



Cuadernos de Estrategia 208
**Los retos del espacio exterior:
ciencia, industria, seguridad y
aspectos legales**

Instituto
Español
de Estudios
Estratégicos

ieee.es
Instituto Español de Estudios Estratégicos



MINISTERIO DE DEFENSA



Cuadernos de Estrategia 208

**Los retos del espacio exterior:
ciencia, industria, seguridad y
aspectos legales**

Instituto
Español
de Estudios
Estratégicos

ieeee.es
Instituto Español de Estudios Estratégicos



MINISTERIO DE DEFENSA



Catálogo de Publicaciones de Defensa
<https://publicaciones.defensa.gob.es>



Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado
<https://cpage.mpr.gob.es>

publicaciones.defensa.gob.es
cpage.mpr.gob.es

Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

© Autores y editor, 2021

NIPO 083-21-111-3 (edición impresa)

ISBN 978-84-9091-572-1 (edición impresa)

Cuadernos de Estrategia, ISSN 1697-6924

Depósito legal M 28436-2004

Fecha de edición: septiembre de 2021

Maqueta e imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

NIPO 083-21-112-9 (edición en línea)

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad de los autores de la misma.

Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del copyright ©.

En esta edición se ha utilizado papel 100% libre de cloro procedente de bosques gestionados de forma sostenible.

ÍNDICE

Página

Prólogo

Miguel Ángel Gómez Tierno

Capítulo primero

El sector espacial: una extraordinaria oportunidad para Europa	17
<i>Javier Ventura-Traveset Bosch</i>	
Balance actual del sector espacial en el mundo	21
La Agencia Espacial Europea: la puerta de acceso al espacio	23
Una época dorada para la ciencia espacial	26
Ondas gravitacionales	27
El universo oscuro	35
La búsqueda de vida fuera de la Tierra	37
Una nueva era para la exploración espacial	42
La evolución de la ISS	43
La vuelta a la órbita cislunar	45
Misión robótica a Marte de ida y vuelta	49
El espacio y el cambio climático: un liderazgo europeo	51
El sector espacial y el cambio climático	52
La navegación por satélite: un sector estratégico para Europa	57
El sistema europeo EGNOS	58
El sistema Galileo	59
Espacio, seguridad y protección planetaria	65
La problemática asociada a la basura espacial	65
La meteorología espacial y sus riesgos para nuestra economía	68
La defensa planetaria contra asteroides	70
El sector espacial: una extraordinaria oportunidad para Europa	72

	Página
Invertir más en el sector espacial en Europa	73
Hacia una colaboración más estrecha con la UE: Agenda 2025 de la ESA	75
España y el sector espacial.....	77
NewSpace	78
NewSpace: la necesidad de una reacción europea.....	80
Conclusiones	81
Referencias.....	83
Capítulo segundo	
Ciencia desde el espacio	89
<i>Isabel Pérez Grande</i>	
El acceso a la ciencia desde el espacio.....	91
Investigación desde el espacio.....	92
El estudio del sistema solar desde el espacio.....	93
La interacción Sol-Tierra. La protección de la Tierra.....	99
El estudio del cosmos.....	104
La observación de la Tierra	110
Copernicus.....	115
Ciencia en microgravedad.....	116
Retornos de la actividad científica espacial a la sociedad.....	119
Consideraciones finales.....	121
Capítulo tercero	
La industria espacial española en el contexto europeo y mundial.....	123
<i>Jorge Potti Cuervo</i>	
El mercado espacial	125
El mercado espacial futuro	126
La cadena de valor del mercado espacial.....	127
La industria espacial de upstream	128
La industria espacial europea de upstream	131
La industria espacial española de upstream en el contexto europeo	133
Empleo y cualificación profesional.....	135
Talla de las empresas españolas en espacio.....	135
La industria espacial española ante los diferentes segmentos de mercado..	137
Macrotendencias del sector.....	138
Tendencias por segmentos del sector espacial.....	140
Lanzadores.....	140
Observación de la Tierra	141
Telecomunicaciones vía satélite.....	143

	Página
Navegación por satélite.....	144
Vigilancia del espacio – Gestión del tráfico espacial.....	146
Ciencia y exploración espacial.....	147
 Capítulo cuarto	
El nuevo dominio operacional: militarización vs. protección de la actividad espacial.....	151
<i>Federico Aznar Fernández-Montesinos</i>	
<i>Jaime Luis Sánchez Mayorga</i>	
La primera fase de la exploración espacial.....	155
Tecnología y espacio exterior en clave geopolítica.....	157
Relevancia del espacio exterior como teatro de operaciones.....	164
Espacio exterior y geopolítica.....	171
El espacio exterior como factor polemológico.....	182
Usos militares del espacio.....	192
Conclusiones.....	204
Bibliografía.....	207
 Capítulo quinto	
La regulación de las actividades espaciales como estrategia de seguridad y crecimiento nacional.....	213
<i>Elisa Celia González Ferreiro</i>	
Introducción a la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional.....	215
Regulación internacional de las actividades espaciales.....	222
Derecho espacial en vías de formación.....	244
Desechos espaciales.....	244
Defensa planetaria.....	249
Legislaciones espaciales nacionales.....	254
España en el espacio.....	282
Régimen jurídico aplicable.....	282
Necesidad de una Ley Española sobre Actividades Espaciales.....	286
Conveniencia de una Agencia Espacial Española.....	289
Conclusiones generales.....	293
Composición del grupo de trabajo.....	295
Cuadernos de Estrategia.....	297

Prólogo

Miguel Ángel Gómez Tierno

El espacio: la última frontera. La sentencia, tomada de la serie televisiva de ciencia ficción *Star Trek* (años sesenta del siglo pasado) y de varias películas adaptaciones de la serie, sigue teniendo validez en nuestros días. El aire fue conquistado en un tiempo característico de una vida humana, pero la conquista del espacio, ya iniciada, no se completará hasta el mismo final de los tiempos.

Desde los albores de la humanidad, el espacio fue motivo de admiración y estudio. Comenzaron los soñadores y poetas, y les siguieron los astrólogos-astrónomos intentando conectar las estrellas con los acontecimientos terrestres y desarrollando teorías matemáticas para explicar el movimiento y la naturaleza de los cuerpos que se observaban y desplazaban por la esfera celeste.

Pero a mediados del siglo pasado habíamos alcanzado un cierto estancamiento en el estudio del espacio, ya que las observaciones desde la superficie terrestre evolucionaban hacia su límite tecnológico. Y, de repente, en 1957 se produjo un hito en la historia de la humanidad: el lanzamiento y puesta en órbita del primer vehículo espacial, el soviético *Sputnik* (en cirílico, «спутник», cuya traducción es 'satélite astronómico'), que inauguró la **Era Espacial**, aunque en la actualidad se está hablando de **cuatro**

eras espaciales siguiendo una nomenclatura utilizada en distintos campos: **Espacio 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0.**

El Espacio 1.0 abarca desde el origen del hombre hasta el lanzamiento del *Sputnik*, y es el tiempo de los soñadores, poetas, enamorados, astrólogos, sacerdotes, reyes, agricultores, navegantes, astrónomos, astrofísicos, etc. Solo les interesaba el espacio por su belleza intrínseca, o por la «posición» de los objetos que veían en él, con implicaciones reales o figuradas en los acontecimientos terrestres, o por puro conocimiento científico con algunas aplicaciones prácticas.

La era Espacio 2.0 comienza con el lanzamiento del *Sputnik* y, en muy pocos años, se produce un ingente desarrollo de tecnología pocas veces igualado en nuestra historia. Es el momento de la carrera espacial entre Estados Unidos y la Unión Soviética, que culmina con los alunizajes de la misión Apolo. El espacio pasa a ser algo más tangible que en la era anterior y los logros alcanzados cambian nuestra mente de forma trascendental e irreversible. Aunque lo intuíamos, ahora demostramos que se puede viajar al espacio con máquinas no tripuladas e incluso con vehículos tripulados por humanos. Antes solo contemplábamos, estudiábamos, soñábamos y nos maravillábamos con los astros, pero los Dioses (la gravedad) nos tenían confinados en la Tierra.

La concepción, puesta en órbita y utilización de la Estación Espacial Internacional (en inglés, International Space Station o ISS) es la culminación del Espacio 3.0. Muchas actividades espaciales se han tornado rutinarias, y además hemos pasado a considerar el espacio como la próxima frontera para la cooperación internacional.

Y, en la actualidad, de forma análoga al concepto de Industria 4.0, estamos inaugurando la era Espacio 4.0. Hemos evolucionado desde un campo dominado por los Gobiernos de un puñado de naciones hacia otro más globalizado y digitalizado, en el que juegan e interaccionan en el tablero planetario muchos **actores espaciales** como son Gobiernos nacionales y supranacionales, agencias nacionales y supranacionales, instituciones de distinto tipo (centros de investigación, universidades, fundaciones, etc.), empresas (constructoras, operadoras, usuarias, etc.) y sociedad en general.

Desde el mismo comienzo de la era espacial (Espacio 2.0), con la puesta en órbita de vehículos espaciales, se generó un debate con dos posturas claramente diferenciadas que siguen teniendo

defensores y detractores: **¿misiones robóticas o misiones tripuladas?** Las primeras son mucho más baratas al no necesitar los complejos y costosos subsistemas de soporte vital y los altos márgenes de seguridad en el sistema global. Además, en caso de fallo, una misión robótica no tiene la tremenda repercusión social de una misión tripulada, evitando a los promotores la justificación de muertes asociadas muy probables. Sin embargo, parece difícil que la humanidad renuncie a salir físicamente al espacio una vez que hemos probado que podemos hacerlo. Como en muchas situaciones de la vida diaria, un sano equilibrio entre los dos mundos, robótico y tripulado, parece la solución de compromiso adecuada.

