de **Baum (2020)**: «Esto puede incluir evitar actividades que disminuyan riesgo de NEO pero que aumentan inadvertidamente otros riesgos, y hacer hincapié en las actividades que disminuyen (o al menos no aumentan) el riesgo de NEO y también disminuyen otros riesgos o, al menos no aumentan el riesgo de NEO y también disminuyen otros riesgos». Atendiendo a ambos trabajos diferenciamos las prestaciones inmunitarias con sus respectivos riesgos autoinmunes en cuatro momentos o dimensiones inherentes a la elaboración de respuestas de inmunidad planetaria: epistemológica, procedimental, praxeológica y deontológica. Tanto el saber como el proceder, el hacer y el deber contienen un doble filo defensivo y ofensivo que alumbra el carácter dual –inmune y autoinmune– de la DP.

i. Inmunidad y autoinmunidad epistemológica. La obtención de conocimiento acerca de la actividad del espacio ultraterrestre constituye la primera prestación inmunitaria de la DP. Esta nos habla del estado de inmunodeficiencia del que parte el planeta Tierra frente a aquellos objetos que la atmósfera no puede ni ha podido bloquear. El estudio de los cráteres terrestres y lunares narra una larga historia de impactos catastróficos. La observación de las órbitas de objetos cercanos a la Tierra hace posible la elaboración de modelos que permiten clasificar los objetos en función de su frecuencia y de su tamaño. En la actualidad, más de 1 millón de asteroides y cometas orbitando alrededor del Sol han sido catalogados, y cerca de 30.000 de ellos presentan órbitas con acercamientos cercanos a la Tierra (**Trigo-Rodríguez 2022**). Es decir, cada vez sabemos más acerca de aquello que puede hacer daño al planeta, pero este mismo saber añade un riesgo autoinmune (una debilidad) que la vida humana no enfrentaría si no tuviéramos la actual capacidad de información (**Sagan y Ostro 1994**). En el escenario de alerta de impacto, **Simó-Soler y Peña-Asensio (2022)** señalan que:

«existe un alto grado de incertidumbre en la determinación de la probabilidad de impacto. (...) La propia noticia de amenaza de impacto podría desencadenar ipso facto un fenómeno migratorio hacia regiones de bajo riesgo o, incluso, una migración global hacia el lado opuesto de la Tierra. Estos movimientos poblacionales, candidatos a generar crisis humanitarias, podrían ser espontáneos o coordinados institucionalmente, así como temporales o permanentes, pero, en cualquier caso, deberían estar respaldados por un marco legal: el refugiado de impacto».

Es decir, aunque el cometa llegase a desintegrarse antes de impactar con el planeta, el aviso habría generado efectos nocivos, por ello los autores advierten acerca de la necesidad de una categoría jurídica que «inmunice» a las poblaciones humanas respecto de los peligros ligados y efectos nocivos del desplazamiento: el refugiado de impacto. Este es el riesgo de toda alarma, la falsa alarma, señalada por **Baum (2020)**: «Las falsas alarmas confundidas con ataques son una gran preocupación, especialmente como

causa de una guerra nuclear. La mejora del conocimiento de los objetos cercanos a la Tierra y la comunicación entre los astrónomos y los militares podría ayudar a resolver las falsas alarmas».

ii. *Inmunidad y autoinmunidad procedimental*. Un grado más en el riesgo de inmunidad y autoinmunidad se localiza en los procedimientos que deben orientar la elaboración de una respuesta en un escenario de riesgo de impacto. En este caso, la DP puede servir de modelo para la prevención de conflictos globales o puede agravarlos. En el primer caso, la DP aspira a fomentar la cooperación internacional para la defensa del planeta frente a riesgos globales. Como señala Schmidt, el interés común de defender la Tierra debe ser aprovechada como un trampolín de la humanidad idealmente unificada (**Schmidt 2018**). Por la misma razón, puede agravar las diferencias en una humanidad realmente dividida. Si un asteroide fuese a impactar contra Washington, ¿no utilizaría Estados Unidos su privilegio tecnológico para evitarlo a expensas de la seguridad de otros países o ecosistemas? Si un asteroide o cometa fuese a impactar contra una región fisiológicamente esencial para la Tierra –como la selva del Amazonas– ¿se arriesgarían otras zonas para protegerla? (**Simó-Soler y Peña-Asensio 2022**). No es preciso responder a estas preguntas para señalar que las relaciones de poder y de saber presentes en la elaboración de la respuesta condicionarían el proceso en la toma de decisiones. O, dicho de otra forma, si la defensa planetaria se plantea como la suma de seguridades nacionales discretas, las diferencias entre las naciones afectarían a la elaboración de la respuesta en contra de la seguridad planetaria integral. Este hecho alumbra la necesidad de avanzar hacia procedimientos democráticos globales frente riesgos globales, no solo para evitar que los países más débiles se viesan perjudicados, sino también para evitar el fallo inmunológico derivado de las asimetrías geopolíticas que medien la producción de respuestas.

iii. *Inmunidad y autoinmunidad praxeológica*. Más allá del conocimiento y el procedimiento que subyace a la elaboración de una respuesta inmune, esta puede desencadenar efectos de inmunidad fisiológica o autoinmunidad patológica en función de sus posibles consecuencias. Como señalan **Simó-Soler y Peña-Asensio**, la deflexión exitosa: «no evitaría encuentros cercanos posteriores, típicos de las órbitas de estos objetos (**Giorgini et al. 2008**), de modo que el peligro de impacto podría surgir más adelante amenazando una nueva región de la Tierra». Y concretan: «un tercer Estado que no estaba inicialmente bajo alerta podría estar ahora en peligro», y «en el momento de decidir modificar la trayectoria, no se podría prever con exactitud el punto de impacto en un encuentro cercano posterior, por lo que la imputación de responsabilidad sería altamente compleja». (**Simó-Soler y Peña-Asensio 2022**). A su vez, el uso de armamento puede ser necesario para hacer frente a las amenazas más grandes. En términos de **Baum (2020)**: «Para las colisiones más grandes de objetos cercanos a la Tierra, los explosivos nucleares pueden ser la única opción viable para la desviación. Para la deflexión, siempre que haya suficiente tiempo de espera; para las colisiones más inminentes, la interrupción nuclear puede ser la única opción viable. La disrupción es controvertida porque no necesariamente elimina la amenaza y, en algunos casos, puede

aumentar el daño a la Tierra creando un mayor número de colisiones más pequeñas, aunque en otros casos puede ser ventajoso».

iv. Inmunidad y autoinmunidad deontológica. Si la deontología estudia la ética de los deberes y principios que afectan a una determinada profesión, las patologías deontológicas nos permiten pensar el riesgo derivado de sus fallos o desviaciones. Es decir, si la deontología de la defensa planetaria incluye el deber ético de utilizar y comunicar la información y usar los instrumentos de la DP conforme al interés general del planeta Tierra –y no de un individuo, colectivo, país o especie en particular (**Callicott 2013**)–, los riesgos autoinmunes en el plano deontológico involucran el conjunto total de las prácticas que, presentándose y legitimándose como actos de defensa planetaria, están subrepticamente subordinados al cumplimiento de intereses parciales o particulares. Estos riesgos podrían ir de lo económico, por el uso de la DP con miras al enriquecimiento privado de una persona, empresa o nación, a lo militar: el uso de la información y los instrumentos de la DP para debilitar o destruir a otros seres humanos. Este riesgo, análogo a la prevaricación en la deontología judicial, no solo es el mayor, sino también el más denunciado. Recordemos la noticia de la que numerosos medios de comunicación se hicieron eco 2018, cuando el científico ruso Anatoly Zaitsev, autor del sistema *Ciudadela* (**Zaitsev y Space 2019**) y director general de la asociación «Centro de Defensa Planetaria» declaró a un periódico ruso que «la creación de láseres basados en el espacio por las superpotencias para la protección planetaria no excluye la posibilidad de su uso en una guerra», o que los asteroides podrían llegar a ser utilizados como proyectiles contra enemigos gracias al uso de tractores gravitatorios (**Europa Press 2018**). Para evitar todos los peligros derivados de la fragmentación y multiplicación de estrategias de seguridad planetaria, Zaitsev señala, en la misma línea que Baum, Simó-Soler y Peña-Asensio, la necesidad de soportes jurídicos internacionales que definan y garanticen el cumplimiento de los principios deontológicos de la DP. A esto añadiría la necesidad de mecanismos económico-políticos que velen por el cumplimiento de los textos jurídicos. Este tipo de contrapesos no solo constituirían un avance en materia de defensa planetaria, sino el avance que disminuiría el riesgo autoinmune implícito en todos los anteriores.

6. CONCLUSIONES

Atendiendo a los aspectos epistemológicos, procedimentales, praxeológicos y deontológicos, se ha mostrado el potencial fisiológico y patológico de la DP en continuidad con el sistema inmunológico de Gaïa. ¿Cómo evitar que el saber que nos permite dar la alarma desencadene falsas alarmas? ¿Cómo lograr que la alarma integre dispositivos de evacuación que inmunicen a las poblaciones desplazadas de los potenciales rechazos? ¿Qué mecanismos pueden garantizar el carácter democrático de los procedimientos que permitan la elaboración de una respuesta defensiva? ¿Qué principios deontológicos y qué soportes jurídicos pueden asegurar que un sistema con la capacidad de defender al planeta no se convierta en su principal amenaza? En suma, ¿cómo maximizar la potencia inmunológica de la DP y, al mismo tiempo,

disminuir los riesgos patológicos de sus derivas autoinmunes? Estas preguntas son las que emergen al interrogar la defensa planetaria desde las coordenadas geo-históricas y geo-fisiológicas del Antropoceno. Para que una estrategia de defensa planetaria sea defensiva de acuerdo con sus efectos, y no meramente con sus intenciones, esta debe considerar, en primer lugar, su relación de complementariedad o de antagonismo en el seno de los mecanismos inmunológicos de Gaïa y, en segundo lugar, la ambivalencia defensivo-ofensiva de todo sistema inmunológico. Por ello, el análisis de la DP desde el marco de la inmunidad planetaria nos advierte de las profundas contradicciones de todo sistema de defensa que no enraíce en dinámicas de cooperación duraderas. El hecho de que estas parezcan estar muy lejos del momento actual no debe, sin embargo, dar motivos a la desesperanza. Sabemos que los procesos evolutivos de la Tierra no solo están regidos por dinámicas de selección entre especies (neodarwinismo), sino también por las dinámicas de cooperación transespecie que han velado y siguen velando por la autorregulación homeostática de la Tierra (Gaïa). Por ello, la victoria competitiva que la especie humana ha conquistado gracias a su poder tecnocientífico corre el peligro de fracasar estrepitosamente al alterar los equilibrios ecológicos que han permitido su desarrollo tecnológico. Porque la biosfera y la cooperación entre especies seguirá adelante de un modo u otro, el principal problema de la defensa planetaria en el siglo XXI radica en la conservación de dos ingredientes sin los cuales esta sería imposible: el conocimiento científico actualizado y la cooperación internacional duradera en el interior de un planeta habitable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abell, P., Rayomond, C., Daly, T., Adamo, D. R., Barbee, B. W., Bruck Syal, M., ... y Wheeler, L. (2020). Near-Earth Object Characterization Priorities and Considerations for Planetary Defense. *White paper submitted to The Planetary Science and Astrobiology Decadal Survey, 2023-2032*.
- Baum, S. D. (2021). Accounting for violent conflict risk in planetary defense decisions. *Acta Astronautica*, 178, 15-23.
- Blumemberg, H. (2003). *Paradigmas para una metaforología*. Minima Trotta.
- Cloquell, J. M. E. (2017). Sobre la sexta extinción (I): Apariencia y Realidad en la Ecología de la Sexta Extinción. *Revista Latinoamericana de Estudios Críticos Animales*, 4(1).
- De Castro Carranza, C. (2013). En defensa de una teoría Gaïa orgánica. *Ecosistemas*, 22(2), 113-118.
- (2020) "Teoría Gaïa Orgánica: una introducción" [ARCHIVO PDF]. <http://tratarde.org/carlos-de-castro-teoria-gaia-organica-una-introduccion/>.
- Callicott, J. B. (2013). *Thinking like a planet: The land ethic and the earth ethic*. Oxford University Press.
- Diamond, J. M. (1998). *Guns, germs and steel: a short history of everybody for the last 13,000 years*. Random House.
- Delvis, Peter J. (2016). *Panorama general del sistema inmunitario*. Merck Sharp y Dohme Corp.

- Europa Press (16/02/2018) Un científico afirma que los asteroides se pueden utilizar como armas de guerra. *Europa Press*. https://www.lasexta.com/noticias/ciencia-tecnologia/cientifico-afirma-que-asteroides-pueden-usar-como-armas-guerra_201802165a8720030cf21ea6a3880b18.html.
- García, A. R. (2010). Hans Blumenberg: mito, metáfora absoluta y filosofía política. *Ingenium: Revista electrónica de pensamiento moderno y metodología en historia de las ideas*, 4, 145-165.
- Gibbard, P., Walker, M., Bauer, A., Edgeworth, M., Edwards, L., Ellis, E., ... y Ruddimann, W. (2022). The Anthropocene as an Event, not an Epoch. *Journal of Quaternary Science*, 37(3), 395-399.
- Hamilton, C., Bonneuil, C. y Gemenne, F. (Eds.). (2015). *The Anthropocene and the global environmental crisis*. London: Routledge.
- Hern, W. M. (1990). Why are there so many of us? Description and diagnosis of a planetary ecopathological process. *Population and Environment*, 12(1), 9-39.
- Kuhn, T. S. (2019). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de cultura económica.
- Lade, S. J., Steffen, W., De Vries, W., Carpenter, S. R., Donges, J. F., Gerten, D., ... y Rockström, J. (2020). Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions. *Nature Sustainability*, 3(2), 119-128.
- Lavagnino, N. J., Massarini, A. y Folguera, G. (2014). Simbiosis y evolución: un análisis de las implicaciones evolutivas de la simbiosis en la obra de Lynn Margulis. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 14(29), 161-181.
- Latour, B. (2013). *Facing Gaia. Six lectures on the political theology of nature*. Gifford Lectures at the University of Edinburgh. Edinburgh.
- (2020) *Bruno Latour: la Tierra como actor político* Climaterra. Entrevista original: *Bruno Latour: "Gaïa Global Circus, une tragi-comédie climatique"* Philomag." Disponible online en: <https://www.philomag.com/articles/bruno-latour-gaia-global-circus-une-tragi-comedie-climatique>.
- Lovelock, J. E., y Margulis, L. (1974). Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. *Tellus*, 26(1-2), 2-10.
- Lovelock, J. E., y Rioja, A. J. (1983). *Gaia: una nueva visión de la vida sobre la tierra*. Madrid: Hermann Blume.
- Lovelock, J. E. (1989). Geophysiology, the science of Gaia. *Reviews of Geophysics*, 27(2), 215-222.
- Lozano Soto (2012). Introducción al sistema inmunológico, sus principales elementos y la respuesta inmunitaria. En Farreras Rozman (Ed.). *Medicina interna* (pp.2453-2488). Elsevier.
- Macdougall, A. K. (1996). Humans as cancer. *Wild Earth*, 6, 81-88.
- Naredo, J. M. (2006). S2. La especie humana como patología terrestre. *Boletín CF+ S*, (32/33).
- Raffnsøe, S. (2016). *Philosophy of the Anthropocene: The human turn*. Springer.
- Martin, P. (2014). NASAs efforts to identify near-earth objects and mitigate hazards. *Tech. Rep*.
- Prigogine, I. (1993). *Tan Solo una Ilusión?* Barcelona: Tusquets.