En cualquier caso, **¿cuáles son las razones que impulsaron y todavía impulsan la era espacial, es decir, el acceso al espacio de la humanidad mediante vehículos espaciales?** Sin ánimo de ser exhaustivos, pueden distinguirse las siguientes motivaciones¹:

- Seguridad nacional.
- Prestigio y orgullo nacionales.
- Búsqueda de conocimiento.
- Soporte para avances tecnológicos.
- Retorno económico directo.
- Interés global.
- Expansión humana.
- Impulso exploratorio.
- Turismo espacial

La importancia relativa de estas «razones» depende de los distintos actores y de distintas circunstancias concurrentes en cada época. Además, muchas razones están íntimamente conectadas.

Los dos primeros puntos del listado anterior fueron los que lanzaron la era espacial, generando una impresionante carrera entre EE. UU. y la URSS. Y como ejemplo de visión y compromiso para nuestros actuales dirigentes políticos, quedan unas breves frases de John Fitzgerald Kennedy que sintetizan magníficamente estas dos motivaciones. En relación con la seguridad nacional:

¹ DUPAS, Alain. *Space Policy in XXIst Century*, International Space University (ISU). Toronto, 1990.

«No podemos ser segundos en esta vital carrera. Para asegurar la paz y la libertad, debemos ser los primeros... El espacio es nuestra nueva frontera» (Campaña presidencial, 1960);

y en relación con el prestigio y orgullo nacionales:

«Pienso que esta nación debe imponerse la meta, para antes de que la década termine, de llevar un hombre a la Luna y traerlo de vuelta a la Tierra sano y salvo... No será un hombre quien vaya a la Luna; será una nación entera» (Congreso de EE.UU, 25 de mayo de 1961).

La búsqueda de conocimiento, *per se*, o la ciencia por la ciencia, es uno de los impulsos primarios más profundos y arraigados en el ser humano. Tiene el mismo origen que el impulso exploratorio, el llegar físicamente a donde no ha llegado nadie simplemente por el hecho de hacerlo.

En cuanto al soporte para avances tecnológicos, a veces diseñaremos y lanzaremos misiones con demostradores tecnológicos que desarrollen nuevos avances en tecnología espacial, los cuales puedan ser implementados posteriormente en misiones más rutinarias e incluso en aplicaciones terrestres.

El siguiente motivo, el retorno económico directo, es evidente. Al igual que en otros sectores pegados a tierra, el negocio espacial siempre será un estímulo para multitud de inversores que buscan la rentabilidad de su dinero. Desde el campo de las telecomunicaciones, muy consolidado en nuestros días, hasta la fabricación en el espacio o la explotación de recursos extraterrestres, ideas que se contemplan para un futuro todavía lejano.

El interés global es una de las motivaciones de más actualidad. Los satélites de observación de la Tierra y del Sol, de navegación (incluyendo los de rescate) y de vigilancia espacial tienen multitud de aplicaciones como son la predicción del tiempo, la monitorización de multitud de parámetros de nuestro planeta (atmósfera incluida) y del Sol, la detección de recursos naturales, la gestión de desastres, el posicionamiento de vehículos y personas, el seguimiento de la basura espacial y de asteroides potencialmente peligrosos, etc. Hasta ahora, estos satélites han sido gubernamentales civiles o militares, pero últimamente se están abriendo al libre mercado con un claro objetivo de retorno económico. Asimismo, podrían considerarse satélites de interés global (aunque el retorno económico también jugaría un papel importante) los todavía futuribles satélites de energía solar, que

recogerían la energía del Sol fuera de la atmósfera terrestre, la convertirían en electricidad y la transmitirían a la Tierra, donde a su vez sería recogida por una antena receptora gigante.

La expansión humana desde nuestra cuna, la Tierra, hasta otros cuerpos celestes o hasta estaciones espaciales es tal vez la motivación cuyo horizonte está más alejado. La humanidad tardará en salir, pero finalmente saldrá de la Tierra para colonizar de forma más o menos permanente algunos cuerpos de nuestro sistema planetario (la Luna, Marte, Europa, etc.). Y aún más lejos se vislumbra la salida de nuestro sistema solar y la llegada a otros sistemas planetarios, para lo cual necesitaríamos una revolución en la física.

Otra opción para esta colonización espacial son las gigantescas estaciones espaciales rotantes (tipo toroide de von Braun, cilindro de O'Neill u otras), que albergarían a miles e incluso millones de personas, situadas en órbita alrededor de un cuerpo celeste o en los puntos de Lagrange de un sistema sol-planeta o planeta-satélite, e incluso desplazándose en viajes interestelares sin retorno.

Por último, el turismo espacial está siendo considerado últimamente por los distintos actores espaciales como una posibilidad real. No se trataría de un trabajo de pioneros, sino de un acceso lúdico y muy caro a infraestructuras espaciales situadas en órbita o sobre otro cuerpo celeste. Como paso previo a este turismo espacial «verdadero», se están desarrollando varias iniciativas que podríamos llamar de turismo «suborbital». Mediante globos o aviones, se oferta una experiencia en gravedad cero de corta duración, ya que se asciende hasta las capas altas de la atmósfera, sin alcanzar nunca la velocidad de inyección en órbita ni la velocidad de escape, para posteriormente bajar a tierra en caída libre.

Con objeto de dar una idea acerca de la tremenda amplitud de las actividades espaciales, a continuación se propone un posible listado de grandes áreas de trabajo relacionadas con el espacio:

- Ingeniería Espacial, incluyendo el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los vehículos espaciales, las aplicaciones de los mismos, la explotación de recursos extraterrestres, la fabricación en el espacio, la arquitectura espacial, etc.
- Ciencias Físicas Espaciales, en donde se encuadran Astronomía, Geodesia, Planetología, Astrofísica, Ciencia de los Materiales y Mecánica de Fluidos en ingravidez, etc.

- Ciencias de la Vida Espaciales, incluyendo Medicina, Biología, Agricultura, Nutrición, etc.
- Política y Derecho Espaciales.
- Negocios y Gestión Espaciales.
- Humanidades Espaciales, incluyendo el cine y la literatura.
- Educación Espacial.

Este prólogo no es el lugar adecuado para discutir en detalle todas estas áreas, muchas de las cuales son autoexplicativas mediante su propio enunciado. Simplemente se efectúan a continuación algunos comentarios sobre dos de ellas.

La Medicina Espacial (¿«espaciomedicina»?) tiene mucho que aportar para el futuro de los vuelos tripulados y de la expansión humana. Hasta ahora el hombre solo ha permanecido en el espacio exterior por periodos de tiempo cortos, como máximo de meses o de un par de años, y los médicos espaciales atesoran multitud de datos sobre el comportamiento del cuerpo humano en ingravidez. Sin embargo, estos datos fisiológicos no son fácilmente extrapolables para deducir ese comportamiento en años-décadas-toda la vida con gravedad nula o reducida y en presencia de las agresivas radiaciones ionizantes existentes en el sistema solar fuera del apantallamiento másico y magnético que proporcionan la atmósfera y el campo magnético terrestres. Por ejemplo, en la Luna y en Marte la gravedad es $1/6$ y $1/3$ de la terrestre, respectivamente, y no hay apantallamiento atmosférico-magnético, por lo que, al menos, deberíamos protegernos contra la radiación (¿hábitats subterráneos o blindados?). Y en el vuelo espacial interplanetario de larga duración deberíamos blindar las naves contra la radiación, o habilitar refugios antitormentas, y además dotarlas de sistemas rotantes, ya que la fuerza centrífuga es el único método conocido en la actualidad para lograr sensación de peso.

Y aún se presentan más dudas sobre cómo afectaría el binomio gravedad reducida-alta radiación a los futuros bebés nacidos en el espacio. Debemos estudiar y manejar adecuadamente este binomio si no queremos que nuestra raza evolucione hacia una nueva especie (¿«Homo Spatialis»?).

En relación con la Educación Espacial, podríamos subdividirla en educación profesional para el espacio y en divulgación espacial. En el primer grupo se encuadran todas las titulaciones de grado, máster y doctorado impartidas fundamentalmente por univer-

sidades, en donde se contemplan especialidades y asignaturas «espaciales» que tratan la temática espacial con mayor o menor amplitud e intensidad. Asimismo, podrían considerarse educación profesional espacial los cursos internos de formación que ofertan a sus empleados muchas compañías e instituciones sobre temáticas espaciales específicas, impartidos por su propio personal o por expertos externos normalmente procedentes de departamentos universitarios. A título de ejemplo, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE), centro de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), se imparten el graduado en Ingeniería Aeroespacial, los másteres en Ingeniería Aeronáutica y en Sistemas Espaciales y el doctorado en Ingeniería Aeroespacial. En ellos se programan muchas horas de docencia relacionadas con la ingeniería de los vehículos espaciales.