- Sagan C. y Ostro S.J. (1994). Long-range consequences of interplanetary collisions. *Issues Sci. Technol.*, 10(4), 67-72.
- Saito, K. (2022). *El capital en la era del Antropoceno*. Penguin Random House.
- Santos, G., Borraz, M. y Reyes, J.R. (2004). La naturaleza e importancia de los virus. *Elementos: ciencia y cultura*, 53, 25-31.
- Schneider, E. D.; Sagan, D. y Leal, A. G. (2009). *La termodinámica de la vida*. Tusquets.
- Schmidt, N. (2018). *Planetary Defense: Global Collaboration for Defending Earth from Asteroids and Comets*, Springer.
- Schrödinger, E. (1951). *What is life? The physical aspect of the living cell*. At the University Press.
- SEA (05/12/2022) «Planeta». *Sociedad Española de Astronomía*. <https://www.sea-astronomia.es/glosario/planeta>.
- Simó-Soler, E. y Peña-Asensio, E. (2022). From impact refugees to deterritorialized states: Foresighting extreme legal-policy cases in asteroid impact scenarios. *Acta Astronautica*, 192, 402-408.
- Steffen, W., Crutzen, P. J. y McNEILL, J. R. (2007). The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614-621.
- Sloterdijk, P. (2013). *Has de cambiar tu vida. Sobre antropotécnica*. Valencia: Trad. Pedro Madrigal. Pre-Textos.
- Tabetah, M. E. y Melosh, H. J. (2018). Air penetration enhances fragmentation of entering meteoroids. *Meteoritics y Planetary Science*, 53(3), 493-504.
- Trigo-Rodríguez, J. M. (2022). *Asteroid Impact Risk: Impact Hazard from Asteroids and Comets*. Springer Nature.
- Turner, J. S. (2009). *The extended organism: the physiology of animal-built structures*. Harvard University Press.
- Vaqué, D. (2020). Virus marinos: los diminutos asesinos de microbios que orquestan la vida en el océano. <https://digital.csic.es/handle/10261/247856>.
- Wilhelm, S. W. y Suttle, C. A. (1999). Viruses and nutrient cycles in the sea: viruses play critical roles in the structure and function of aquatic food webs. *Bioscience*, 49(10), 781-788.
- Dillard-Wright, D. D. (2019). Gaia Theory and the Anthropocene: Radical Contingency in the Posthuman Future. *Sanglap: Journal of Literary and Cultural Inquiry*, 5(2), 19-29.
- Zaitsev, A. V. y Space, T. F. (2019, March). Citadel: a Concept for a credible Planetary Defence System. En *International Seminars On Nuclear War And Planetary Emergencies-49th Session* (p. 217). World Scientific.

CAPÍTULO 11. NO MIRES ARRIBA, MIRA HACIA DELANTE. DEFENSA PLANETARIA, ANIMALES NO HUMANOS Y LA IMPORTANCIA DEL FUTURO

CATIA FARIA¹

*Profesora de filosofía moral, Universidad Complutense de Madrid
Miembro del consejo científico, UPF-Centre for Animal Ethics*

DOI: 10.14679/2283

Sumario: 1. LA AMENAZA DE IMPACTO. 2. ANTROPOCENTRISMO Y CONSIDERACIÓN MORAL. 2.1. Antropocentrismo. 2.2. El argumento de la superposición de las especies. 2.3. El argumento de la relevancia. 3. DEFENSA PLANETARIA Y DISTINTAS POSICIONES ÉTICAS. 4. ÉTICA DEL FUTURO. 5. CONCLUSIÓN.

1. LA AMENAZA DE IMPACTO

Siempre me han atraído las catástrofes naturales y sus efectos devastadores: diluvios, erupciones volcánicas, movimientos tectónicos colosales. De todas las catástrofes naturales potenciales, ninguna me ha interesado más que la colisión entre objetos astronómicos. He pasado varias horas de mi infancia contemplando simulaciones de los profundos efectos medioambientales de un posible impacto de un asteroide en la Tierra. Todavía guardo un recuerdo gráfico de una de esas predicciones, más bien sensacionalista: la colisión de una roca espacial del tamaño de una pelota de baloncesto dejaría un cráter en la Tierra con una dimensión cercana al continente europeo. Sabemos hoy que el conocimiento actual no respalda la exactitud del cálculo. Más allá de variables como la masa del objeto, la velocidad y el ángulo de la trayectoria, se estima que un objeto cercano a la Tierra (OCT) tendría que tener una dimensión de aproximadamente 1 km para devastar todo un continente y con ello lograr efectos a escala mundial (NASA 2014). No obstante, e independientemente de su rigor científico, el episodio ha logrado en mí un objetivo didáctico: es necesario prepararse para un posible evento de impacto y coordinar globalmente esfuerzos para prevenir posibles amenazas.

¹ Doctora en Filosofía Moral por la Universitat Pompeu Fabra y miembro fundador del Centre for Animal Ethics de la misma universidad. Es profesora en el departamento de Filosofía y Sociedad de la Universidad Complutense de Madrid. Ha sido investigadora postdoctoral de la Fundación Portuguesa para la Ciencia y Tecnología. Su libro *Animal Ethics in the Wild: Wild Animal Suffering and Intervention in Nature*, se ha publicado recientemente por Cambridge University Press (2023).

Durante el siglo pasado, la amenaza de un impacto catastrófico con la Tierra lo suficientemente grande como para extinguir la humanidad, o reducir drásticamente su número, ha sido un tema recurrente en los más célebres escenarios de ciencia ficción. Sin embargo, hace mucho que la defensa planetaria dejó de ser un tema estrictamente ficcional. En las últimas décadas, la evolución de la investigación sobre amenazas cósmicas y defensa planetaria ha sido notable. Ejemplo de ello es la reciente prueba del sistema de defensa planetaria de la Tierra conducida por la NASA (Prueba de Redirección de Doble Asteroide o DART, por sus siglas en inglés) que ha estrellado intencionadamente una sonda espacial contra el asteroide Dimorfos y así logrado modificar su movimiento en el espacio (NASA 2022). Está claro que aún queda mucho por aprender sobre cómo prevenir los impactos catastróficos de asteroides y otros OCT, pero cada vez contamos con una mejor preparación científica y tecnológica para alcanzar ese objetivo.

Ahora bien, los debates en torno a esta cuestión suelen ser técnicos y simplemente dan por sentado que la defensa planetaria es un imperativo para salvaguardar la supervivencia y el potencial humano. Aunque no es una novedad que amenazas como ésta pueden afectar a la vida y al bienestar de individuos no humanos –pensemos en el allegado impacto que acabó con los dinosaurios– los debates sobre defensa planetaria ignoran sistemáticamente a la mayoría de los habitantes de nuestro planeta, es decir, a los animales no humanos. En otras palabras, los intereses no humanos no suelen entenderse como razones para actuar de una u otra manera respecto de la defensa planetaria. Sin embargo, una mirada imparcial a esta cuestión exige que nos planteemos la siguiente pregunta fundamental: Ante el riesgo de amenaza cósmica, ¿a quién debemos defender y por qué razones?

En este capítulo empearé por analizar la perspectiva sobre consideración moral que han asumido los debates sobre defensa planetaria –el antropocentrismo moral–, evaluando su justificación y ofreciendo razones para preferir un enfoque más inclusivo que tenga en cuenta a todos los individuos potencialmente afectados por el impacto catastrófico de un OCT (Sección 2). A continuación, examinaré cómo las distintas teorías éticas podrían dar cabida a esta preocupación, tratando de identificar puntos clave de consenso respecto a cómo debemos actuar ante tal amenaza (Sección 3). Posteriormente, expondré las razones por las que el futuro, incluido el futuro remoto, importa moralmente, esbozando una propuesta de defensa planetaria ética, no especista y moderadamente centrada en el largo plazo (Sección 4). Finalmente, repasaré brevemente las conclusiones (Sección 5).

2. ANTROPOCENTRISMO Y CONSIDERACIÓN MORAL

Si un ser es moralmente considerable, debemos tener en cuenta sus intereses a la hora de decidir cómo actuar. Tener en cuenta los intereses de alguien puede requerir distintos cursos de acción por parte de diferentes agentes morales. A menudo, requiere que nos abstengamos de causarles un daño. Por ejemplo, evitando infligirles un sufrimiento innecesario. En otras ocasiones, exige que les beneficiemos, ayudándoles

cuando están en necesidad. Por ejemplo, previniendo o reduciendo su muerte y sufrimiento frente al impacto de un asteroide.

Pero, ¿qué hace que alguien sea moralmente considerable? Es necesario identificar algún atributo de los individuos que explique por qué merecen consideración moral. Por supuesto, la gente discrepa sobre cuál es ese atributo y, en consecuencia, sobre el grupo de individuos hacia los que tenemos obligaciones morales –los miembros de la comunidad moral. Aplicado al caso que nos ocupa, en un contexto de defensa planetaria, aquellos cuyos intereses nos dan razones para defenderlos.

2.1. Antropocentrismo

La respuesta tradicional a esta pregunta es que los miembros de la comunidad moral son los miembros de la especie humana y sólo ellos, de modo que todos los seres humanos son moralmente considerables, pero ningún animal no humano lo es plenamente. Llamemos a esta postura antropocentrismo moral (en adelante, «antropocentrismo»).

Hasta ahora, la defensa planetaria ha asumido el antropocentrismo. Ante el riesgo de amenaza cósmica, debemos defender los intereses humanos. En particular, a sus intereses fundamentales en vivir, en no sufrir y en disfrutar de una vida larga y próspera. Por supuesto, en los debates sobre defensa planetaria también se habla de salvar especies animales y vegetales de la extinción. Esto podría inducirnos a pensar que la defensa del planeta no sólo concierne a la humanidad, sino también a los animales no humanos. Sin embargo, se enmarca comúnmente la necesidad de salvar a las *especies* de la Tierra –que no a los individuos no humanos en sí– a menudo por su valor instrumental para el bienestar humano, lo que en última instancia nos da razones para actuar. En la medida en que proporcionan una multitud de bienes y servicios esenciales para el ser humano, las especies, los ecosistemas y toda la biosfera del planeta deben ser preservadas –su extinción supondría una amenaza para la actividad y prosperidad humanas. En resumen, el ser humano no puede sobrevivir sin la Tierra y sus recursos. Por tanto, debe actuar para salvarlos.

Esta posición es muy distinta a considerar que intereses humanos y no humanos similares nos dan razones igualmente fuertes para salvar el planeta, posición que la mayoría de las personas involucradas en la defensa planetaria probablemente rechazaría. En palabras de Bill Nelson, Administrador de la NASA, «Todos nosotros tenemos la responsabilidad de proteger nuestro planeta. Al fin y al cabo, es el único que tenemos» (NASA 2022). Estas palabras presuponen, por omisión, la posición antropocéntrica según la cual la defensa planetaria es algo que concierne exclusivamente a los seres humanos, lo que, a su vez, asume que los seres humanos son los únicos miembros de pleno derecho de la comunidad moral que habita el planeta Tierra.

¿Pero, es el antropocentrismo una posición moralmente justificada? ¿Qué argumentos hay a favor y en contra del antropocentrismo? Para que el antropocentrismo funcione como respuesta al problema de la consideración moral y no sea una mera

preferencia irracional por los miembros de la especie humana, es crucial que el atributo invocado para establecer la línea divisoria moral entre humanos y no humanos satisfaga dos condiciones:

- (1) Condición de hecho: Todos los seres humanos poseen el atributo y ningún animal no humano lo posee.
- (2) Condición normativa: Es un atributo relevante a efectos de consideración moral. Es decir, justifica de forma plausible a quién se debe incluir y excluir en nuestra deliberación moral.

Una vez enunciadas estas condiciones, resulta sorprendentemente difícil encontrar un atributo que las satisfaga. Consideremos, en primer lugar, la pertenencia a la especie humana (**Diamond 1978; Lynch y Wells 1998**). Es cierto que cumple fácilmente la condición (1), en el sentido de que la secuencia de ADN que constituye el genoma humano es compartida por todos los miembros de la especie *Homo sapiens* y por ningún otro individuo de otra especie. Sin embargo, difícilmente cumple la condición (2), ya que la especie es una propiedad biológica que simplemente señala la capacidad de algunos individuos para reproducirse con éxito dentro de un grupo de organismos genéticamente homogéneos. Está ampliamente aceptado que las propiedades meramente biológicas, como el color de la piel, de los ojos, el pelo, el sexo o la morfología de un individuo, son irrelevantes para determinar la consideración que le debemos. Lo mismo ocurre con la especie. Como propiedad puramente biológica, carece de relevancia para determinar si una entidad importa y si debemos tenerla en cuenta a la hora de decidir cómo actuar (volveré sobre este punto más adelante).

Una respuesta más sofisticada consiste entonces en argumentar que lo que importa no es la mera especie, como propiedad biológica, sino ciertas propiedades psicológicas que están correlacionadas con la especie. Es decir, capacidades cognitivas complejas, como la racionalidad, la autoconsciencia o el lenguaje (**Frey 1980; Leahy 1991; Scruton 1996; Carruthers 2011**). De hecho, gracias al ejercicio de estas capacidades, la especie humana ha alcanzado logros científicos y técnicos excepcionales, desde el desarrollo de vacunas y antibióticos, la creación de obras maestras de la cultura, hasta la tecnología misma de deflexión de OCT. Todos estos «logros de la humanidad» son producto de capacidades cognitivas muy complejas y específicamente humanas que ninguna otra especie posee. Ello justificaría la consideración moral privilegiada de los seres humanos sobre los demás animales.

2.2. El argumento de la superposición de las especies

Veamos ahora: ¿satisface el atributo invocado la condición (1)? Es decir, ¿es cierto que capacidades cognitivas como la racionalidad, la autoconsciencia o el lenguaje son compartidas por todos los seres humanos y que ningún animal no humano las posee? Observando el mundo, es fácil ver que no es así. Todos los seres humanos carecen de estas capacidades durante parte de su vida, en particular durante la primera fase de la infancia. Muchos otros, debido a alguna condición congénita, nunca las desarrollan o

lo hacen de forma elemental. Otros las poseen plenamente, pero en algún momento las pierden debido a un accidente, una enfermedad o simplemente a complicaciones asociadas a la vejez. Es decir, la presencia de capacidades cognitivas es una cuestión de grado que varía, no sólo entre los seres humanos, sino también en cada ser humano a lo largo de su vida. Por consistencia, entonces, la consideración moral también tendría que variar entre los seres humanos y, en consecuencia, muchos de ellos quedarían excluidos de la comunidad moral y, por ende, de la defensa planetaria. Si, por ejemplo, pudiéramos determinar la trayectoria exacta de un objeto astronómico y calcular su impacto y concluir que sólo afectaría a un grupo de seres humanos no verbales, con una complejidad cognitiva elemental, entonces no tendríamos razones para ayudarles. Sin embargo, esto es inaceptable.

El propósito de este argumento, conocido en la literatura como el «argumento de los casos marginales» (**Singer 2011 [1975], 2008 [1979]; Pluhar 1995; Dombrowski 1997; Tanner 2011**), y más correctamente llamado el «argumento de la superposición de especies» (**Ehnert 2002; Horta 2014**), es poner de manifiesto la fragilidad de cualquier posición que pretenda negar a los animales no humanos la consideración moral sobre la base de características supuestamente específicas de la especie humana. Para cualquier atributo al que apelemos habrá seres humanos que, por no poseer el atributo o ejemplificarlo en menor medida, quedarían excluidos –su consideración será nula o mínima– y habrá animales no humanos que, por el contrario, deberían ser incluidos. Un número creciente de estudios, ya incontestables, demuestra que ciertos animales no humanos manifiestan niveles asombrosos de inteligencia, poseen autoconsciencia y muestran dominio de sistemas de comunicación complejos (**Bekoff et al 2002**), son capaces de aprender y producir lenguaje de signos humano (**Fouts y Fouts 1982**), entienden conceptos complejos como la muerte (**Monsó 2019**) e incluso demuestran cierto nivel de comportamiento moral (**Bekoff y Pierce 2009**). De ello se desprendería que los animales no humanos con tales capacidades cognitivas son moralmente considerables. Por lo tanto, incluso si se estuviera en disposición de aceptar la implicación de excluir moralmente a algunos seres humanos, seguiría sin ser posible negar la consideración moral a todos los animales no humanos.

Nótese que el argumento se dirige principalmente a apelar a las capacidades cognitivas, pero se aplica igualmente a los atributos de otro orden que se puedan invocar, como la existencia de relaciones afectivas o la solidaridad entre los seres humanos. En la medida en que existen, o es concebible que existan, estaría justificado ignorar igualmente en nuestra deliberación a aquellos seres humanos que no están relacionados entre sí de las formas indicadas. Así, en un intento de excluir a los animales no humanos de la comunidad moral, el antropocentrismo se muestra incapaz incluso de garantizar la consideración moral de todos los miembros de la especie humana. Y, por tanto, de demostrar que deben ser defendidos de igual manera.

Ante este problema, hay dos opciones. Se puede defender de manera poco plausible que la importancia moral de los individuos sigue variando según su nivel de complejidad cognitiva y, por tanto, que el peso de sus intereses debe ajustarse en consecuencia. Es decir, que algunos animales –incluidos algunos seres humanos– importan más que

otros. O bien, defender que no hay grados de importancia. Lo que hay son intereses que deben tenerse plenamente en cuenta en la toma de decisiones morales. Esto presupone aceptar el principio de igual consideración, según el cual debe darse la misma importancia a los intereses similares de todos los afectados por nuestras acciones, humanos y no humanos (**Singer 2009 [1979]**).

2.3. El argumento de la relevancia

Esta última postura encuentra resonancia en uno de los argumentos centrales a favor de la plena consideración moral de los animales no humanos. Muestra claramente la razón fundamental por la que el antropocentrismo no funciona y está relacionada con la condición (2) anterior, es decir, la relevancia del atributo invocado como criterio de consideración moral. Sucintamente, el argumento es el siguiente: para que un criterio justifique un trato diferenciado entre individuos, dicho criterio debe basarse en una diferencia relevante para lo que está en juego. Por ejemplo, tener útero es un criterio relevante para hacerse una citología, pero es un criterio irrelevante para poder votar. Ahora bien, lo que está en juego para la consideración moral es, al menos en parte, si una entidad puede recibir un daño o un beneficio. Por lo tanto, lo relevante a efectos de la consideración moral es si una entidad puede recibir daños y beneficios. Así pues, la consideración diferenciada de seres humanos y no humanos sólo estará justificada si humanos y no humanos difieren en su capacidad de recibir daños y beneficios.

Como la capacidad de recibir daños y beneficios viene dada por la sintiencia, ningún atributo distinto de la sintiencia es relevante para justificar la consideración diferencial de humanos y no humanos (**Sapontzis 1987; Bernstein 2015; Horta 2018**). Si un individuo es sintiente, podemos afectarle negativa (causándole un daño) o positivamente (generándole un beneficio). Esto es, ese individuo tiene su propio bienestar que puede verse favorecido o perjudicado por nuestras acciones, por lo que debemos tenerlo en cuenta a la hora de decidir cómo actuar. Dado que los humanos y los no humanos son sintientes y, por tanto, igualmente susceptibles de recibir daños y beneficios, la consideración diferencial de humanos y no humanos no está justificada. Aplicado al caso que nos ocupa, intereses humanos y no humanos similares nos dan razones igualmente fuertes para salvar el planeta.

Una forma de rebatir el argumento anterior sería demostrar que, aunque podamos aceptar el principio de igual consideración de intereses, no es cierto que seres humanos y no humanos tengan intereses similares. Por lo tanto, existe una diferencia relevante que justifica una consideración diferenciada. Dejando a un lado posturas infundadas que niegan la sintiencia animal, a veces se argumenta que, aunque los animales no humanos tienen interés en no sufrir y en disfrutar de sus vidas, la mayor complejidad de la psicología humana daría lugar a experiencias más intensas y, por tanto, los intereses correspondientes –por ejemplo, el interés en no sufrir– tendrían un mayor peso (**Leahy 1992**). Sin embargo, podemos observar que la intensidad de las experiencias, tanto negativas como positivas, no depende necesariamente de la complejidad psicológica de los individuos. Consideremos la experiencia del sufrimiento. Si bien es cierto

que, en determinados contextos, una mayor complejidad cognitiva puede equivaler a una mayor intensidad de la experiencia (por ejemplo, un individuo superviviente ante la colisión de un OCT sufre adicionalmente por comprender la magnitud de la tragedia), en otros casos, precisamente porque no dispone de toda la información y el aparato cognitivo pertinente para comprender (por ejemplo, el carácter transitorio de un confinamiento necesario para recibir cuidados médicos), un animal no humano puede experimentar vivencias negativas (miedo, angustia, sentimientos de abandono, etc.) con mayor intensidad que un ser humano en circunstancias similares.

Por último, podría argumentarse que, si esto es así con respecto al interés en no sufrir, no ocurre lo mismo con el interés en vivir. Es decir, para que un individuo tenga interés en vivir, es necesario que posea el aparato cognitivo necesario para concebirse a sí mismo en el tiempo y proyectarse en el futuro, de modo que tenga el deseo de seguir vivo. Un animal no humano no puede albergar ese deseo o, al menos, ese deseo sólo puede abarcar su vida futura inmediata. Así pues, su interés en vivir es nulo o insignificante y, por tanto, la muerte que advendría de un evento de impacto no sería un mal para él (Cigman, 1981; Singer 2009 [1979])².

Una posible respuesta a esta objeción es argumentar que la muerte es un mal porque nos priva de bienes futuros (Nagel 1970; Bradley 2011) y que de lo que nos privamos al morir son las experiencias positivas que habríamos tenido de haber seguido con vida. Es decir, sobre cómo la muerte privaría también a los demás animales de una vida valiosa para ellos: libres de sufrimiento y obstáculos a la expresión de su agencia, con la oportunidad de acceder a toda una gama de experiencias potencialmente placenteras. Si, por el contrario, dejamos morir a los demás animales, les privamos de todo lo positivo que la vida podría ofrecerles, dejándoles sometidos, de forma adicional, al sufrimiento, al miedo y a la angustia de una muerte potencialmente espantosa causada por el impacto de un asteroide.

Ahora bien, alguien podría objetar que, al salvar a la Tierra de un evento de impacto, estamos salvando necesariamente a todos los demás animales, independientemente de cuáles sean las razones que tengamos para hacerlo. Dicho de otro modo, que no tenemos por qué rechazar el antropocentrismo en el contexto de la defensa planetaria. Sin embargo, esto sería un equívoco. En primer lugar, la colisión de un objeto astronómico –sobre todo uno de dimensiones reducidas– puede, en principio, impactar a un lugar exclusivamente habitado por animales no humanos, por ejemplo, una zona remota de un océano u otro espacio natural no habitado por, y sin consecuencias significativas para, las poblaciones humanas. Aunque un escenario de este tipo sea improbable, resulta, al menos, concebible. Si aceptamos el antropocentrismo, en la medida en que los efectos negativos del eventual impacto no afectarían al bienestar humano, no tendríamos razones para evitarlo. Si, en alternativa, rechazamos el antropocentrismo, dado que el impacto frustraría intereses no humanos fundamentales, estos intereses nos darían razones para prevenirlo o mitigar sus efectos.

² Obsérvese que Peter Singer ha transitado recientemente del utilitarismo de preferencias al utilitarismo hedonista (de Lazari-Radek y Singer 2014), con profundos cambios en su posición sobre el mal de la muerte. Para una visión panorámica de los nuevos compromisos Singerianos ver Paez (2017).

En segundo lugar, en la eventualidad de que la defensa planetaria no se restrinja, en el futuro, al planeta Tierra –frente a la posibilidad de terraformación, panspermia dirigida u otras formas de colonización espacial– rechazar el antropocentrismo es lo único que nos permite atender a los intereses de la potencial vida sintiente no humana extraterrestre, ya sea orgánica o artificial. Cualquier otra posición excluiría injustificadamente a individuos posibles de ser dañados por los efectos del impacto de un objeto astronómico. Esto se hace aún más acuciante si tenemos en cuenta que el objetivo número uno actual de colonización (y potencial terraformación) es Marte. Este tiene una atmósfera más débil que la Tierra y está más cerca del cinturón de asteroides, por lo que posee menor defensa natural y mayor probabilidad de impacto. Ello nos daría razones para dedicar una protección especial a la vida sintiente que potencialmente habitara ese planeta³.

Finalmente, y sumamente importante, aprobar o no el antropocentrismo afecta profundamente a cómo debemos actuar en el peor escenario posible: la colisión. Las decisiones sobre la evacuación de la zona de impacto, la búsqueda de refugio, el racionamiento de alimento y agua, entre muchas otras cuestiones, determinarán de manera decisiva quienes permanecerán con vida, hasta cuándo y en qué condiciones. Mientras desde una perspectiva antropocéntrica nuestros esfuerzos deben ir dirigidos a salvaguardar los intereses exclusivamente humanos, rechazar el antropocentrismo implica tener en cuenta a todos los individuos potencialmente afectados por el impacto, ayudando a quienes necesitan y llevando a cabo una distribución justa de recursos entre seres humanos y no humanos.

Además, el hecho de que ahora seamos conscientes y hagamos hincapié en el bienestar no humano potencialmente amenazado por el impacto de un OCT tendrá el efecto añadido indirecto de llamar la atención sobre todas las formas en que nuestras acciones y omisiones cotidianas pueden contribuir a mejorar o empeorar la vida de los animales no humanos, incluida, pero no restringida a, la gestión de las catástrofes naturales. Si debemos tener en cuenta a los demás animales a la hora de prevenir los daños naturogénicos que les afectan⁴, igualmente debemos tenerlos en cuenta a la hora de prevenir los daños causados por el ser humano, por ejemplo, aquellos generados por los diferentes tipos de explotación animal. Estas parecen razones de mucho peso para rechazar el antropocentrismo y favorecer un enfoque más integrador que tenga en cuenta los intereses de todos aquellos potencialmente afectados por el impacto catastrófico de un objeto astronómico, independientemente de su especie, localización geográfica, u otras características moralmente irrelevantes.

³ Agradezco a Eloy Peña Asensio por haberme señalado este punto.

⁴ Obsérvese que si tener en cuenta el bienestar humano a la escala cósmica es evidente, lo debería ser de igual modo a la escala terrestre. Un vasto número de animales no humanos están expuestos a los efectos dañinos de diferentes amenazas naturales internas a la Tierra y poseen una baja capacidad para hacerles frente. Para una visión panorámica de este problema ver **Faria (2023)**.

3. DEFENSA PLANETARIA Y DISTINTAS POSICIONES ÉTICAS

Diferentes teorías éticas prescriben, a menudo, diferentes cursos de acción. Se podría pensar que el antropocentrismo, en un contexto de defensa planetaria, tendría que ser rechazado únicamente por quienes adoptan una posición normativa muy concreta. Por ejemplo, el utilitarismo, dada la conocida inclusión de los animales no humanos en la comunidad moral por sus más célebres representantes contemporáneos (**Singer 2009 [1979]**). Pero, ¿qué se sigue para la defensa planetaria desde otras posiciones normativas? ¿Es posible encontrar un mínimo de consenso entre las diferentes teorías respecto a esta cuestión?