La divulgación espacial tiene gran trascendencia social. Se trata de difundir el conocimiento del espacio, sus aplicaciones concretas para la vida diaria, sus logros y sus expectativas futuras entre la ciudadanía, con especial énfasis entre los más jóvenes, mediante charlas, conferencias, publicaciones impresas (un buen ejemplo es la presente monografía del CESEDEN), material digital colgado en la red, etc. Los responsables de esta labor de divulgación serían universidades, instituciones, sociedades, empresas e incluso particulares con un amplio conocimiento de materias espaciales.

En esta monografía editada por el CESEDEN no se pretende desarrollar los múltiples aspectos, áreas y actores implicados en el espacio. Simplemente, bajo el título genérico de «Los retos del espacio exterior», se han recogido cinco temas con entidad propia escritos por expertos de reconocido prestigio en los mismos.

Javier Ventura-Traveset hace una amplia presentación de los programas previstos por la Agencia Espacial Europea durante esta década, haciendo especial hincapié en la tremenda oportunidad que representa el sector espacial para Europa. Isabel Pérez Grande se centra en las misiones y actividades científicas realizadas con vehículos espaciales desde el comienzo de la carrera espacial. Jorge Potti nos presenta la industria espacial española en el contexto europeo y mundial, subrayando la necesidad de un incremento en la inversión gubernamental española en el sector. Federico Aznar y Jaime Sánchez Mayorga tratan los aspectos relacionados con la seguridad nacional de este nuevo dominio operacional que es el espacio exterior, incluyendo su posible militarización. Y, finalmente, Elisa Celia González Ferreiro resume los aspectos legales espaciales, estudiando detenidamente las regu-

laciones nacionales y las de carácter internacional, y abogando por una ley española sobre actividades espaciales.

A todos ellos, muchas gracias por sus excelentes aportaciones. Y, en especial, un fortísimo agradecimiento hacia el CESEDEN de parte de todos los autores de esta monografía por permitirnos escribir acerca de nuestra profesión y vocación.

Y un comentario final. Todos los actores implicados en mayor o menor medida en el espacio deberíamos ser prudentes a la hora de pronosticar cuándo se van a culminar los distintos proyectos espaciales, sobre todo si están en fase de diseño preliminar. Es muy humana la siguiente forma de pensar: «"yo" quiero ser actor principal de esta historia y seguro que voy a ver la materialización de "mis" ideas; y más aún si "mi" carrera profesional está directamente relacionada con el éxito de la misión». Sin embargo, la historia espacial enseña y aboga por ser prudentes en el pronóstico de fechas concretas en las que se alcanzarán hitos concretos, simplemente por la profunda repercusión de las decisiones políticas sobre la viabilidad y los plazos de los proyectos espaciales y por la ingente cantidad de recursos materiales y humanos necesarios para su desarrollo y culminación, con posibles sobrecostes, recortes e incluso cancelaciones.

En cualquier caso, el comienzo de la era espacial mostró un camino irreversible, según la modesta opinión de este prologuista. Y si en algún momento nos acucian las dudas sobre la conveniencia u oportunidad de las actividades espaciales, en particular de la presencia humana en el espacio, todavía resultan estimulantes unas palabras de Arthur Clarke escritas hace más de setenta años en *Interplanetary Flight*²³:

«No hay camino de retorno al pasado; las únicas opciones, como ya dijo Wells, son el Universo o la nada... El desafío de los grandes espacios entre los mundos constituye un reto formidable, pero si no le hacemos frente, ello significará que la historia de nuestra raza llega a su fin. La humanidad habrá vuelto la espalda a las alturas todavía vírgenes y descenderá de nuevo por la larga pendiente que conduce, a través de miles de millones de años, a los mares primigenios».

² CLARKE, Arthur C. *Interplanetary Flight. An Introduction to Astronautics*. London: Temple Press 1950.

³ GATLAND, K. *et al. Exploración del Espacio (Vol. I)*, Barcelona: Ediciones Orbis 1985. [Biblioteca de Divulgación Científica Muy Interesante, n.º 3]

Capítulo primero

El sector espacial: una extraordinaria oportunidad para Europa

Javier Ventura-Traveset Bosch

«We are made of star-stuff. We are a way for *the Universe to know itself*» *Carl Sagan*

Resumen

La historia del sector espacial tiene apenas 65 años. Durante todo este tiempo su evolución ha sido extraordinaria, en lo geopolítico, en su ámbito de actuación, su impacto social o en su organización económica. Hoy son más de cien los países con actividad espacial y el sector está presente en prácticamente todos los sectores de nuestra sociedad. En estas seis décadas, Europa ha pasado de ser mero espectador a potencia espacial de primer orden, siendo hoy una referencia mundial indiscutible en ciencia espacial, observación de la tierra o navegación por satélite, por citar tres ejemplos. Una parte fundamental de ese éxito europeo, sin duda, hay que atribuirlo a la decisión de los principales países de Europa de agrupar sus fortalezas en este campo a través de la Agencia Espacial Europea, una historia de éxito y una referencia clara de lo que es capaz nuestro continente cuando unimos nuestros esfuerzos. En este capítulo, repasaremos esa Europa institucional, analizando los principales retos y programas previstos por la Agencia Espacial Europea y la Unión Europea durante esta década, una agenda apasionante en ciencia, exploración, observación de la tierra, navegación por satélite y seguridad planetaria.

Otra de las razones fundamentales de este éxito europeo ha sido la capacidad que han mostrado las diferentes instituciones espaciales europeas de adaptarse continuamente a las circunstancias de la historia. Y el momento actual, con la creciente importancia del sector para la política de la Unión Europea, las nuevas circunstancias del mundo global y la creciente importancia del sector privado, exigen de nuevo ese esfuerzo. En esa Europa espacial y evolución necesaria, participa de forma importante nuestro país, cuarto en importancia del sector en la Unión Europea, que no debe desaprovechar esta oportunidad de la historia.

Si Europa puede hoy presumir de liderar en muchos de los campos del sector espacial institucional y comercial, el nuevo paradigma del sector, el *NewSpace*, con la pujante irrupción de nuevos actores privados y un peso comercial del sector cada vez mayor, exigen una reacción urgente de nuestro continente.

Para poder seguir teniendo influencia en el nuevo orden mundial, la necesidad de una Europa fuerte se revela hoy, más que nunca, absolutamente necesaria, y el espacio es un sector esencial en todo ello.

Palabras clave

Agencia Espacial Europea, ESA, Unión Europea, España, ciencia espacial, exploración humana, cambio climático, Copernicus, navegación por satélite, Galileo, protección planetaria y NewSpace.

The Space sector: an extraordinary opportunity for Europe

Abstract

The history of the space sector is short: only 65 years old. During all this time this sector has gone throughout a thorough evolution: geopolitical, going from mostly two actors to the more than one hundred countries today actively involved; on its global impact, space activities being present today in all facets of our society; and on its economic organization, with a major participation of the private industry today, with a very dynamic growth.

During these six decades, the space sector in Europe has dramatically evolved, from a mere spectator to the two world-class space powers in the early 60's, to become today an undisputed global reference in space science, earth observation or satellite navigation, just to name three examples. A fundamental part of this European success is undoubtedly the decision of Europe's major countries to pool their strengths in this field, through the creation of the European Space Agency, a story of success and a clear reference of what our continent is capable of doing when joining forces. In this chapter, we review this institutional European space, reviewing the main challenges and programmes envisaged by ESA and the European Union during this decade, an exciting agenda in science, exploration, earth observation, satellite navigation and planetary security.

Undoubtedly, one of the reasons of this European space success has been the ability that the different European space institutions had to adapt continuously to the circumstances of history. And the current moment, with the growing importance of space activities for European Union policy, the new circumstances of the global world and the growing importance of the private sector, demand again this effort. In this necessary European space evolution, our country, the fourth largest space power in the European Union, needs to be deeply involved and become a key actor of this new historical opportunity.

While Europe is today leading in many of the space institutional and commercial fields, the new paradigm of the sector, the NewSpace, with the thriving emergence of new private actors, demands an urgent reaction from our continent.

In order to continue playing a major role in the new world order, the need for a strong Europe reveals today more essential than ever, and space may become a key contributor to this.

Keywords

European Space Agency, ESA, European Union, Spain, space science, human exploration, climate change, Copernicus, satellite navigation, Galileo, planetary protection, NewSpace.

Balance actual del sector espacial en el mundo

El sector espacial es hoy un sector maduro y diversificado, con carácter global, presente en todas las facetas de nuestra sociedad, con una participación fundamental de la industria privada y con un enorme potencial de crecimiento. Un sector sin el cual el mundo, tal como lo concebimos hoy, simplemente no podría existir.