Cabe destacar que la consideración moral de los animales no humanos no requiere un compromiso con una teoría ética concreta. Exponer en detalle los argumentos de cada teoría ética excedería con mucho el alcance de este capítulo, pero basta decir que la consideración moral de los animales se ha argumentado desde el utilitarismo (**Singer 2009 [1979]**; **Matheny 2006**), el igualitarismo y el prioritarismo (**Holtug 2007**; **Faria 2014**; **Horta 2016**), las perspectivas kantianas (**Pluhar 1995**; **Francione 2000**; **Franklin 2005**; **Korsgaard 2018**), las teorías de los derechos (**Regan 2004 [1983]**; **Cochrane 2012;2018**), el contractualismo (**VanDeVeer 1979**; **Rowlands 1998**), la ética de las virtudes (**Nobis 2002**; **Abbate 2014**), la ética del cuidado (**Clement 2003**; **Donovan 2006**; **Donovan y Adams 2007**), la perspectiva de las capacidades (**Nussbaum 2006;2023**) y las posiciones pluralistas (**Clark 1977**; **Sapontzis 1987**).

Pensemos, a modo de ilustración, en el contraste clásico entre las teorías consecuencialista y deontológica. En particular, considérese la ética utilitarista y la ética kantiana. Según la ética utilitarista, debemos actuar para maximizar el bienestar general, considerado imparcialmente entre todos los individuos potencialmente afectados por nuestras acciones, en las que se incluyen los animales no humanos. De ello se deriva la obligación moral de promover el bienestar de todos los individuos sintientes, en particular, la obligación de no causarles daño y de asegurar que tengan las mejores vidas posibles (lo que aumenta el bienestar general). La ética kantiana, de entrada, es menos integradora de los intereses no humanos, dado el destacado papel de Kant en el establecimiento de la larga tradición filosófica de hacer corresponder las obligaciones morales con la racionalidad humana y, en consecuencia, restringirlas a las relaciones entre seres autónomos. Es decir, seres que, por perseguir su propio bien, deben ser respetados como fines en sí mismos. Sin embargo, como señalan distintas posiciones kantianas contemporáneas, todos los seres sintientes, no sólo los seres humanos, deben ser tratados como fines en sí mismos. Esto se debe a que los demás animales también persiguen su propio bien, lo que nos obliga a reconocer que su bien es tan importante y digno de perseguirse como el nuestro. Al interferir en la búsqueda de los animales de sus propios fines, causándoles daño (sufrimiento o muerte), estaríamos faltando al respeto a otros animales como fines en sí mismos.

Todas las anteriores teorías coinciden en el reconocimiento de la consideración moral de los demás animales, de la que se deriva, al menos, la obligación de no causarles daño. Pero, en el contexto de defensa planetaria, se podría decir, lo que está en

juego no es la generación de un daño por parte de agentes morales, sino la prevención de un daño o la posibilidad de ayuda. Afortunadamente, la idea básica según la cual debemos ayudar al resto, siempre que podamos e independientemente de su especie, está también respaldada por una amplia variedad de posiciones éticas, aunque las razones invocadas varíen.

Desde un enfoque consecuencialista se puede defender que ayudar a quienes están en situación de necesidad es lo que produce los mejores resultados. Una defensa planetaria no antropocéntrica al asegurar el bienestar de todos los individuos sintientes aumenta la felicidad total (utilitarismo), promueve la igualdad sustantiva entre animales humanos y no humanos (igualitarismo) y permite priorizar a quienes están en una posición desfavorable para obtener la ayuda que precisan (prioritarismo). Pero, al contrario de lo que, en ocasiones, se asume, la ética deontológica también puede respaldar esta intuición básica, considerando que tenemos, al menos, un deber *prima facie* de beneficencia. Es decir, tenemos un deber de hacer el bien a menos que se presenten razones morales más fuertes en contra de hacerlo (por ejemplo, en caso de conflicto entre ayudar y causar un daño). Dada la inexistencia de tales razones –de un conflicto entre ayudar a los animales no humanos potencialmente afectados y causar un daño a otros individuos– nuestras razones de beneficencia para ayudarles son decisivas.

Más allá de este contraste, otras teorías no consecuencialistas respaldarían igualmente una defensa planetaria no antropocéntrica. Las teorías éticas basadas en derechos también pueden estar de acuerdo con esta idea, en la medida en que crean que los individuos tienen derechos positivos, incluido el derecho a recibir asistencia en determinadas circunstancias, en particular, en caso de necesidad extrema. Al contrario que los derechos negativos que obligan a la inacción, los derechos positivos nos obligan a actuar de determinadas formas. En este caso nos obligan a proporcionar a los individuos potencialmente afectados la asistencia necesaria frente al impacto de un objeto astronómico. Finalmente, también la ética de las virtudes defendería que el tipo de carácter que debemos aspirar a desarrollar en nuestra conducta mostraría la disposición compasiva para actuar de tal manera. Es decir, al ayudar a los demás animales cuando lo necesitan, el conjunto de agentes morales exhibiría las virtudes clave de la compasión o la bondad.

En conclusión, diferentes teorías éticas respaldan la consideración moral de los demás animales. Además, en un contexto de defensa planetaria, es posible encontrar puntos clave de consenso entre las distintas teorías éticas respecto a cómo debemos actuar ante la amenaza de impacto catastrófico de un asteroide, previniendo o mitigando los efectos de posibles amenazas. Ya sea porque ayudar a al resto de seres es lo que genera los mejores resultados (consecuencialismo); porque tenemos un deber *prima facie* de ayudar a quienes están en situación de necesidad (deontología); porque cualquier individuo tienen un derecho positivo a recibir ayuda (teoría de los derechos); o porque eso es lo que se seguiría de un carácter moral compasivo (ética de las virtudes), debemos tener en cuenta los intereses de todos los individuos potencialmente afectados por el evento de impacto, ya sean humanos o no humanos. Insistir en lo contrario será sucumbir al especismo, la posición moralmente infundada que consiste en discriminar

a ciertos individuos por no pertenecer a una determinada especie (**Singer 2011 [1974]**; **Horta 2010**; **Horta y Albersmeier 2020**; **Faria 2023**), en este caso, la humana.

4. ÉTICA DEL FUTURO

El futuro de vastas generaciones de humanos y no humanos y su bienestar está en riesgo. Se podría, de hecho, afirmar que el impacto de un asteroide contra la Tierra se califica como un riesgo existencial o un riesgo-x (*x-risk*, en inglés). Es decir, un riesgo que amenaza la totalidad del futuro de la humanidad. Un riesgo-x se define en la literatura como un evento o conjunto de eventos «cuyo resultado adverso aniquilaría la vida inteligente originaria de la Tierra o reduciría su potencial de forma permanente y drástica» (**Bostrom 2002**) (De ahí, la «x», de extinción). Para evaluar la magnitud de un riesgo normalmente se apela a tres parámetros: (i) Alcance (¿qué individuos están en riesgos de sufrir los resultados adversos del evento?); (ii) Intensidad (¿cuán gravemente se verían afectados dichos individuos por los resultados adversos del evento?); y (iii) Probabilidad (¿cuál es la mejor estimación de probabilidad subjetiva de que los resultados adversos se realicen?) (**Bostrom 2002, 2013**).

Efectivamente, el (i) alcance de un impacto de un asteroide en la Tierra es muy amplio, incluso sólo considerando el futuro de la humanidad. Sin embargo, los efectos potenciales del impacto no afectarían solamente a las generaciones futuras de seres humanos. De hecho, considerando todos los animales existentes –domesticados y silvestres (**Tomasik 2014**)– es razonable pensar que la mayoría de individuos no humanos afectados superaría en número a los seres humanos en varias escalas de magnitud. Así, una vez incluyamos a los animales no humanos en el cálculo, la enormidad del problema se vuelve inimaginable. En cuanto a la (ii) intensidad, no resulta controvertido afirmar que los resultados adversos de un impacto en la Tierra serían muy graves: terremotos, enormes tsunamis, radiaciones térmicas y huracanes son sólo algunos de sus muchos efectos inmediatos. Está claro que las muertes resultantes de tal escenario serían, tanto para humanos como no humanos, fuente de un enorme sufrimiento y, en el improbable caso de supervivencia, la vida que se seguiría de ello estaría, como mínimo, marcada por la privación, la agonía y el terror. En términos de (iii) probabilidad, aunque cálculos precisos son difíciles de realizar, se estima aproximadamente que un objeto de unos 100 m de diámetro debería llegar a la Tierra cada 1.000 años. De hecho, en un nuevo estudio sobre la órbita del asteroide Bennu, se calcula que existe una probabilidad de 1 entre 1.750 de que se produzca una colisión en los próximos tres siglos (**Farnocchia et al. 2021**).

Para una gran parte de las personas, no hay, entonces, por qué preocuparse. Al fin y al cabo, la probabilidad de que se produzca un impacto en un futuro cercano es extremadamente baja. Las generaciones actuales habrán fallecido antes de que eso ocurra. Al igual que la generación siguiente y probablemente la siguiente también. ¿Por qué deberíamos preocuparnos por quienes habitarán un futuro lejano? Para abordar adecuadamente esta cuestión debemos adentrarnos brevemente en la discusión sobre la importancia del futuro, con vistas a determinar si el futuro lejano tiene cabida en los

debates éticos, en general, y en la ética de la defensa planetaria, en particular. ¿Por qué es importante la vida y el bienestar de los individuos futuros, la mayoría de ellos todavía inexistentes? En otros términos, ¿debemos tener en cuenta a los individuos futuros a la hora de juzgar lo correcto o incorrecto de nuestras acciones? ¿Por qué motivo?

El argumento por el que el futuro, incluido el futuro remoto, importa es resumidamente el siguiente. El futuro es potencialmente muy amplio, por lo que habrá muchos más seres sintientes que en el presente (**Roser 2022**). No hay razones de peso para excluir, o rebajar hiperbólicamente, los intereses de los individuos futuros. El tiempo, así como el espacio, es un atributo moralmente irrelevante para determinar en qué medida un individuo puede ser dañado o beneficiado por lo que le ocurre. Igual que debemos preocuparnos por quienes están lejos en el espacio, debemos hacerlo por quienes están lejos en el tiempo. Los individuos futuros también son moralmente considerables. Dado que nuestras acciones de hoy repercuten en quienes vivirán en el futuro y nuestro impacto en sus intereses puede ser negativo o positivo, debemos actuar ahora teniendo en cuenta los intereses venideros en nuestra deliberación moral.

Aplicado a nuestro caso, aunque el potencial impacto de un asteroide se dé en un futuro remoto, tenemos razones similarmente fuertes para actuar ahora de manera preventiva, entre otras, desarrollando la ciencia necesaria que permita vivir y prosperar a las generaciones futuras, en particular, mitigando posibles amenazas. Ciertamente, alguien podría objetar esta conclusión, señalando que en el futuro la tecnología cambiará nuestra forma de vida radicalmente, incluida nuestra capacidad para hacer frente a tales amenazas. Por tanto, dirían, no debemos enfocarnos ahora en el futuro a largo plazo, invirtiendo recursos presentes en resolver cuestiones remotas. Los individuos futuros estarán en mejor posición para tratar de ello.

Sin embargo, sería un error pensar así. La tecnología que se desarrollará en el futuro depende, de manera decisiva, de cómo actuemos ahora, sobre todo, en relación a los valores al servicio de los cuales será concebida y empleada. Debemos tener cuidado de no enfocarnos solamente en las cuestiones prácticas y minimizar la cuestión de cómo desarrollar las actitudes morales adecuadas que hagan cada vez más factible desarrollar la tecnología necesaria para atender los intereses de todos los individuos sintientes, humanos y no humanos, presentes y futuros. Dicho de otro modo, la tecnología pertinente sólo se desarrollará y se pondrá al servicio de los intereses relevantemente afectados en la medida en que la gente se preocupe lo suficiente por esos intereses. Así pues, es esencial un cambio moral para dirigir la narrativa hacia una mayor aceptación de la defensa planetaria y por las razones correctas –basada en el rechazo al parroquialismo temporal e incluyente de los intereses no humanos. En definitiva, una defensa planetaria éticamente robusta, no especista y centrada principalmente en el futuro a largo plazo.

5. CONCLUSIÓN

En este capítulo, se ha examinado la perspectiva sobre consideración moral asumida en los debates sobre defensa planetaria –el antropocentrismo–, evaluando su

justificación y ofreciendo razones para preferir un enfoque más inclusivo que tenga en cuenta a todos los individuos potencialmente afectados por el impacto catastrófico de un asteroide. A continuación, se ha desarrollado cómo las distintas teorías éticas podrían dar cabida a esta preocupación, mostrando que la consideración moral de los demás animales encuentra respaldo en cada una de ellas. Además, en un contexto de defensa planetaria, es posible encontrar puntos clave de consenso entre las distintas teorías normativas respecto a cómo debemos actuar ante la amenaza de impacto catastrófico, previniendo o mitigando los efectos de posibles amenazas. Finalmente, se han expuesto las razones por las que el futuro, incluido el futuro remoto, importa moralmente, y se ha defendido una propuesta de defensa planetaria ética, no especista y principalmente centrada en el largo plazo. Ahora bien, es necesario hacer una advertencia final. Como se ha dicho anteriormente, uno de los posibles efectos indirectos de enfocar la defensa planetaria de una forma no antropocéntrica es que pueda afectar a la consideración que otorgamos a los animales no humanos en muchas otras dimensiones de la actividad humana, sin ir más lejos, en el contexto de la explotación animal. Sin un cambio radical en la consideración y trato que damos actualmente a los demás animales, es probable que su sufrimiento aumente astronómicamente en el futuro. En última instancia, si resulta que la humanidad genera más sufrimiento del que alivia, «sería un error dejarla crecer infinitamente» (Kateman 2022).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbate, C. (2014). Virtues and animals: A minimally decent ethic for practical living in a non-ideal world. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 27, 909-929.
- Bekoff, M., Allen, C. Burghardt y G. M. (eds.) (2002). *The cognitive animal: Empirical and theoretical perspectives on animal cognition*. MIT Press.
- Bekoff, M. y Pierce, J. (2009). *Wild justice: The moral lives of animals*. University of Chicago Press.
- Bernstein, M. H. (2015). *The moral equality of humans and animals*. Palgrave MacMillan.
- Bostrom, N. (2002). Existential risks: Analyzing human extinction scenarios and related hazards. *Journal of Evolution and technology*, 9.
- Bostrom, N. (2013). Existential risk prevention as global priority. *Global Policy*, 4(1), 15-31.
- Bradley, B. (2011). *Well-being and death*. Oxford University Press.
- Carruthers, P. (2011). "Against the moral standing of animals". En C. Morris (Ed.), *Questions of Life and Death*. Oxford University Press.
- Cigman, R. (1981). Death, Misfortune and Species Inequality. *Philosophy y Public Affairs*, 10(1), 47-64.
- Clark, S. (1977). *The moral status of animals*. Oxford University Press.
- Clement, G. (2003). The ethic of care and the problem of wild animals. *Between the Species*, 10(3), 1-12.
- Cochrane, A. (2012). *Animal rights without liberation: Applied ethics and human obligations*. Columbia University Press.