Hagamos un rápido balance. En el año 2020, y a pesar de la pandemia, hubo un total de 85 lanzamientos orbitales con éxito, habiéndose puesto en órbita un total de 1085 satélites, un número sin precedentes en la historia [2]. En 2019, año anterior a la pandemia, y por ello más representativo de la situación real del sector, el número de lanzamientos fue todavía mayor: un total de 102 [3]. Rusia (21 %) y los EE.UU. (26%), actores únicos de la carrera espacial durante los años 60, acapararon en 2019 me-

The 2019 Global Space Economy at a Glance

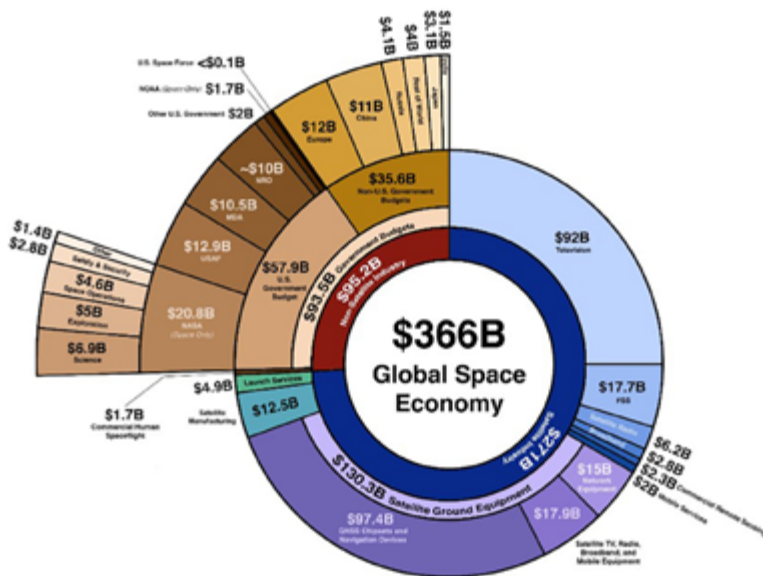


Figura 1. El impacto directo del negocio espacial global. (Créditos: Bryce Space and Technology [5])

nos del 50% del total de los lanzamientos. Durante el año 2019, y como ya sucedió también en 2018, China, con un total de 34 lanzamientos (33%), fue el país que más lanzamientos realizó, confirmándose como potencia espacial de primer orden.

A fecha de hoy, y según datos de la Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio, UNOSSA, alrededor de 85 países del mundo disponen o han dispuesto de sus propios satélites nacionales [4]. Actualmente, más de 3700 satélites operacionales orbitan nuestro planeta.

El impacto económico directo del sector espacial alcanza hoy la cifra de 366000 millones de dólares [5], habiéndose prácticamente duplicado en los últimos diez años.

De esta cantidad, un 25% aproximadamente corresponde a gastos de las agencias gubernamentales; el 75% restante, del orden de 270000 millones de dólares, corresponde al sector privado, con carácter esencialmente comercial. Un cambio de paradigma fundamental que el sector espacial ha experimentado en los últimos treinta años, con tendencia creciente, como comentaremos más adelante.

Pero las cifras anteriores hacen referencia solo al impacto directo dentro del sector espacial. Si tenemos en cuenta el impacto indirecto del sector en la economía global, las cifras son mucho más elevadas.

En efecto, nuestro mundo hoy, y su actividad económica normal, depende en gran medida de la disponibilidad y el buen funcionamiento de múltiples servicios satelitales. Una situación fácil de ilustrar imaginando, por unos momentos, las consecuencias de un hipotético apagón espacial. Hagamos brevemente ese ejercicio. Al instante, muchas de las comunicaciones telefónicas internacionales dejarían de ser posibles, a la vez que se colapsarían negocios y transacciones internacionales; muchas islas y regiones del mundo quedarían aisladas; se interrumpirían de golpe todas las aplicaciones asociadas a la navegación por satélite, afectando a miles de millones de personas en todo el planeta y a todos los sectores de la economía de una forma dramática. Internet sufriría grandes interrupciones y retrasos y, automáticamente, millones de personas dejarían de tener acceso; cientos de millones de hogares en el mundo dejarían de ver la televisión por satélite; nuestras previsiones meteorológicas pasarían a ser extremadamente limitadas, dejaríamos de saber si hay riesgos o no de inundaciones, olas de calor o fenómenos climáticos extre-

mos —hoy, desgraciadamente, cada vez más frecuentes—; dejaríamos de monitorizar nuestro planeta y de disponer de los datos esenciales del que es sin duda hoy uno de los mayores desafíos de nuestra sociedad: el cambio climático.

El impacto socioeconómico global de este apagón sería extraordinario y ciertamente inasumible. En la Unión Europea, por ejemplo, se estima que más del 10% de su PIB depende actualmente de la disponibilidad de servicios satelitales, una cifra muy superior a la cifra de negocio directa del sector; y que un apagón espacial implicaría una pérdida de entre 500 000 y 1 000 000 puestos de trabajo en nuestro continente [7]. Y esa dependencia no hace más que crecer.

Un análisis detallado de la economía espacial nos revela también una particularidad de gran interés en el sector. Si examinamos el volumen económico global del sector espacial, podemos concluir que el porcentaje de negocio relacionado con la realización y puesta en órbita de la infraestructura espacial, es decir, con el desarrollo y lanzamiento de satélites, es de apenas un 6% del negocio total. Lo que indica esta cifra es que las infraestructuras espaciales *provocan* un efecto multiplicador medio de un factor quince en la economía espacial global. Tal es el caso, por ejemplo, de las mayores infraestructuras de origen institucional europeas, como son el sistema Galileo, el servicio de Copernicus o los satélites meteorológicos *Meteosat* y *METOP*, con factores multiplicativos en la economía todavía mayores. Ese espacio institucional europeo abarca las actividades espaciales de la Comisión Europea, de las agencias espaciales nacionales y, ciertamente y mayoritariamente, de la Agencia Espacial Europea, auténtico responsable del desarrollo en Europa, durante las últimas cuatro décadas, de una industria espacial competitiva a nivel mundial.

La Agencia Espacial Europea: la puerta de acceso al espacio

Tras el lanzamiento por parte de Rusia del *Sputnik* en 1957 y la formación de la NASA en 1958, dos estadistas europeos, el italiano Edoardo Amaldi y el francés Pierre Auger, concibieron, a principios de los años 60, la idea de crear un programa espacial europeo. Fruto de estos esfuerzos, en 1964 se crean las organizaciones internacionales europeas ESRO y ELDO. En sus inicios, sin embargo, los presupuestos de estas organizaciones son todavía muy limitados y los principales países de Europa privilegian los vínculos nacionales bilaterales con la NASA y el papel de sus agencias nacionales.

A principios de los años 70, sin embargo, surge con fuerza entre los países europeos el deseo de que esa colaboración sea mayor y más eficaz. Se decide así, en 1975, fusionar las organizaciones ESRO y ELDO, creándose como resultado la Agencia Espacial Europea.

Con la creación formal de la ESA, gracias al esfuerzo decidido de sus países miembros de lanzar un programa espacial europeo de importancia mundial, Europa se convierte poco a poco en potencia espacial de primer orden.



Figura 2. El logotipo de la ESA en la ventana Cupola de la Estación Espacial Internacional. (Créditos: ESA)

La ESA es hoy la segunda agencia espacial del mundo en presupuesto total, habiendo desarrollado, lanzado y operado con éxito más de 80 satélites hasta la fecha. En el campo de las aplicaciones, Europa dispone hoy con Galileo y EGNOS del sistema de navegación por satélite con mejores prestaciones a nivel mundial; el conjunto de los programas Copernicus, Meteosat/Metop y los Earth Explorers hace que Europa sea, sin ninguna duda, la primera potencia mundial en el campo de la observación de la Tierra; y en el campo de los satélites comerciales de telecomunicaciones, uno de cada tres satélites es desarrollado por la industria espacial europea. En el campo de los lanzadores, Europa dispone de autonomía en el lanzamiento de satélites en cualquier tipo de órbitas y sigue liderando, a pesar de la tremenda competencia mundial

actual, el mercado en el lanzamiento de satélites geoestacionarios. En el campo científico, Europa puede presumir de tener un programa espacial ambicioso, coherente y a largo plazo; un programa al que la mayoría de agencias espaciales quieren adherirse y que permite a nuestros científicos liderar en campos tan importantes como la astrometría, el estudio de exoplanetas o la ciencia cometaria, por mencionar tres ejemplos. En el campo de la exploración, Europa se ha convertido hoy en el socio prioritario de la NASA, coopera además con todas las agencias espaciales del mundo y puede convertirse en un actor fundamental de la exploración lunar y marciana durante esta década.

Todo ello es fruto, sin duda, del éxito de la cooperación entre los distintos países de Europa y de su capacidad de adaptación. Resultado de la voluntad política de los países europeos de construir una colaboración duradera, a pesar de las opiniones muchas veces divergentes entre ellos, haciendo que los avances científicos, tecnológicos y el desarrollo industrial sean el principal motor de esa colaboración. Consecuencia también de la efectiva capacidad de las diferentes organizaciones espaciales europeas de adaptarse a los cambios y a las circunstancias de la historia.

La evolución de la Agencia Espacial Europea en estos casi cincuenta años ha sido extraordinaria, pasando de 10 a 22 países miembros, con un aumento importante también en su presupuesto global y en el alcance de sus programas. En la actualidad, la Agencia Espacial Europea está compuesta de 22 países europeos. En orden alfabético: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Noruega, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza. Junto a ellos, Eslovenia y Letonia son países miembros asociados, y existe también un acuerdo de cooperación especial con Canadá.

Hoy, la Agencia Espacial Europea es posiblemente la única agencia espacial con actividades en todos los campos del sector espacial: lanzadores, ciencia, vuelos tripulados, telecomunicaciones, navegación por satélite, observación de la Tierra, tecnología, y aplicaciones de seguridad y defensa planetaria.

En el campo de la cooperación internacional, la ESA trabaja en colaboración estrecha con las principales agencias espaciales del mundo, destacando de forma particular las colaboraciones en su programa científico. Esta misma década, por ejemplo, el Telescopio Espacial James Webb (JWST), ExoMars 2022 o Bepi-Colombo

serán posibles gracias a la cooperación de científicos e ingenieros europeos con sus homólogos americanos, rusos y japoneses, respectivamente, situando a Europa al frente de la investigación científica mundial.

Me gustaría referirme, a continuación, precisamente a la ciencia, a la época dorada que hoy vivimos y vamos a vivir durante las próximas décadas en astronomía y ciencia planetaria. Un momento crucial para la ciencia espacial en el que Europa, gracias en gran medida al programa científico de la Agencia Espacial Europea, participa de forma muy importante, como veremos a continuación.

Una época dorada para la ciencia espacial

Como indica el programa «Cosmic Vision 2015-2025»¹, referencia estratégica de la ciencia espacial en Europa [8], el objetivo final de nuestras misiones es avanzar en las cuestiones más fundamentales sobre nuestra existencia:

- ¿Cuáles son las condiciones para la formación de planetas y el surgimiento de la vida?
- ¿Cómo funciona el sistema solar?
- ¿Cuáles son las leyes físicas fundamentales del universo?
- ¿Cómo se originó el universo y de qué está hecho?

Ante estas preguntas, y a través de un proceso formal liderado por las motivaciones científicas, se identifica de forma progresiva una hoja de ruta, y a largo plazo, que define la estrategia de misiones de ciencia prioritarias y el desarrollo de las tecnologías necesarias para que esas puedan realizarse.

Vivimos un momento extraordinario de la ciencia espacial, con una plétora de misiones novedosas durante esta década. A la vista de las misiones previstas y el estado actual de la investigación científica, podríamos decir que hay tres campos esenciales en los que se centrará la atención durante los próximos años:

¹ El programa «Cosmic Vision», hoy consolidado, comprende una variedad de misiones científicas que se extienden hasta 2035. El próximo ciclo de planificación del Programa de Ciencia de la ESA, bautizado como «Voyage 2050», está actualmente en proceso de consolidación, con la participación esencial de la comunidad científica [79]. Estos horizontes temporales ilustran la importancia de tener una visión programática en el campo de la ciencia a largo plazo y estable.

- La observación de nuestro universo a través de las ondas gravitacionales.
- La comprensión sobre nuestro universo oscuro: materia y energía oscuras.
- La búsqueda de actividad biológica (vida) fuera de nuestro planeta. Nos referiremos a ellas de forma resumida a continuación.

Ondas gravitacionales

Hablar de ondas gravitacionales es hablar del observatorio LIGO, el Observatorio por Interferometría Láser de Ondas Gravitacionales, cuyas detecciones, gracias a la interferometría láser, han revolucionado la astronomía para siempre. LIGO consta de dos observatorios, el observatorio Livingston, en Luisiana, y el observatorio Hanford, en el estado de Washington. La duplicidad y distancia entre estos dos laboratorios se revela esencial en la confirmación de las detecciones y la eliminación de falsas alarmas. LIGO se complementa con el observatorio europeo VIRGO, cerca de Pisa (Italia), y el observatorio japonés KAGRA, que inició sus observaciones en marzo de 2020 [9].

Tras varias décadas de esfuerzos, y por primera vez en la historia de la humanidad, LIGO permitió la detección de las primeras ondas gravitacionales, fluctuaciones en el tejido del espacio-tiempo, predichas por la teoría de la relatividad general, producidas por cuerpos masivos acelerados y que se propagan como ondas a la velocidad de la luz. El 14 de septiembre de 2015, a las 09:50:45 UTC², las primeras ondas gravitacionales observadas en la historia eran el resultado de la confluencia de dos agujeros negros, cada uno con una masa 30 veces mayor que la del Sol, a una distancia de 410 megaparsecs —unos 1300 millones de años luz—, mientras se acercaban durante los 0,3 segundos finales antes de fusionarse en un único objeto [10].

Ese histórico día de septiembre de 2015, la astronomía, tal como la concebíamos hasta ese momento, cambió para siempre. Disponemos hoy de una nueva y sofisticada herramienta de observación que, como suele ilustrarse en muchas ocasiones, nos permite *añadir sonido a la película de nuestro universo*, hasta

² El anuncio formal público se hizo el día 11 de febrero de 2016, tras un largo proceso de verificación de la validez de los datos.

ahora consistente solo de imágenes, resultado de la observación en la banda electromagnética.

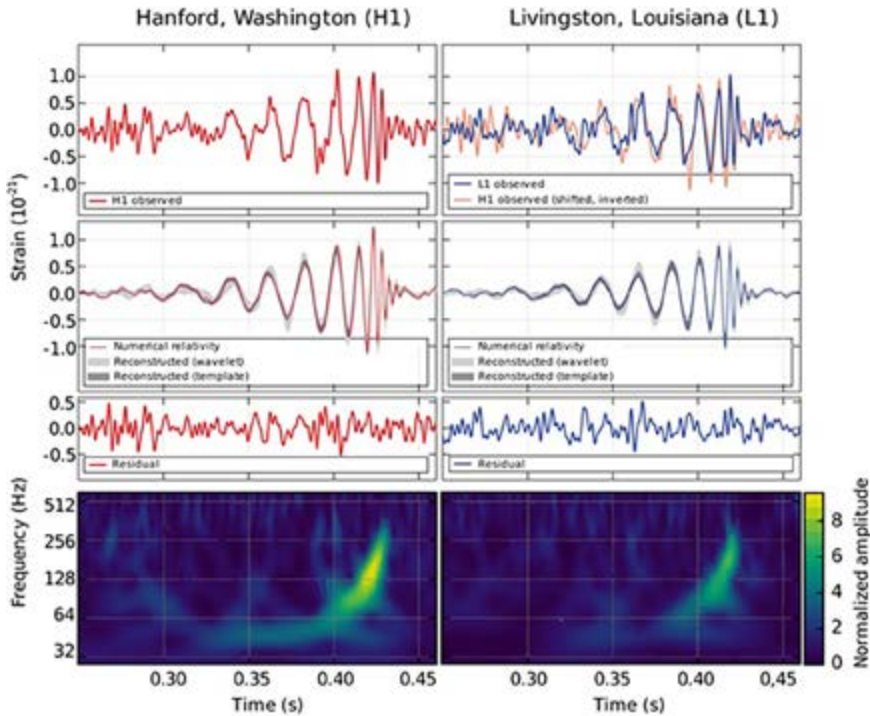


Figura 3. Primera detección de ondas gravitacionales por parte de LIGO Hanford. (Créditos: Physical Review Letters [10])

En reconocimiento de la trascendencia científica de esta primera detección y de las posibilidades de futuro de esta tecnología, los estadounidenses Kip Thorne, Barry Barish y Rainer Weiss fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en octubre de 2017 por su contribución decisiva a la concepción del detector LIGO. Solo unos meses antes, en junio de 2017, esos mismos científicos habían sido ya reconocidos con el Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica, anticipándose de esta forma al clamor de la comunidad científica sobre la extraordinaria trascendencia que la detección de ondas gravitacionales representa.

Esa primera confirmación experimental de las ondas gravitacionales permitía, a la vez, una confirmación clara e indirecta de la existencia de los agujeros negros, confirmación que se hizo definitiva —y mundialmente famosa— con la imagen del agujero-

ro negro supermasivo de la galaxia M87 en abril de 2019, en la constelación de Virgo, gracias al proyecto EHT (Event Horizon Telescope) y la combinación interferométrica de los datos de ocho radiotelescopios terrestres, proyecto en el que participa también nuestro país a través del observatorio IRAM Pico Veleta, perteneciente al Instituto de Radioastronomía Milimétrica.

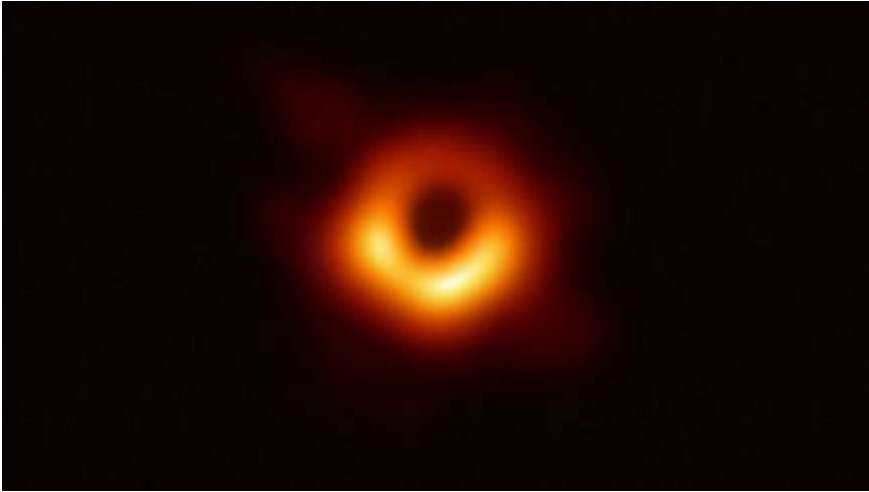


Figura 4. Primera imagen de un agujero negro (centro de la galaxia Messier 87).
(Créditos: EHT Collaboration)

Tras esa primera detección del detector LIGO, han seguido muchas otras en los tres periodos de observación que se han realizado hasta la fecha. Estas detecciones son descritas formalmente a través de los denominados *catálogos de ondas gravitacionales* (GWTC o *gravitational-wave transient catalog*). En su última actualización hasta la fecha, en octubre de 2020, se incluían un total de 39 nuevas detecciones, que, junto a las ya observadas en los dos periodos de observación anterior, hacen un total de 50 observaciones de ondas gravitacionales formalmente catalogadas hasta la fecha [11].