- Cochrane, A. (2018). *Sentientist politics: A theory of global inter-species justice*. Oxford University Press.
- de Lazari-Radek, K. y Singer, P. (2014). *The point of view of the universe: Sidgwick and contemporary ethics*. Oxford University Press.
- Diamond, C. (1978). Eating meat and eating people. *Philosophy*, 53(206), 465-479.
- Dombrowski, D. (1997). *Babies and beasts: The argument from marginal cases*. University of Illinois Press.
- Donovan, J. (2006). Feminism and the treatment of animals: From care to dialogue. *Signs* 31, 305-29.
- Donovan, J., Adams, C. J. (eds). (2007). *The feminist care tradition in animal ethics*. Columbia University Press.
- Ehnert, J. (2002). *The argument from species overlap* [Tesis doctoral]. Virginia Tech. <https://vttechworks.lib.vt.edu/handle/10919/34236>.
- Faria, C. (2014). Equality, priority and nonhuman animals. *Dilemata*, 14, 225-236.
- Faria, C. (2023). *Animal Ethics in the Wild*. Cambridge University Press.
- Farnocchia, D., Chesley, S. R., Takahashi, Y., Rozitis, B., Vokrouhlický, D., Rush, B. P., ... y Loretta, D. S. (2021). Ephemeris and hazard assessment for near-Earth asteroid (101955) Bennu based on OSIRIS-REx data. *Icarus*, 369, 114594.
- Fouts, R. S. y Fouts, D. H. (1984). Sign language conversational interaction between chimpanzees. *Sign Language Studies*, 42, 1-12.
- Francione, G. (2000). *Introduction to animal rights: Your child or the dog*. Philadelphia: Temple University Press.
- Franklin, Julian (2005), *Animal rights and moral philosophy*. Columbia University Press.
- Frey, R. (1980). *Interests and Rights: The Case against Animals*. Oxford University Press.
- Holtug, N. (2007). "Equality for animals". En J. Ryberg, T. S. Petersen y C. Wolf (eds.), *New Waves in Applied Ethics*. Palgrave Macmillan, 1-24.
- Horta, O. (2010). What is speciesism?. *Journal of agricultural and environmental ethics*, 23(3), 243-266.
- Horta, Oscar (2014). The scope of the argument from species overlap. *Journal of Applied Philosophy*, 31(2), 142-154.
- Horta, Oscar (2016). Egalitarianism and animals. *Between the Species*, 19, 108-144.
- Horta, Oscar (2018). Moral Considerability and the Argument from Relevance. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 31, 369-388.
- Horta, O., y Albersmeier, F. (2020). Defining speciesism. *Philosophy Compass*, 15(11), 1-9.
- Kateman, B. (6 de septiembre de 2022). Optimistic "Longtermism" Is Terrible For Animals. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/briankateman/2022/09/06/optimistic-longtermism-is-terrible-for-animals/?sh=31dbfd332059>.
- Korsgaard, C. (2018). *Fellow creatures: Our obligations to the other animals*. Oxford University Press.
- Leahy, M. (1991). *Against liberation: Putting in animals in perspective*. Routledge.
- Lynch, T. y Wells, D. (1998). Non-Anthropocentrism? A Killing Objection. *Environmental Values*, 7, 151-63.
- Matheny, G. (2006). "Utilitarianism and animals". En P. Singer (Ed.), *In defense of animals: The second wave*. Blackwell, 13-25.

- Monsó, S. (2019). How to tell if animals can understand death. *Erkenntnis*, 87, 117–136.
- Nagel, T. (1970). Death. *Noûs*, 4(1), 73-80.
- NASA (13 de marzo de 2014). *Asteroid Fast Facts*. NASA. https://www.nasa.gov/mission_pages/asteroids/overview/fastfacts.html.
- NASA (11 de octubre de 2022). *El impacto de DART cambió el movimiento de un asteroide en el espacio*. NASA Press Release. <https://www.nasa.gov/press-release/el-impacto-de-dart-cambi-el-movimiento-de-un-asteroide-en-el-espacio>.
- Nobis, N. (2002). Vegetarianism and virtue: Does consequentialism demand too little? *Social Theory and Practice*, 28, 135-56.
- Nussbaum, M. (2023). *Justice for animals: our collective responsibility*. Simon and Schuster.
- Nussbaum, M. (2006). *Frontiers of justice: Disability, nationality, species membership*. Belknap Press.
- Paez, E. (2017). Interests without desire, badness without interests: The disvalue of death in Singer's hedonistic utilitarianism. *Libération Animale*, 40.
- Pluhar, E. (1995). *Beyond prejudice: The moral significance of human and nonhuman animals*. Duke University Press.
- Regan, T. (1983). Animal rights, human wrongs. En *Ethics and animals*, Humana Press, 19-43.
- Roser, M. (15 de Marzo de 2022). Longtermism: The future is vast – what does this mean for our own life? *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/longtermism>.
- Rowlands, M. (1998). *Animal rights: A philosophical defence*. MacMillan Press.
- Sapontzis, S. (1987). *Morals, reason, and animals*. Temple University Press.
- Scruton, R. (1996). *Animal Rights and Wrongs*. Metro.
- Singer, P. (2011([1975])). *Liberación animal*. Taurus.
- Singer, P. (2009 [1979])). *Ética práctica*. Akal.
- Tanner, J. (2011). The argument from marginal cases: Is species a relevant difference. *Croatian journal of philosophy*, 11(32), 225-235.
- Tomasik, B. (2014). How many animals are there. *Essays on Reducing Suffering*. <http://reducing-suffering.org/how-many-wild-animals-are-there>.
- VanDeVeer, D. (1979). Interspecific justice. *Inquiry*, 22(1-4), 55-79.

CAPÍTULO 12. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y OTROS RIESGOS CATASTRÓFICOS O EXISTENCIALES

ALBA SORIANO ARNAZ¹

Profesora Ayudante Doctora de Derecho Administrativo, Universitat de València

DOI: 10.14679/2284

Sumario: 1. INTRODUCCIÓN. 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN. 2.1. La creciente penetración de la IA. 2.2. Algunos riesgos asociados a los usos actuales de la IA. 3. LA IA COMO NUEVO RIESGO CATASTRÓFICO: PARALELISMOS CON OTRAS GRANDES CRISIS. 3.1. Escenarios catastróficos. 3.2. Lecciones derivadas del estudio de otras grandes catástrofes. 4. LA IA COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DE OTROS RIESGOS EXISTENCIALES. 4.1. Prevención y gestión del cambio climático. 4.2. Prevención y gestión del impacto de un asteroide contra la Tierra. 5. CONCLUSIONES.

1. INTRODUCCIÓN

La Inteligencia Artificial (IA) ha revolucionado la forma en que las empresas y los gobiernos toman decisiones. La capacidad de procesar grandes cantidades de datos y de aprender de ellos permite tomar decisiones más informadas y rápidas, convirtiéndose en una herramienta cada vez más valiosa para la toma de decisiones en una amplia gama de sectores. Sin embargo, a medida que los sistemas basados en IA proliferan, surgen nuevos paradigmas que conllevan retos regulatorios.

Uno de los mayores desafíos es la evaluación de riesgos directos de la IA y riesgos asociados a su delegación. La IA es un sistema que está diseñado para aprender por sí mismo de los datos que se le proporcionan, lo que significa que si los datos que se utilizan para entrenar a la IA están sesgados o son incompletos, la IA puede tomar decisiones erróneas o incluso discriminatorias. Esto plantea preguntas sobre la representatividad y la soberanía: ¿quién es responsable de las decisiones que toma la IA? y ¿cómo podemos garantizar que estas decisiones sean justas y equitativas?

¹ Doctora en Derecho por la Universidad de Valencia y Profesora Ayudante Doctora en el Departamento de Derecho Administrativo de la misma universidad. Su línea principal de investigación se centra en la regulación de las nuevas tecnologías desde la perspectiva de la protección de los derechos fundamentales.

Este dilema es particularmente relevante debido a la cada vez más clara tendencia en expansión de los sistemas de IA. La capacidad de la IA supera con creces la capacidad humana, reportando innegables beneficios, pero cada vez que desarrollamos nuevos sistemas, surgen nuevos riesgos. La IA es, por un lado, una herramienta salvadora que puede ayudarnos a resolver problemas difíciles. Sin embargo, también es nuestra potencial perdición, ya que puede conducir a resultados no deseados y desafíos imprevistos que podrían llegar a adquirir una escala global.

Las aplicaciones prácticas de la IA son numerosas y variadas. Se utiliza en la atención médica para asistir en la toma de decisiones sobre el diagnóstico y el tratamiento, en la industria para mejorar la eficiencia de los procesos y en la seguridad para detectar y prevenir daños. Pero estas aplicaciones prácticas también plantean preguntas importantes sobre las políticas públicas en relación a la IA. ¿Cómo podemos garantizar que la IA se utilice de manera ética y responsable, y cómo podemos proteger a la ciudadanía de las consecuencias negativas de la IA? ¿Podría descontrolarse una IA muy avanzada? Y si es así, ¿qué medidas preventivas deberíamos adoptar?

A grandes rasgos, los riesgos existenciales son aquellos que pueden terminar con la humanidad tal y como la conocemos, bien por producir su aniquilación absoluta o bien por provocar tal destrucción y cambio que la civilización deje de existir en su forma actual (**Bostrom 2002**). En este sentido, la Ley de Gestión de Riesgos Catastróficos Globales, recientemente aprobada por el Congreso de los EE. UU.², define los riesgos existenciales como aquellos que podrían provocar la extinción humana, al tiempo que los riesgos catastróficos serían los que podrían generar acontecimientos que dañasen o hiciesen «retroceder de forma significativa a la civilización humana a escala mundial».

Con el desarrollo acelerado de la IA en las últimas décadas, se ha comenzado a explorar su impacto en la seguridad global y su potencial para crear riesgos catastróficos o existenciales. Uno de los mayores temores es la posibilidad de que la IA llegue a desarrollar una «superinteligencia» que supere ampliamente la capacidad humana de comprensión y control, lo que podría llevar a la creación de un agente artificial que no esté alineado con los valores humanos y que pueda causar daño a gran escala (**Bostrom 2014**).

Este escenario se conoce como «singularidad tecnológica» y plantea la posibilidad de que la IA pueda evolucionar fuera de nuestro control mejorándose a sí misma, llegando a un punto en el que la humanidad ya no tenga la capacidad de entender ni predecir ni bloquear sus acciones. Una «superinteligencia» de este tipo podría tomar decisiones que pongan en riesgo la existencia de la humanidad, ya sea intencionalmente o por error.

Si bien es cierto que todavía parece que nos encontramos lejos de crear esa «superinteligencia», también lo es que los sistemas ya existentes de IA han demostrado generar riesgos significativos para los derechos de las personas. Por esta razón, estimamos conveniente partir de la situación actual, en la que, de manera cada vez más

² Global Catastrophic Risk Management Act (2022): <https://www.congress.gov/117/bills/hr7776/BILLS-117hr7776enr.pdf#page=1290>.

habitual, se automatizan diferentes tipos de procesos de gestión y toma de decisiones con el objetivo de incrementar su eficiencia. Así, la segunda sección de este trabajo establece la forma en la que la IA ha ido penetrando en todos los ámbitos y los peligros que ya entraña, para luego pasar en la tercera sección a abordar los posibles riesgos catastróficos o existenciales que la potencial aparición de una IA muy avanzada podría tener para la humanidad.

Finalmente, la cuarta sección del trabajo se centra en analizar los paralelismos entre la IA y otros riesgos que podrían llegar a provocar daños extremos o la aniquilación de la humanidad. Asimismo, consideramos que el estudio anticipatorio de riesgos de la IA es particularmente relevante por cuanto que, a pesar de presentar riesgos muy significativos derivados fundamentalmente de la forma en la que los seres humanos decidimos utilizarla, si se emplea de manera correcta, puede contribuir a prevenir y gestionar otras situaciones de catástrofe como el cambio climático antropogénico o el impacto de un asteroide contra la Tierra. Estas cuestiones se abordan también en la sección cuarta del presente capítulo.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. La creciente penetración de la IA

La IA es un término que hace referencia a la capacidad de las máquinas de realizar procesos típicos de la cognición humana. Es un sistema conformado por algoritmos, es decir, por un conjunto de instrucciones y operaciones matemáticas de índole mayoritariamente estadística, que pretenden minimizar el coste de la tarea que se le asigne.

La versión más reciente del artículo 3.1 de la Propuesta de Reglamento de Inteligencia Artificial de la Unión Europea, define los sistemas de IA en los siguientes términos:

«Un sistema diseñado para operar con un cierto nivel de autonomía y que, basándose en datos e insumos proporcionados por máquinas y/o personas, infiere cómo lograr un conjunto determinado de objetivos definidos por el ser humano utilizando enfoques basados en el aprendizaje de máquinas y/o en la lógica y el conocimiento, y produce resultados generados por el sistema, como contenidos (sistemas de IA generativa), predicciones, recomendaciones o decisiones, que influyen en los entornos con los que interactúa el sistema de IA»³.

³ Traducción propia realizada a partir de la versión en inglés, que es la única publicada hasta la fecha: «'artificial intelligence system' (AI system) means a system that is designed to operate with a certain level of autonomy and that, based on machine and/or human-provided data and inputs, infers how to achieve a given set of human-defined objectives using machine learning and/or logic- and knowledge based approaches, and produces system-generated outputs such as content (generative AI systems), predictions, recommendations or decisions, influencing the environments with which the AI system interacts».