En el análisis astronómico de estas 50 observaciones destacan algunos eventos particulares por el nuevo conocimiento científico que estos aportan o por sus implicaciones novedosas en el campo de astrofísica y de la relatividad general.

No es el objetivo de este capítulo hacer un análisis científico detallado de estas observaciones, pero sí queríamos destacar de forma particular, y por su trascendencia científica, la detección obtenida el 17 de agosto de 2017, otra fecha decisiva en la historia de la astronomía.

La detección GW170817, así denominada, reveló la primera detección de las ondas gravitacionales generadas por la fusión de dos estrellas de neutrones. Después de un viaje de 130 millones de años, el resultado de esa fusión en forma de ondas gravitacionales llegó a los detectores Hanford y Livingston de LIGO, en los Estados Unidos, y al detector VIRGO, en Italia, cuya simultánea observación permitió además identificar rápidamente la localización espacial del origen del evento [12].



Figura 5. Impresión artística de la fusión de dos estrellas de neutrones.
(Créditos: ESA)

A diferencia de las observaciones precedentes hasta esa fecha, todas asociadas a la fusión de agujeros negros, esta nueva detección implicaba la fusión de dos estrellas de neutrones, formadas por materia real. Al fusionarse emitieron un destello de rayos gamma (GRB, en sus siglas en inglés) que pudo observarse a través de los telescopios *Fermi-GBM* e *INTEGRAL*, solo 1,7 segundos después de la detección de las ondas gravitacionales. En los días y semanas posteriores asociadas a este evento, se detectaron emisiones electromagnéticas en rayos X, ultravioleta, en el visible y en infrarrojo. La observación GW170817 se convir-

tió en la primera observación en la historia de la humanidad en que astrónomos de ondas gravitacionales y astrónomos de ondas electromagnéticas pudieron compartir simultáneamente una observación astronómica. El alcance y la magnitud de este hecho no tiene precedentes, habiéndose convertido en uno de los eventos astronómicos más estudiados en la historia de la humanidad. Esta observación fue examinada simultáneamente por un tercio de los astrónomos del mundo, y generó un total de 84 trabajos científicos en el mismo día de la observación.

El número de descubrimientos científicos asociados a esta sola observación astronómica es también enorme. Se ha constatado, por ejemplo, que el resultado de estas fusiones, bautizado como *kilonova*, es responsable de la generación de una gran parte de los elementos más pesados de la tabla periódica, como el oro, el platino o el uranio. Además de confirmar que estas fusiones originan rayos gamma (sGRBs) de corta duración, podemos analizar su funcionamiento interno y sondear una serie de conceptos físicos fundamentales asociados a ellos. Se ha confirmado experimentalmente que las ondas gravitacionales viajan a la velocidad de la luz, un supuesto básico de la relatividad general con base ahora experimental. Se ha podido obtener una nueva verificación del principio de equivalencia y de la covarianza de Lorentz, dos de los principios fundamentales que sustentan la teoría de la relatividad de Einstein. Y se ha podido realizar una estimación original e independiente de la constante cosmológica de Hubble, la me-

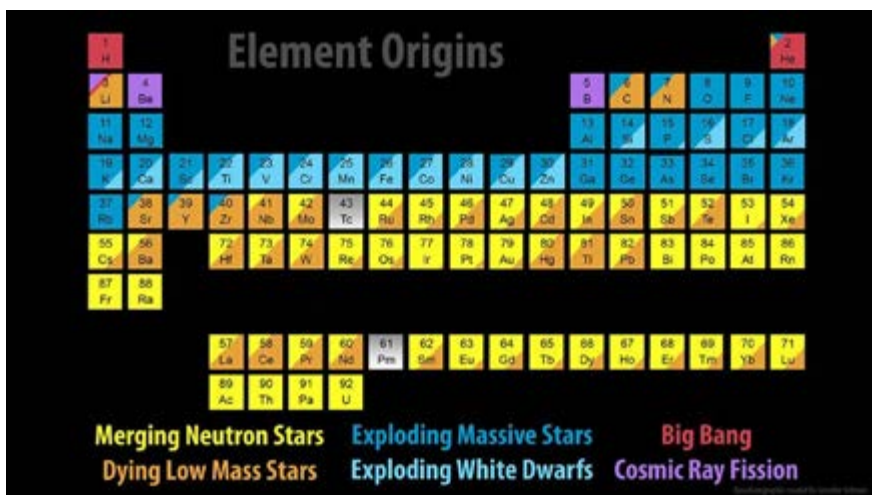


Figura 6. Origen cósmico de los elementos de la tabla periódica. (Créditos: Jennifer Johnson/SDSS/CC BY 2.0)

didada del ritmo de expansión del universo. Una coincidencia temporal de descubrimientos científicos sin parangón en la historia.

Esta observación abre el camino a una nueva ciencia observacional a la que se ha denominado como *astronomía multimensajero* (*multimessenger astronomy*) [13]. Esta nueva perspectiva observacional augura unas posibilidades científicas colosales.

Desde esta detección, los detectores LIGO y VIRGO han sido objeto de varias actualizaciones técnicas, aumentando de forma significativa su sensibilidad y capacidad de observación. Y, ciertamente, podemos esperar nuevas mejoras durante esta década, lo que unido a la integración de nuevos observatorios, como el observatorio KAGRA en Japón, nos permiten augurar una secuencia extraordinaria de nuevas detecciones y descubrimientos científicos en los próximos meses y años. La historia nos demuestra que cada vez que se observa el universo con una nueva tecnología, se hacen descubrimientos nuevos.

Volviendo al campo espacial, en el momento en que se confirmaban la detección de ondas gravitacionales desde observatorios terrestres, y por una maravillosa coincidencia del destino, la mi-



Figura 7. Configuración del experimento tecnológico de la misión LISA Pathfinder. (Créditos: ESA/ATG medialab)

sión *LISA Pathfinder* de la Agencia Espacial Europea, puesta en órbita el 3 de diciembre de 2015, confirmaba experimentalmente que disponemos también de las tecnologías necesarias para la detección en un futuro de ondas gravitacionales desde el espacio.

LISA Pathfinder es una joya de la ingeniería espacial que ha permitido poner en caída libre dos cubos idénticos (de 2 kg y 46 mm) bajo la influencia exclusiva de la gravedad, eliminando toda influencia externa, y de medir su separación con precisiones de picómetros, gracias a la interferometría laser. Los resultados han excedido con creces las especificaciones técnicas iniciales, consiguiendo que esas cargas estuvieran a todos los efectos inmóviles, con una aceleración de una respecto de la otra inferior a una diez millonésima de mil millonésima de la gravedad terrestre [12]. Una precisión necesaria para mapear la levísima curvatura del espacio-tiempo producida por las ondas gravitacionales de la futura misión LISA y un orgullo para la ingeniería europea.

La confirmación de la viabilidad de esta tecnología nos permite concebir una misión dedicada a la detección de ondas gravitacionales desde el espacio. Ese es el objetivo de la misión LISA que nuestros científicos europeos seleccionaran formalmente en junio de 2017 y que, a partir de 2034, complementará a los detectores terrestres.

La observación conjunta de ondas gravitacionales desde detectores terrestres y espaciales augura una revolución científica sin precedentes en nuestra comprensión de la gravedad y del universo. Mientras que las señales detectadas por los detectores LIGO tienen frecuencias de unos 100 Hz, el futuro observatorio espacial LISA concebido por la ESA permitirá captar ondas gravitacionales de entre 0,1 Hz y 0,1 mHz. Esta sensibilidad frecuencial debería permitir captar ondas gravitacionales asociadas a eventos tan extraordinarios como la fusión de agujeros negros supermasivos y, lo que es también de gran importancia, hacerlo meses antes de que estos se fusionen. Según Karsten Danzmann, director del Instituto Max Planck de Física Gravitacional y coinvestigador principal de *LISA*, «con la precisión alcanzada por *LISA Pathfinder*, la futura misión *LISA* debería ser capaz de detectar las fluctuaciones provocadas por la fusión de agujeros negros supermasivos en cualquier galaxia del universo».

Alrededor de 2031, tres años antes del lanzamiento de *LISA*, está previsto que desde la ESA pongamos en órbita el telescopio espacial *Athena* (Advanced Telescope for High Energy Astrophysics),

la segunda gran misión del programa «Cosmic Vision» de la ESA. *Athena*, permitirá el estudio en rayos X de los procesos energéticos asociados con agujeros negros supermasivos. *Athena* está concebida para una vida útil de un mínimo de cinco años, por lo que, si los calendarios de estas misiones se respetan, podremos disfrutar de la operación simultánea de observatorios *LISA* y *Athena* durante unos años. La operación simultánea de estas dos misiones tiene una trascendencia científica muy importante, dadas las sinergias entre sus observaciones respectivas, sinergias analizadas en detalle por el grupo de trabajo Athena-LISA de la Agencia Espacial Europea [14]. *Athena* y *LISA* nos permitirán la observación simultánea en rayos X y ondas gravitacionales de agujeros negros supermasivos, considerada una de las observaciones astronómicas «multimensajero» más interesantes de la ciencia actual.

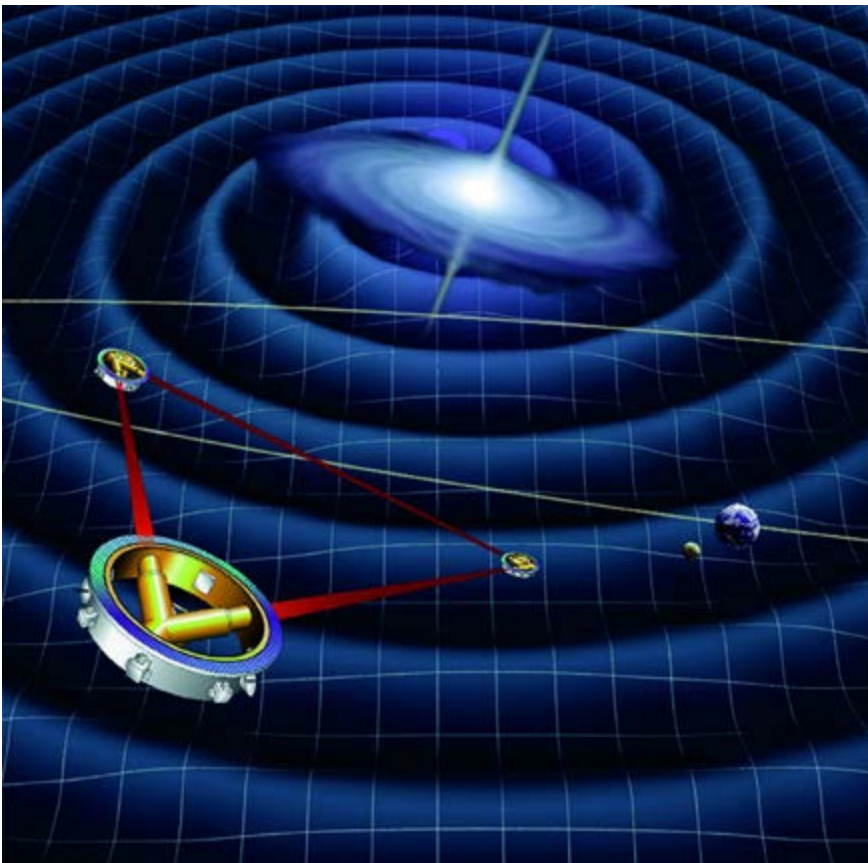


Figura 8. La futura misión LISA permitirá captar desde el espacio ondas gravitacionales de frecuencias de entre 0,1 Hz y 0,1 mHz. (Créditos: ESA)

Es de interés también señalar que, a través de *LISA*, las ondas gravitacionales podrían incluso permitirnos, potencialmente, acceder a la física del Big Bang: los cosmólogos creen que, durante la inflación inicial de nuestro universo, en el momento del Big Bang, las fluctuaciones cuánticas podrían haber producido ondas gravitacionales que potencialmente podrían ser observables con *LISA* [13].

La referencia al Big Bang nos permite introducir el segundo gran pilar de la investigación astronómica de las próximas décadas: comprender la composición de nuestro universo. Y para ello me parece referencia obligada hablar del telescopio espacial *Planck*, de la Agencia Espacial Europea.

El universo oscuro

El 14 de mayo de 2009 pusimos en órbita el satélite *Planck* con un cohete Ariane 5 ECA desde la Guayana Francesa, compartiendo lanzamiento con el telescopio espacial *Herschel*.

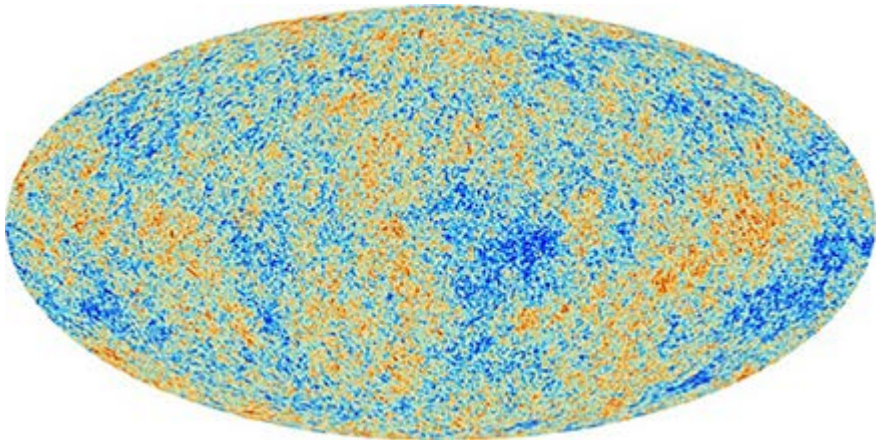


Figura 9. Imagen obtenida con el satélite Planck del fondo cósmico de microondas. (Créditos: ESA and the Planck Collaboration)

La misión *Planck* ha contribuido al conocimiento más detallado hasta la fecha de la radiación de fondo de microondas, una emisión que tuvo lugar hace unos 13800 millones de años, cuando el universo estaba en sus primeras etapas después del Big Bang. Este fondo cósmico de microondas muestra ínfimas fluctuaciones

en la temperatura, anisotropías que se corresponden con regiones que presentaban una densidad ligeramente diferente en los primeros instantes de la historia del universo [15]. *Planck* ha permitido afinar nuestro conocimiento sobre la edad, la expansión, la historia y las proporciones relativas de los ingredientes que componen el universo.

Gracias a los datos del telescopio *Planck* sabemos hoy que la materia convencional, de la que están formadas las estrellas, las galaxias y toda la materia bariónica, constituye apenas un 4,9% de la densidad total de masa/energía del universo. La materia oscura, que hasta ahora solo se ha podido detectar de forma indirecta a través de su interacción gravitatoria con las galaxias o con los cúmulos de galaxias, constituye, según nuestras estimaciones actuales, gracias a *Planck*, un 26,8%. Por otra parte, la energía oscura, la misteriosa fuerza responsable de acelerar la expansión del universo, representa, según nuestros cálculos cosmológicos, el 68,3% [15]. Desconocemos, pues, la constitución del 95% de nuestro universo.

La existencia de la energía y la materia oscura no se puede explicar con nuestro conocimiento actual de la física fundamental y por ello su estudio es esencial, convirtiéndose en una de las cuestiones más importantes de la cosmología moderna y una fuente posible de una nueva física.

Varias de las misiones previstas para la próxima década deberían permitirnos avances esenciales en esta materia. Junto con *Athena* (2031), a la que nos hemos referido con anterioridad, las misiones *JWST* (2021), *Euclid* (ESA - 2022) o *ROMAN* (NASA - 2025), junto a los nuevos telescopios terrestres —como el observatorio Vera Rubin, en el norte de Chile (2022)—, la experimentación con aceleradores de partículas terrestres —como el Gran Colisionador de Hadrones del CERN— y el extraordinario catálogo astrométrico de la misión *Gaia*, actualmente en operaciones, deberían configurar una base experimental sin precedentes en la comprensión de nuestro universo oscuro.

Junto a la observación con ondas gravitacionales y la comprensión del universo oscuro, un tercer pilar esencial emerge con fuerza en la ciencia espacial de esta próxima década: la búsqueda de vida fuera de la Tierra. De nuevo, en este campo la participación europea a través del programa científico de la ESA será decisiva, como explicaremos a continuación.

La búsqueda de vida fuera de la Tierra

De forma resumida, tres son los ejes en los que se concentra la actividad científica en relación a la búsqueda de actividad biológica fuera de nuestro planeta: las posibilidades de encontrar trazas de vida en el planeta Marte; la posibilidad de que la vida haya podido aparecer en los océanos interiores de las lunas heladas de Júpiter o de Saturno; o la posibilidad de mundos con actividad biológica fuera del sistema solar, en exoplanetas que orbitan alrededor de otras estrellas.

La secuencia de misiones previstas durante esta década conforma la mayor cuadrilla tecnológica de buscadores de vida fuera de la Tierra de la historia, concentrándose en esos tres objetivos. Analicémoslos brevemente.

Marte es sin duda el lugar del sistema solar más similar a la Tierra. Nuestros estudios de Marte revelan que cuando la vida surgió en nuestro planeta, hace unos 3500 millones de años, Marte era probablemente un planeta cálido, con océanos líquidos, un campo magnético y una densa atmósfera. En estas condiciones similares, es razonable pensar que los mismos fenómenos que originaron la vida en nuestro planeta pudieron hacerlo también en Marte. Las confirmaciones de la sonda europea *Mars Express* de la existencia hoy de agua líquida bajo capas de hielo en el Planum Australe³, la región polar meridional de Marte [16], y la confirmación de la presencia de metano de forma independiente por *Mars Express* y la misión *Curiosity* [17], son sin duda incentivos adicionales para esa búsqueda detallada. La investigación de Marte concentra actualmente la atención de las principales agencias espaciales del mundo. Este mismo mes de febrero de 2021 hemos presenciado la llegada a Marte de la misión *Mars 2020/Perseverance*, de la NASA; la sonda *Tianwen-1*, de la CNSA, la administración espacial China; y de la misión *Hope*, la primera misión a Marte de los Emiratos Árabes. La coincidencia en el calendario de estas tres misiones obedece a que las tres fueron lanzadas durante el verano de 2020, aprovechando la posición favorable Tierra-Marte que reduce el tiempo de viaje y combustible necesario para misiones marcianas. El *rover Perseverance* de

³ A través del instrumento Marsis (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding) de la sonda europea *Mars Express* se pueden deducir las constantes dieléctricas asociadas a la composición del terreno observado, lo que ha permitido deducir la presencia de materiales acuosos en el polo Sur marciano: un posible lago de unos 20 kilómetros de extensión a 1,5 kilómetros de profundidad, aproximadamente [16].

la NASA merece una atención particular. Posado con éxito en el cráter Jezera de Marte, el 18 de febrero de 2021, *Perseverance* es sin duda hasta la fecha la misión científica más completa en el campo de la astrobiología marciana. Con un total de siete avanzados instrumentos, *Perseverance* permitirá estudiar en detalle la geología y la atmósfera marcianas, analizando de forma particular la evolución de esta interesante región marciana y buscando a la vez trazas de posibles signos de vida pasada. Es de destacar la participación española en este quinto *rover* marciano de la NASA, habiendo contribuido de forma importante en los instrumentos MEDA, dedicados al estudio de la atmósfera y el polvo marciano, y Supercam, compuesto de un láser y de varios interferómetros para el análisis detallado de rocas y minerales marcianos.