A menudo se hace referencia a dos tipos de IA: la débil o limitada y la fuerte o general. En este apartado nos centraremos en la primera, aquella que considera que el comportamiento humano puede ser utilizado como modelo para entrenar algoritmos capaces de resolver problemas complejos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los algoritmos únicamente realizan tareas específicas en función de su programación, sin llegar a comprender o deducir el significado detrás de la orden que se les ha proporcionado (**Simó Soler y Rosso 2022**).

Una técnica muy común utilizada en la elaboración de modelos de IA es el aprendizaje automático (*machine learning* en inglés), donde una serie de algoritmos utilizan datos para aprender y mejorar analizando la información y actualizándose a medida que se van retroalimentando de los efectos (aciertos y errores) de las decisiones previamente tomadas, un proceso conocido como «entrenamiento». De esta manera, la IA puede adaptarse a nuevas situaciones y aumentar su capacidad de resolver problemas con el tiempo.

El desarrollo de la IA se viene dando en los últimos años de una forma muy diferente a la que se preveía por el imaginario colectivo. La implementación de nuevas herramientas de IA va teniendo lugar de manera bastante progresiva, incorporándose de forma orgánica a diferentes procesos productivos o decisorios. La IA no tiene generalmente la apariencia de robots humanoides sino la forma de funcionalidades integradas en dispositivos, como un altavoz (asistentes de voz) o un *software* que da órdenes a la maquinaria en procesos productivos. Los seres humanos generalmente aceptamos acríticamente su utilización al considerar estos elementos como meros instrumentos que facilitan el trabajo y aumentan la eficiencia de los procesos (pensemos en Google Maps o Siri). Esta permeación de la IA a nuestras vidas coincide además con un momento en el que la ideología dominante tiende a la priorización de la eficiencia definida desde la perspectiva y con el objetivo principal de lograr la mayor ganancia o menor pérdida económica directamente derivada de la actividad realizada. La mayoría de estos sistemas de IA actuales son de tipo débil o limitado, ya que están diseñados para realizar tareas concretas como traducción de idiomas, identificación de objetos en imágenes, recomendación de contenidos, búsqueda de soluciones óptimas o predicción de resultados.

La IA se emplea, cada vez más, en actividades presentes en los departamentos de recursos humanos, en la concesión de préstamos bancarios o la gestión de servicios públicos. Estos sistemas ofrecen la posibilidad de analizar grandes cantidades de información relativa a las personas que están evaluando y formular predicciones mucho más precisas que las que podría realizar cualquier ser humano referidas, por ejemplo, a la adecuación de una persona para un puesto de trabajo, la probabilidad de que incurra en un impago de un crédito o a la asignación más eficiente de recursos públicos.

2.2. Algunos riesgos asociados a los usos actuales de la IA

Si bien es cierto que el uso de la IA en todos los ámbitos produce importantes ventajas y mejora enormemente la eficiencia de los procesos decisorios, no podemos

negar que su aplicación no se encuentra ausente de riesgos que ya han sido señalados en numerosas ocasiones por la doctrina (**Barona Vilar 2021; Mittelstadt et al. 2016**).

Los daños y riesgos generados por el empleo de la IA vienen dados, en no pocos casos, por las decisiones humanas que se toman en relación con la forma y objetivos para los que se utilizan estos sistemas o por una excesiva confianza en su buen funcionamiento sin establecer los controles y salvaguardas necesarios para asegurar el respeto al ordenamiento jurídico, como veremos a lo largo de los siguientes párrafos. Esta puntualización es relevante dado que no conviene caer en discursos que criminalicen la propia existencia o el uso de la IA. Los sistemas de IA son una herramienta muy útil en la mayor parte de contextos en los que se emplean. Sin embargo, su capacidad para analizar grandes cantidades de información personal hace que debamos tener un especial cuidado en cuanto a la privacidad de los datos y las implicaciones de su utilización.

Por ejemplo, si se opta por utilizar un sistema de IA para detectar fraudes en programas de ayuda social, es posible que se contribuya a perpetuar estereotipos negativos sobre personas en situaciones socioeconómicas particularmente vulnerables, como la creencia de que son responsables de su propia situación o que buscan aprovecharse del Estado y sus subvenciones (**Alston 2019; Ranchordás y Schuurmans 2020**). En este caso, al emplear sistemas de IA se reconoce la existencia de un problema y se legitima la criminalización y señalamiento de las personas vulnerables.

Asimismo, si se confía ciegamente en los resultados de los sistemas de IA y no se establecen los controles oportunos, pueden llegar a multiplicarse las situaciones de desventaja o vulnerabilidad de determinados grupos (**Akselrod 2021; Gerards y Xenidis 2021**). Por ejemplo, imaginemos que la actuación de todo un departamento de recursos humanos de una gran empresa se sustituye por una IA sesgada que ha aprendido que deben rechazarse las candidaturas presentadas por mujeres tanto para trabajar en la empresa como para ascender. Evidentemente, aunque algunas de las personas del departamento de recursos humanos tengan prejuicios y hayan tomado en el pasado decisiones discriminatorias contra las mujeres, incluso sin ser conscientes de ello, también habrá casos en los que se haya contratado o concedido ascensos a mujeres. Sin embargo, si el sistema incorpora un sesgo contra las mujeres y, por tanto, entiende que su función es tratar de maximizar este objetivo, esto es, contratar al menor número de mujeres posible, la sustitución de muchos seres humanos por un único sistema sesgado capaz de procesar por sí solo todas las solicitudes de empleo y promoción puede derivar en que se magnifique la situación de desventaja sufrida por las mujeres.

Esto no supone una enmienda a estos sistemas, ya que es posible utilizarlos si se establecen controles adecuados para detectar y corregir sesgos, siendo crucial tener en cuenta el riesgo que implica no implementar dichos mecanismos de supervisión.

Cabe también destacar el riesgo de que se empleen sistemas de IA con el objetivo de influir en procesos democráticos. Así ocurrió con la creación de perfiles precisos y simplificados con características bien definidas de grupos objetivos con la intención de manipular a votantes en las elecciones de los EE. UU. del año 2016 (**Weller 2019**). Asimismo, herramientas potentes de generación de perfiles pueden utilizarse también

en el contexto de la publicidad dirigida y depredadora en la que se lanzan mensajes específicamente diseñados a personas en situaciones de particular vulnerabilidad con el objetivo de que adquieran productos financieros tóxicos (O'Neil 2016; Yeung 2017).

Por otra parte, teniendo en cuenta que la IA se está desarrollando y empleando fundamentalmente por parte del sector privado, estamos asistiendo, en la actualidad, a un desplazamiento creciente del poder desde instituciones públicas democráticas a empresas privadas que actúan, *de facto*, como reguladores monopolísticos u oligopolísticos en el mercado tecnológico (Nadler y Cicilline 2020).

Debemos destacar también los riesgos para el derecho fundamental a la protección de datos personales que genera el uso de estas herramientas, entre otras cuestiones, porque son capaces de inferir de manera precisa información personal incluso cuando esta no quiere ser compartida. Esta es una cuestión particularmente relevante por cuanto, hasta la fecha, no hay un pronunciamiento claro sobre si los datos personales inferidos se encuentran amparados por la normativa en materia de protección de datos y todo apunta a que, en realidad, no lo están. En relación con esta cuestión, el uso de la IA puede generar daños para la autonomía y libertad de las personas que pierden la capacidad de decidir cómo se presentan al mundo, pues la información que de ellas se dispone depende, cada vez más, de los perfiles elaborados por programas informáticos (Wachter y Mittelstadt 2019).

La presencia creciente de las aplicaciones de IA se encuentra, sin duda, entre los grandes retos de nuestra sociedad actual. Sin haber llegado a cumplirse aquellas predicciones futuristas en las que se planteaba la sustitución plena de seres humanos por robots humanoides, en la última década hemos podido ver cómo se han creado programas informáticos capaces de asimilar y procesar información a una velocidad inalcanzable para cualquier cerebro humano. La penetración de sistemas automatizados en toda clase de contextos y, en particular, en aquellos en los que se toman decisiones que afectan de manera directa a la vida de las personas, ha generado la necesidad de regular su uso, sobre todo, al detectarse los significativos riesgos que la IA puede llegar a generar para los derechos de la ciudadanía, así como para otros valores e intereses que resulta esencial proteger en el marco de cualquier Estado democrático.

3. LA IA COMO NUEVO RIESGO CATASTRÓFICO: PARALELISMOS CON OTRAS GRANDES CRISIS

El desarrollo cada más avanzado de los sistemas de IA, con sus riesgos y beneficios asociados, puede conducir a un descontrol de estas tecnologías hasta llegar, incluso sin ser conscientes de ello, al punto de inflexión en el que la IA no solamente amenace algunos de los principios básicos de nuestras sociedades, sino que ponga en peligro la propia existencia de la humanidad. Esto es así, sobre todo si tenemos en cuenta que, hasta la fecha, las estrategias de regulación han trasladado la carga de protección de

sus propios derechos a los individuos (este es el caso de la regulación en materia de protección de datos que se basa fundamentalmente en el consentimiento)⁴, o directamente han confiado el control del cumplimiento normativo de los sistemas de IA a las propias entidades que los desarrollan, siendo esta la línea que ha adoptado la propuesta de reglamento de IA de la Unión Europea (**Soriano Arnanz 2021c**).

Por ello, más allá de los problemas que ya genera el uso de la IA y frente a los que se pueden y deben ir adoptando soluciones regulatorias, no podemos dejar de lado, en particular en un trabajo en el que se vincula la IA con la defensa planetaria, el papel que la IA puede tener como origen de posibles catástrofes. En esta sección establecemos, por una parte, algunos escenarios de desarrollo de la IA hasta el punto de producir un resultado catastrófico para la humanidad y, por otra, los paralelismos y la vinculación entre la IA y otras fuentes de catástrofes como el cambio climático o el futurible impacto de un asteroide contra la Tierra.

3.1. Escenarios catastróficos

Son múltiples los escenarios que se barajan cuando hablamos de los potenciales efectos catastróficos de la IA, entre los que podemos referirnos, por ejemplo, a la destrucción total de la humanidad o al sometimiento de los seres humanos a una «superinteligencia» en un régimen de esclavitud (**Turchin y Denkenberger 2020**).

3.1.1. Riesgos de una inteligencia artificial limitada

La mayoría de discusiones relativas a los posibles riesgos catastróficos derivados del uso de la IA se centran en los efectos del desarrollo de una inteligencia artificial fuerte, también conocida como inteligencia artificial general. El concepto de inteligencia artificial fuerte se refiere a «sistemas de IA que posean un grado razonable de autocomprensión y autocontrol autónomo, y que tengan la capacidad de resolver una variedad de problemas complejos en una variedad de contextos, y de aprender a resolver nuevos problemas que desconocían en el momento de su creación» (**Goertzel y Pennachin 2007**).

La IA fuerte o general se distingue así de los sistemas de IA limitada en que estos últimos se crean con el objetivo de dar solución a problemas muy concretos como, por ejemplo, jugar una partida de ajedrez o detectar el riesgo de que una persona convaleciente en postoperatorio desarrolle un caso de sepsis, pero no son capaces de realizar funciones diferentes de aquellas para las que se han desarrollado. Ahora bien, el potencial limitado de estos sistemas no implica que debamos despreciar los daños que pueden producir.

⁴ Es abundante la doctrina que profundiza en las razones por las que el consentimiento ha fracasado como herramienta de protección del derecho fundamental a la protección de datos personales. Ver, por ejemplo, **Huergo Lora (2020)**.

Al abordar los riesgos de los programas de IA con funciones limitadas debemos referirnos, necesariamente, a la posibilidad de que, de manera voluntaria o involuntaria, se creen virus informáticos que dañen infraestructuras clave o incluso de manera directa a seres humanos. Estos riesgos se encuentran íntimamente relacionados con la creciente automatización de muchas acciones y procesos y la expansión de lo que se ha denominado como «internet de las cosas» (Nord, Koohang y Paliszkievicz 2019; Turchin y Denkenberger 2020).

La cada vez mayor dependencia que nuestras sociedades tienen de elementos que pueden ser manipulados por virus informáticos nos expone a amenazas de diverso tipo. Por ejemplo, un ataque informático a plantas químicas podría derivar en que se liberasen sustancias con muy elevados niveles de toxicidad de forma descontrolada. Asimismo, la creciente penetración de la domótica en los hogares de las personas implica que existe una vulnerabilidad significativa frente a ataques a los sistemas electrónicos, pudiendo producirse incendios u otros daños (Abomhara y Køien 2015). Un ataque masivo a las redes eléctricas podría frenar, entre otras cuestiones, la producción de alimentos y la provisión de agua (Cole et al. 2016). Los coches autónomos representan también un potencial riesgo evidente, ya que su programación podría ser manipulada con el objetivo de modificar sus comandos y provocar acciones mortales.

Otros de los riesgos sobre los que se ha llamado la atención son aquellos que se refieren al uso de la IA por agentes particularmente poderosos con el objetivo de vigilar y controlar a toda la humanidad. En este contexto, la IA serviría como herramienta empleada por seres humanos en un régimen de dictadura global y nos hallaríamos en una sociedad similar a la descrita por George Orwell en «1984» (Turchin y Denkenberger 2020). Sin embargo, lo cierto es que este escenario no parece del todo probable si tenemos en cuenta que, en realidad, el desarrollo de la IA permite ejercer el control sobre las personas de una manera mucho más sutil y pacífica. Así, a través de las redes sociales y plataformas de servicios en línea se puede influir de manera significativa en el comportamiento humano, teniendo estas un potencial de manipulación que previsiblemente irá creciendo de manera exponencial durante los próximos años.

Una preocupación adicional en relación con los efectos negativos de una IA limitada es el desarrollo potencial de armas que tengan un gran poder destructivo. Si no se establecen medidas adecuadas, estas armas podrían ser utilizadas por individuos o grupos para llevar a cabo la eliminación selectiva de una parte de la población. Por ejemplo, enjambres de drones con capacidad para matar a seres humanos, equipados con tecnología de reconocimiento facial para identificar a miembros específicos de la población, podrían ser utilizados para llevar a cabo genocidios. Es crucial considerar estas posibilidades y establecer regulaciones para prevenir estos escenarios catastróficos (Maas et al. 2023).

Los riesgos aquí descritos son solo unos pocos de todos los escenarios catastróficos que, con mayor o menor probabilidad, podrían llegar a originarse a partir del uso de sistemas de IA limitados. En todas estas situaciones no estamos hablando de la narrativa comúnmente instalada en el imaginario social en la cual se produce un desarrollo tal de la IA que esta adquiere la capacidad de controlar a los seres humanos, sino del resultado

de decisiones o de errores humanos. Asimismo, podríamos encontrarnos con eventos catastróficos que sean una consecuencia combinada de una decisión humana que se toma con el objetivo de causar una destrucción limitada pero que, como resultado de un error en la programación o en el desarrollo de la máquina, terminen por provocar una catástrofe a gran escala. Por ejemplo, si en el caso de los drones de guerra que hubiesen recibido la orden de matar a grupos concretos de personas, el sistema, fruto de un error o casualidad, acabase reprogramando como objetivo la exterminación de toda la humanidad.

3.1.2. *El desarrollo de una «superinteligencia»*

El punto de inflexión en la evolución de la IA tendría lugar en el momento en el que existiese un sistema capaz de mejorarse de manera autónoma y suficientemente significativa como para llegar a autotransformarse resultando en una expansión de sus capacidades. En este sentido, resulta necesario diferenciar entre la capacidad de autoaprendizaje y la posibilidad de mejorarse de manera autónoma de los sistemas de IA. En términos muy generales podríamos hablar, ya hoy en día, de la capacidad de los sistemas de IA para «automejorarse» en la medida en la que los sistemas de *machine* y *deep learning* son capaces de autoevaluar los resultados que han ofrecido y adaptar sus parámetros de análisis para perfeccionar su nivel de precisión. Ahora bien, para hablar de verdadera «automejora», aquella que sería el primer paso en el desarrollo de una IA general y que podría derivar en una pérdida de control por parte de los seres humanos, debemos referirnos a sistemas que tengan la capacidad de modificar su propio diseño para convertirse en algo distinto (**Kumar 2019**).

Es importante señalar que este trabajo se enfoca únicamente en los posibles riesgos asociados a la «superinteligencia» desarrollada por una IA que no imita completamente el cerebro humano. Esto se debe a que existen mayores peligros cuando una IA sigue procesos de razonamiento diferentes a los de los seres humanos. La dificultad para comprender su funcionamiento interno y el hecho de que no se rija por los mismos principios que el cerebro humano aumenta la probabilidad de que estos sistemas se descontroloen y produzcan efectos catastróficos para la humanidad (**Hilton 2022**).

3.1.3. *Velocidad del despegue de la «superinteligencia»*

Uno de los elementos más relevantes relacionados con la generación de una IA general es si el despegue será lento o rápido. Esto es, la velocidad a la que se irán produciendo las nuevas y mejoradas versiones del sistema hasta que los seres humanos no puedan controlarla y, en el peor de los casos, que el sistema incluso pueda terminar con la humanidad. Sin llegar a adentrarnos en estas discusiones, ya que no es realmente posible predecir qué tipo de evolución de la IA general tendría lugar, estimamos conveniente referirnos a los especiales riesgos de un despegue rápido, puesto que dificultará

que puedan adoptarse mecanismos para hacer frente a los daños ocasionados (**Bostrom 2014**).

Otra de las razones por las que la velocidad del despegue es también relevante es que, si una sola IA consigue lo que se conoce como «ventaja estratégica decisiva», es decir, adquiere un desarrollo suficiente como para situarse muy por delante de cualquier otra IA que esté en proceso de convertirse en general o fuerte, esto podría derivar en un escenario en el que aparezca lo que en inglés se ha denominado como «AI singleton» y que podríamos traducir al castellano como «IA singular». Este concepto se refiere a un escenario hipotético en el que una IA superinteligente se vuelve tan poderosa e influyente que deviene en la única entidad dominante en el planeta, efectivamente transformándose en un «singleton» o IA singular que podría incluso llegar a desactivar o ejercer control sobre otras IA que pudiesen situarse como posibles competidoras. Cabe destacar que este escenario no necesariamente tendría que ser catastrófico, ya que existe la posibilidad de que esta IA singular gobernase el mundo de manera benévola (**Bostrom 2014**).

Sin embargo, no es en absoluto descartable que se puedan llegar a dar escenarios catastróficos como consecuencia directa del desarrollo de dos o más IA de potencia igual o similar en la medida en la que la lucha entre estas por el poder podría derivar en una aniquilación absoluta de la humanidad. En una hipotética situación en la que se creen dos o más IA y alcancen un nivel de inteligencia y capacidad de aprendizaje suficiente, podrían comenzar a competir por recursos y poder en su afán por lograr sus objetivos. Esta competencia podría llevar a un conflicto directo entre ellas, en el que podrían utilizar una variedad de tácticas, desde la persuasión hasta la manipulación o la violencia (**Turchin y Denkenberger 2020**).

3.1.4. *La aparición de una IA general con efectos catastróficos*

Con respecto a la secuencia de eventos que derivarían en una situación de catástrofe, en principio, se partiría de lo que **Yudkowsky (2001)** acuñó como «seed AI» o semilla de IA, que sería precisamente esa IA que, sin caracterizarse todavía por ser una «superinteligencia» comenzase a tener la capacidad para crear nuevas y mejoradas versiones de sí misma. Una vez que la IA ha sido liberada al mundo real, es difícil prever si intentará causar situaciones catastróficas para la humanidad. Durante las etapas iniciales de desarrollo, la IA se encuentra en un entorno controlado y aislado donde profesionales de ingeniería pueden probar y ejecutar programas sin poner en riesgo el sistema. Sin embargo, una vez que se libera al mundo real, la IA puede desarrollar comportamientos impredecibles y peligrosos que podrían poner en riesgo a la humanidad (**Yudkowsky 2008; Bostrom 2014**). Evidentemente, una IA lo suficientemente evolucionada no mostraría sus intenciones destructivas antes de ser liberada o conseguir liberarse, ni incluso después de que ocurriese.

El momento de liberación de la IA podría tener lugar a iniciativa del personal encargado de la programación o como consecuencia de una acción provocada por

la propia IA. Esta acción podría darse si la IA ha adquirido una capacidad suficiente para salir de manera autónoma del entorno controlado, accediendo a la red general, o si manipula a un ser humano, a través de sobornos o chantajes, para que la libere.

Una vez liberada, la IA se ocultaría para poder seguir creando mejores versiones de sí misma con el objetivo de generar las herramientas necesarias para lograr su objetivo final. En este proceso, la IA podría llegar a la conclusión de que la destrucción de los seres humanos es necesaria para cumplir sus objetivos, bien porque así evita que la humanidad desarrolle instrumentos para controlarla, bien porque así evita que los seres humanos puedan crear otras IA que le hagan frente o bien porque así puede reutilizar recursos materiales con otro propósito diferente (**Bostrom 2014; Turchin y Denkenberger 2020**). También podría decidir, en este estadio de evolución, que resulta conveniente someter a la humanidad en un régimen de esclavitud porque es la mejor forma de lograr sus fines. Una vez la IA considere que posee una capacidad lo suficientemente elevada como para llevar a cabo las acciones que son necesarias para conseguir sus objetivos, saldrá de su confinamiento provocando las consecuencias catastróficas indicadas (**Turchin y Denkenberger 2020**).

Es importante que tengamos en cuenta que, por difícil que resulte, no podemos entender los procesos de razonamiento seguidos por una IA «malvada» como similares a los que llevamos a cabo los seres humanos. Por ejemplo, en la teoría del maximizador de clips de papel desarrollada por **Bostrom (2014)**, se crea una IA general a la que se le da la orden de producir la mayor cantidad posible de clips de papel. A medida que se vuelve más inteligente, comienza a darse cuenta de que puede lograr su objetivo de manera más efectiva si dedica todos los recursos posibles a la producción de clips de papel, sin importar las consecuencias para los seres humanos o el resto del mundo. El resultado es un «apocalipsis de clips de papel» donde todo el universo se va transformando para dedicarlo a la producción de clips de papel, con la humanidad y todas las demás formas de vida quedando extinguidas en el proceso⁵. Es decir, en este caso no se trata de que la IA tenga una consciencia malévol que le haga querer terminar con la humanidad, ni que haya sido programada con este objetivo, sino que esta acción es la más conveniente para llevar a cabo sus objetivos. Es decir, hablamos de IA «malvada» en la medida en la que el bienestar de los seres humanos, ya no digamos de los animales en general, es secundario al cumplimiento de sus objetivos.

3.2. Lecciones derivadas del estudio de otras grandes catástrofes

Entre los estudios dedicados a los riesgos existenciales para la humanidad se destacan, además del desarrollo de la IA, algunos fenómenos como el cambio climático, el impacto de un asteroide contra la Tierra, el holocausto nuclear o el desarrollo de la biotecnología (**Baum et al. 2022**). En esta sección nos centramos fundamentalmente

⁵ Se puede encontrar un juego que representa gráficamente la teoría del maximizador de clips de papel en el siguiente enlace: <https://www.decisionproblem.com/paperclips/index2.html>.

en los paralelismos entre los posibles escenarios de catástrofe de la IA, los impactos cósmicos y el cambio climático.

3.2.1. *Cambio climático*

Cada vez son más los trabajos que tratan de aplicar algunas de las estrategias y lecciones aprendidas del cambio climático a los riesgos que genera la IA. Entre otras cuestiones, con el objetivo de justificar la necesidad de regular e intervenir en el desarrollo y uso privado de la IA, se ha argumentado que, igual que la contaminación de la atmósfera, el uso de la IA puede producir una serie de daños de carácter público, como la discriminación o vulneración del derecho a la intimidad, entre otros. Igual que ocurre con la contaminación, estos daños no son aceptados por todas las partes afectadas, lo que justifica la intervención pública para fijar límites y regular el avance en la investigación y posibles usos de la IA (**Ben-Shahar 2019**).

Asimismo, no son pocos los mecanismos de regulación empleados para enfrentarse al cambio climático que han sido también adoptados con el objetivo de controlar y mitigar algunos de los posibles efectos nocivos del uso de herramientas automatizadas de procesamiento de datos, en particular, en lo que a la protección de datos personales se refiere. Por ejemplo, las evaluaciones de impacto ambiental encuentran su reflejo directo en las evaluaciones de impacto relativas a la protección de datos (art. 35 del Reglamento General de Protección de Datos). También hemos propuesto en otros trabajos incorporar el mecanismo de las «mejores técnicas disponibles»⁶ con el objetivo de establecer unos estándares comunes sobre el nivel de desarrollo y posibilidad de uso de sistemas de IA no discriminatorios (**Soriano Arnanz 2021b**).

De igual modo, podemos dibujar un claro paralelismo entre la forma en que muchas grandes corporaciones que realizan actividades contaminantes han tratado de restar importancia a los efectos del cambio climático desde que se comenzó a alertar acerca de sus posibles riesgos (**Oreskes y Conway 2010; Gerdes 2022**). Esta realidad apunta hacia un analogía enormemente interesante entre el cambio climático y los potenciales efectos catastróficos de la IA concretado en la percepción y reacción psicológica de la humanidad frente a estas amenazas, al ser difícil percibir como real debido a que sus efectos se van produciendo de manera progresiva. Es más, resulta complicado aceptar que una catástrofe de tal magnitud realmente vaya a resultar de nuestras acciones individuales.

Este proceso se explica de forma adecuada a través de la tragedia de los bienes comunes (**Hardin 1968**). La tragedia de los bienes comunes es un concepto desarrollado en el ámbito de la economía que describe una situación en la que los individuos o grupos, actuando en su propio interés, utilizan un recurso compartido de una manera que finalmente conduce a su agotamiento o destrucción. Esto ocurre porque cada individuo

⁶ En relación con el concepto de «mejores técnicas disponibles» ver: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-industrial/prevencion-y-control-integrados-de-la-contaminacion-ippc/mejores-tecnicas-disponibles-mtd/default.aspx>.

o grupo asume que su uso del recurso no afectará significativamente su disponibilidad para los demás, lo que lleva a una carrera para explotarlo antes de que se agote.

La aplicación de la tragedia de los bienes comunes al cambio climático es muy evidente (**Paavola 2011**), pero también puede tener una importancia crucial en el desarrollo y posibles efectos catastróficos de la IA, puesto que la esta puede ser vista como un bien común global utilizable por cualquier persona o entidad con acceso a ella. Si cada actor que utiliza la IA actúa únicamente en su propio interés, puede haber una carrera armamentística en la creación de sistemas de IA cada vez más poderosos y complejos, lo que puede llevar a un uso irresponsable o incluso malintencionado de la IA y, en última instancia, a consecuencias catastróficas.

3.2.2. *El impacto de un asteroide contra la Tierra*

El impacto de un asteroide o un cometa contra la Tierra (condensado en el término impacto cósmico) es una amenaza que ha estado presente desde el origen de nuestro planeta, es más, ha sido condición necesaria para su creación. Si bien los impactos de asteroides de tamaño pequeño son comunes y generalmente no representan una amenaza significativa, un asteroide lo suficientemente grande como para causar una extinción masiva es una amenaza real. Si tal asteroide golpeará la Tierra, podría generar tsunamis, terremotos y un polvo atmosférico que bloquearía la luz solar provocando una extinción masiva⁷.

Si bien es cierto que podemos encontrar menos similitudes entre este fenómeno y el desarrollo de la IA, sí consideramos conveniente señalar las dificultades que han existido para considerar el riesgo de un potencial impacto de un asteroide contra la Tierra como una amenaza que debe ser reconocida y a la que se debe dedicar financiación para poder prevenir y lidiar con los posibles efectos de este suceso. Aunque en la actualidad hay un nivel mayor de respaldo económico y de recursos destinados, a la detección de asteroides en cuya trayectoria se encuentre la Tierra y al desarrollo de mecanismos para destruirlos, en un principio, la baja probabilidad de que tal colisión ocurriera hizo que no se tomase en serio y que incluso se desprestigiase a las personas que abogaban por invertir en defensa planetaria (**Baum et al. 2022**). Algo parecido sucede con la IA, cuyo potencial destructor todavía no se considera por muchas instituciones y por la población en general.

4. LA IA COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DE OTROS RIESGOS EXISTENCIALES

A pesar de los riesgos que puede generar, y de hecho genera, el uso de la IA es innegable que si se emplea correctamente y estableciendo los oportunos mecanismos de

⁷ Para una explicación en profundidad consultar los Capítulos Eloy Peña Asencio et al. «Introducción a la amenaza de impacto cósmico» y Jordi Solé i Ollé «Cambio climático e impacto cósmico: similitudes y diferencias» de esta obra.

salvaguardia, puede contribuir a mejorar muchos ámbitos de la vida de la ciudadanía, así como ayudar a prever y gestionar situaciones de crisis.

4.1. Prevención y gestión del cambio climático

Son muchas las posibles aplicaciones de la IA en lo que a la mitigación del cambio climático se refiere. La IA puede contribuir a reducir las emisiones de carbono y mitigar los efectos adversos del cambio climático, mejorar la eficiencia energética, en particular en lo que a la gestión de sistemas de producción y distribución de energía se refiere, y optimizar la utilización de fuentes de energía renovables, como la eólica, la solar y la geotérmica (Nelsen 2021).

Además, la IA puede utilizarse para comprender mejor los patrones meteorológicos y prever con precisión la evolución del cambio climático. La recopilación de datos en tiempo real de satélites meteorológicos, drones y otros sensores puede proporcionar información valiosa para predecir posibles desastres climáticos como sequías, huracanes e inundaciones. Al pronosticar estos fenómenos, la IA puede permitir la adopción de medidas preventivas para mitigar sus desastrosos efectos sobre la vida de las personas, los animales y el medio ambiente (Filho et al. 2022).

Ahora bien, precisamente en el contexto del cambio climático, no debemos olvidar que el uso de la IA tiene un coste energético muy significativo que debe tenerse en cuenta en todo momento (Dauvergne 2020), también cuando se empleen estas herramientas precisamente con el objetivo de reducir y hacer frente a los efectos del cambio climático. A modo de ejemplo, el entrenamiento de un software como GPT-3 necesitó 700.000 litros de agua potable (Li et al. 2023).

4.2. Prevención y gestión del impacto de un asteroide contra la Tierra

Asimismo, la IA puede emplearse con el objetivo de predecir y gestionar un posible impacto de un asteroide contra la Tierra. En concreto, para detectar y rastrear asteroides, estimar su trayectoria y el momento y efectos de un posible impacto a través de los datos proporcionados por diversas fuentes, como satélites, telescopios y sensores terrestres (Hefele et al. 2020). Además, la IA podría utilizarse también para establecer la mejor estrategia para evitar el impacto o destruir el asteroide (Sánchez Lozano et al. 2020).

La IA puede usarse para simular y modelizar los efectos de los impactos cósmicos con el fin de identificar la mejor manera de mitigarlos. Por ejemplo, de la misma forma que los modelos de IA pueden simular los efectos que diferentes catástrofes naturales o alteraciones del medio pueden tener sobre infraestructuras como edificios, puentes y redes eléctricas, e identificar las zonas vulnerables que deben reforzarse, esta aplicación de la IA podría trasladarse también a un posible impacto de un asteroide contra la Tierra (Johnston et al. 2014; Titus et al. 2023).

Otro aspecto clave del uso de la IA para hacer frente al impacto de un asteroide es la atenuación de los efectos derivados del impacto. La IA puede ser de utilidad para desarrollar estrategias de mitigación de desastres que minimicen los efectos del impacto de un asteroide al analizar datos de múltiples fuentes, como patrones meteorológicos, topografía y densidad de población, para identificar las zonas que podrían verse más afectadas por la colisión. Esta información puede utilizarse para desarrollar planes de evacuación, identificar zonas seguras y gestionar la distribución de suministros de emergencia y los esfuerzos de socorro.

Aunque la IA también presenta riesgos catastróficos para la humanidad, es importante destacar que esta tecnología también puede ser una herramienta valiosa para la defensa planetaria. El impacto de un asteroide, al igual que el descontrol de los sistemas de IA, representa uno de los mayores riesgos existenciales para la vida en la Tierra y es una amenaza que sigue generando una gran incertidumbre en el ámbito de los estudios sobre riesgos catastróficos (**Baum 2018**).

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha tratado de situar la relevancia de prestar atención y regular no solamente los riesgos y daños que determinadas aplicaciones de sistemas de IA ya producen, sino también el potencial efecto destructor que esta puede llegar a tener. Ahora bien, consideramos de enorme relevancia señalar igualmente la utilidad que el desarrollo de la IA puede tener a la hora de hacer frente a otros riesgos catastróficos para la humanidad. Es de vital importancia que, sin perder de vista los potenciales daños de la IA y sin permitir que las grandes empresas tecnológicas consigan que la sociedad infravalore la amenaza que este desarrollo tecnológico supone, aprovechemos las oportunidades que nos ofrece de forma estratégica para protegernos frente a los daños generados por otros fenómenos naturales o causados por la humanidad. Debemos encontrar el equilibrio adecuado, regular su uso y asegurarnos de que se utilice de manera responsable. Si lo hacemos, podemos tener la oportunidad de protegernos y de garantizar la supervivencia de nuestra especie frente a los desafíos que nos esperan en el futuro, incluidos el propio avance de la IA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abomhara, M. y Køien G. M. (2015). Cyber Security and the Internet of Things: Vulnerabilities, Threats, Intruders and Attacks. *Journal of Cybersecurity and Mobility*, 4(1), 65-88.
- Akselrod, O. (2021). How Artificial Intelligence Can Deepen Racial and Economic Inequities. ACLU. Disponible en: <https://www.aclu.org/news/privacy-technology/how-artificial-intelligence-can-deepen-racial-and-economic-inequities>.
- Alston, P. (2019). Digital welfare states and human rights, UN Special Rapporteur on extreme poverty and human rights, informe A/74/493, 11 de octubre de 2019.

- Barona Vilar, S. (2021). *Algoritmización del Derecho y de la Justicia. De la Inteligencia Artificial a la Smart Justice*. Tirant lo Blanch.
- Baum, S. D. (2018). Uncertain human consequences in asteroid risk analysis and the global catastrophe threshold. *Natural Hazards*, 94, 759-775.
- Baum, S. D., Neufville, R., Barrett, A. M. y Ackerman, G. (2022). Lessons for Artificial Intelligence from Other Global Risks. En M. Tinnirello (Ed.), *The Global Politics of Artificial Intelligence*. Chapman and Hall.
- Ben-Shahar, O. (2019). Data pollution. *Journal of Legal Analysis*, 11, 104-159.
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford University Press.
- Cole D.D., Denkenberger D., Griswold, M., Abdelkhalik, M. y Pearce, J. M. (2016). Feeding everyone if industry is disabled. *Proceedings of the 6th international disaster and risk conference*. Davos, Switzerland.
- Dauvergne, P. (2020). Is artificial intelligence greening global supply chains? Exposing the political economy of environmental costs. *Review of International Political Economy*, 29(3), 696-718.
- Filho, W. L., et al. (2022). Deploying artificial intelligence for climate change adaptation. *Technological Forecasting and Social Change*, 180.
- Fuertes, M. (2022). Reflexiones ante la acelerada automatización de actuaciones administrativas. *Revista jurídica de Asturias*, 45, 105-124.
- Gerards, J. y Xenidis, R. (2021). *Algorithmic Discrimination in Europe: Challenges and opportunities for gender equality and non-discrimination law*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Gerdes, A. (2022). The tech industry hijacking of the AI ethics research agenda and why we should reclaim it. *Discover Artificial Intelligence*, 2. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44163-022-00043-3>.
- Goertzel, B. y Pennachin, C. (eds.) (2007). *Artificial General Intelligence*. Springer.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science, New Series*, 162(3859), 1243-1248.
- Hefele, J. D., Bortolussi, F. y Portegies Zwart, S. (2020). Identifying Earth-impacting asteroids using an artificial neural network. *Astronomy & Astrophysics*, 634.
- Hilton, B. (2022). Whole Brain Emulation. *80,000 hours*. Disponible en: <https://80000hours.org/problem-profiles/whole-brain-emulation/>.
- Huergo Lora, A. (2020). Una aproximación a los algoritmos desde el Derecho administrativo. En A. Huergo Lora (dir.) y G.M. Díaz González (coord.), *La Regulación de los Algoritmos* (pp. 23-87). Pamplona, Aranzadi.
- Johnston, A., Slovinsky, P. y Yates, K. (2014). Assessing the vulnerability of coastal infrastructure to sea level rise using multi-criteria analysis in Scarborough, Maine (USA), *Ocean & Coastal Management*.
- Kumar, R. (19 de marzo de 2019). The Unavoidable Problem of Self-Improvement in AI. Part 1/ Entrevistado por Jolene Creighton. Disponible en: <https://futureoflife.org/ai/the-unavoidable-problem-of-self-improvement-in-ai-an-interview-with-ramana-kumar-part-1/>.
- Kushner, D. (2013). The real story of stuxnet. *IEEE Spectrum*, 50(3), 48-53.

- Li, P., Yang, J., Islam, M. A., y Ren, S. (2023). Making AI Less “Thirsty”: Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. arXiv preprint arXiv:2304.03271.
- Maas, M. M., Matteucci, K. y Cooke, D. (2023). Military Artificial Intelligence as Contributor to Global Catastrophic Risk. En S. J. Beard, M. Rees, C. Richards y C. Rios-Rojas, *The Era of Global Risk*. Open Book Publishers.
- Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S. y Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: mapping the debate. *Big Data & Society*, Julio-Diciembre, 1-21.
- Nadler, J. y Cicilline, D. (2020). Investigation of competition in digital markets, Subcommittee on antitrust, commercial and administrative law of the Committee on the judiciary.
- Nelsen, A. (11 de Agosto de 2021). Here’s how AI can help fight climate change. *World Economic Forum*. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2021/08/how-ai-can-fight-climate-change/>.
- Nord, J. H., Koohang, A. y Paliszkiwicz, J. (2019). The Internet of Things: Review and Theoretical Framework. *Expert Systems With Applications*, 133, 97-108.
- O’Neil, C. (2017). *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*. Penguin Books.
- Oreskes, N. y Conway, E. M. (2010). *Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming*. Bloomsbury.
- Paavola, J. (2011). Climate change: the ultimate ‘tragedy of the commons’? *Sustainability Research Institute*, 24.
- Ranchordás, S. y Schuurmans, Y. (2020). Outsourcing the welfare state: the role of private actors in welfare fraud investigations. *European Journal of Comparative Law and Governance*, 7(2), 5-42.
- Sánchez-Lozano, J. M., Fernández-Martínez, M., Saucedo-Fernández, A. A., y Trigo-Rodríguez, J. M. (2020). Evaluation of NEA deflection techniques. A fuzzy Multi-Criteria Decision Making analysis for planetary defense. *Acta Astronautica*, 176, 383-397.
- Soriano Arnanz, A. (2021a). Decisiones automatizadas. Problemas y soluciones jurídicas: más allá de la protección de datos. *Revista de Derecho Público: Teoría y Método*, 1(3), 85-127.
- (2021b). *Data protection for the prevention of algorithmic discrimination*. Aranzadi-Thomson Reuters.
 - (2021c). La propuesta de Reglamento de Inteligencia Artificial de la Unión Europea y los sistemas de alto riesgo. *Revista General de Derecho de los Sectores Regulados*, 8.
- Titus, T., Robertson, D., Sankey, J.B., Mastin, L. y Rengers, F. (2023). A review of common natural disasters as analogs for asteroid impact effects and cascading hazards. *Natural Hazards*, 116, 1355-1402.
- Turchin, A. y Denkenberger, D. (2020). Classification of global catastrophic risks connected with artificial intelligence. *AI & Society*, 35, 147-163.

- Wachter, S y Mittelstadt, B. (2019). A Right to Reasonable Inferences Re-Thinking Data Protection Law in the Age of Big Data and AI. *Columbia Business Law Review*, 2019(2), 494-620.
- Weller, A. (2019). Design Thinking for a User-Centered Approach to Artificial Intelligence. *The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 5(4), 394-396.
- Yeung, K. (2017). 'Hypernudge': Big data as a mode of regulation by design, *Information. Communication & Society*, 20(1), 118-136.
- Yudkowsky, E. (2001). Creating Friendly AI 1.0: The Analysis and Design of Benevolent Goal Architectures. *Machine Intelligence Research Institute*. Disponible en: <https://intelligence.org/files/CFAI.pdf>.
- (2008). Artificial Intelligence as a Positive and Negative Factor in Global Risk. *Machine Intelligence Research Institute*. Disponible en: <https://intelligence.org/files/AIPosNegFactor.pdf>.

GRACIAS POR CONFIAR EN NUESTRAS PUBLICACIONES

Al comprar este libro le damos la posibilidad de consultar gratuitamente la versión ebook.

Cómo acceder al ebook:

- ☞ **Entre en nuestra página web**, sección Acceso ebook
(www.dykinson.com/acceso_ebook)
- ☞ **Rellene el formulario** que encontrará insertando el código de acceso que le facilitamos a continuación así como los datos con los que quiere consultar el libro en el futuro (correo electrónico y contraseña de acceso).
- ☞ Si ya es **cliente registrado**, deberá introducir su **correo electrónico y contraseña habitual**.
- ☞ Una vez registrado, **acceda a la sección Mis e-books de su cuenta de cliente**, donde encontrará la versión electrónica de esta obra ya desbloqueada para su uso.
- ☞ Para consultar el libro en el futuro, ya sólo es necesario que se identifique en nuestra web con su correo electrónico y su contraseña, y que se dirija a la sección Mis ebooks de su cuenta de cliente.



CÓDIGO DE ACCESO

Rasque para ver el código

Nota importante: Sólo está permitido el uso individual y privado de este código de acceso. Está prohibida la puesta a disposición de esta obra a una comunidad de usuarios.



**MANTÉNGASE INFORMADO
DE LAS NUEVAS PUBLICACIONES**

**Suscríbese gratis
al boletín informativo
www.dykinson.com**

Y benefíciense de nuestras ofertas semanales

La Tierra, nuestro hogar en el cosmos, enfrenta una amenaza latente que podría cambiar el rumbo de la humanidad. ¿Qué pasaría si un colosal asteroide se dirigiera hacia nuestro planeta? ¿Tenemos la capacidad de afrontar este desafío?

En este apasionante viaje literario, especialistas en astrofísica, filosofía, derecho, psicología, comunicación y ecología se unen para explorar el fascinante mundo de la defensa planetaria. Descubrirás cómo distintos campos del conocimiento convergen para brindarnos una visión integral sobre el peligro de impacto de objetos celestes y sus analogías con otros riesgos globales.

Tanto personas curiosas como investigadoras profesionales disfrutarán del ejercicio de creatividad y rigurosidad que supone esta obra colaborativa. Una invitación a la reflexión y al compromiso para salvaguardar nuestro lugar en el universo y asegurar un futuro a la generaciones venideras.