Junto a estas tres misiones marcianas lanzadas en el verano de 2020, estaba previsto también el lanzamiento de la misión europea *Exomars 2020*. Sin embargo, debido a un retraso en la realización de algunos de los ensayos de calificación más críticos, y consecuencia también de las limitaciones operacionales asociadas al COVID-19, se decidió aplazar esta misión a la siguiente «ventana» favorable Marte-Tierra, durante el verano de 2022. La misión europea *Exomars 2022* destaca de forma particular. Con su *rover Rosalind Franklin*, esta misión de la ESA será la primera

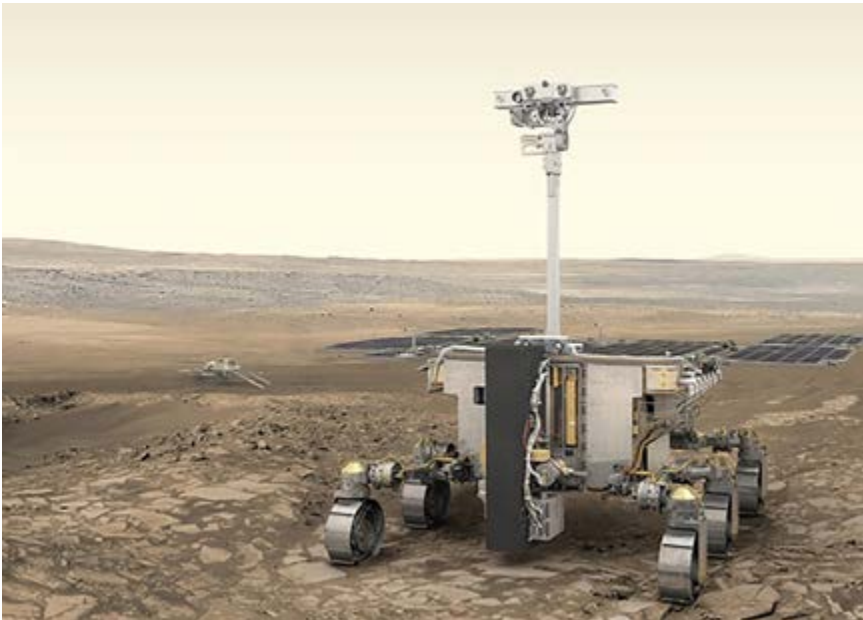


Figura 10. ExoMars rover Rosalind Franklin. (Créditos: ESA/ATG medialab)

en perforar hasta dos metros bajo la superficie para buscar evidencia de vida.

El acceso a estas muestras subterráneas tiene una importante significación astrobiológica, ya que es posible que en estas profundidades, protegidos de la radiación ultravioleta marciana, sea posible detectar biomarcadores que demuestren la posibilidad de actividad biológica en algún momento de la historia de Marte. Todas estas misiones, junto a la futura misión *Mars sample return*, prevista para finales de esta década y a la que nos referiremos más adelante, podrían ayudarnos a responder de forma definitiva sobre esta apasionante cuestión.

La búsqueda de vida en el sistema solar no se reduce al planeta Marte, sino también en las lunas heladas de Júpiter y Saturno — Europa y Encelado, respectivamente—, que podrían albergar entornos habitables. Se cree que las fuerzas de marea producidas por la atracción gravitatoria de Júpiter y Saturno producen el calentamiento necesario para que estos satélites puedan mantener océanos de agua líquida bajo sus cortezas heladas.

En el caso de Encelado, la misión *Cassini-Huygens*, misión con una importante contribución europea, realizó un análisis detallado, a través de su espectrómetro de masas (INMS) y su analizador de polvo cósmico (CDA), de los penachos o géiseres que emite en su polo Sur. Los análisis concluyen que, además de vapor de agua, estos penachos contienen nitrógeno e hidrógeno molecular, metano y dióxido de carbono [18]. Los modelos del núcleo de Encelado indican, además, la presencia de un núcleo rocoso y poroso, que permitiría que esa agua líquida en contacto con el núcleo pudiera calentarse. De esta forma, Encelado reuniría los tres ingredientes básicos para la presencia de vida: agua líquida, los ingredientes químicos orgánicos necesarios y una fuente de energía para su metabolismo. Este descubrimiento sugiere la posibilidad de que en el océano subterráneo de Encelado se estén produciendo reacciones hidrotermales, con un mecanismo similar al que sucede en las zonas abisales de los océanos terrestres, donde reacciones entre el agua y las rocas permiten la existencia de microorganismos que generan energía, transformando el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano; un fenómeno conocido como *metanogénesis* microbiana.

De la misma manera, en el interior del océano de Europa —que se estima podría contener el doble de agua que los océanos de la Tierra— podría suceder un fenómeno similar y albergar vida.

El futuro telescopio *James Webb*, previsto para este mismo año 2021, podría confirmar la presencia de géiseres en Europa⁴ y realizar su análisis espectrométrico. En 2022 está previsto que la ESA ponga en órbita la misión *JUICE* [19], con el objetivo de estudiar en detalle Júpiter y sus grandes lunas Ganimedes, Europa y Calisto. *JUICE*, equipado con diez avanzados instrumentos, llegará al sistema joviano en 2029, y gracias a esta misión, depondremos de una nueva oportunidad científica para la investigación astrobiológica en nuestro sistema solar.

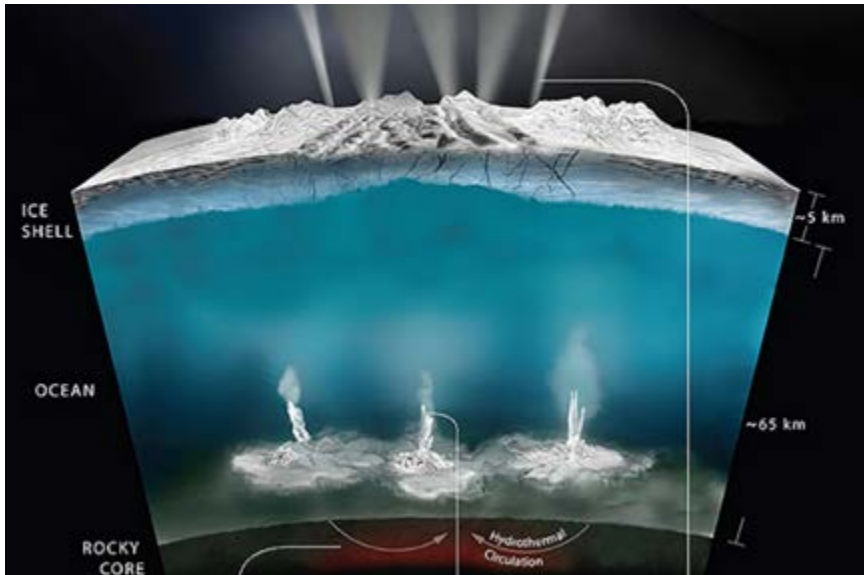


Figura 11. Reacciones hidrotermales y metanogénesis microbiana. (Créditos: NASA/JPL-Caltech/Southwest Research Institute)

La tercera gran pista en esta búsqueda de actividad biológica fuera de la Tierra —y para muchos científicos en el campo de la astrobiología, la más prometedora— es a través de la investigación científica asociada a los planetas extrasolares o exoplanetas.

Desde la histórica detección del primer planeta extrasolar, 51 *Pegasi* b, descubierto por los astrónomos europeos Michel Mayor y Didier Queloz en 1995 [20], se han confirmado a día de hoy (abril de 2021) más de 4300 exoplanetas en un total de unos 3200 sistemas planetarios diferentes [21].

⁴ Observaciones del telescopio *Hubble* y un postprocesado de los datos de la sonda *Galileo* parecen revelar evidencias de plumas o penachos en erupción en la superficie del satélite Europa [80], [81].

El descubrimiento de exoplanetas supone, sin duda, una nueva revolución copernicana en la concepción de nuestro universo, y es por ello que el comité de los premios nobeles reconocía a los responsables de esa primera detección del exoplaneta 51 *Pegasi* b con el Premio Nobel de Física de 2019.

Si bien debemos a los telescopios *Kepler* y, más recientemente, *TESS*⁵ de la NASA una gran parte de estas detecciones de exoplanetas, Europa liderará las investigaciones en este campo durante la próxima década gracias al lanzamiento de cuatro satélites dedicados a la caracterización, búsqueda y análisis de los exoplanetas y sus atmósferas.

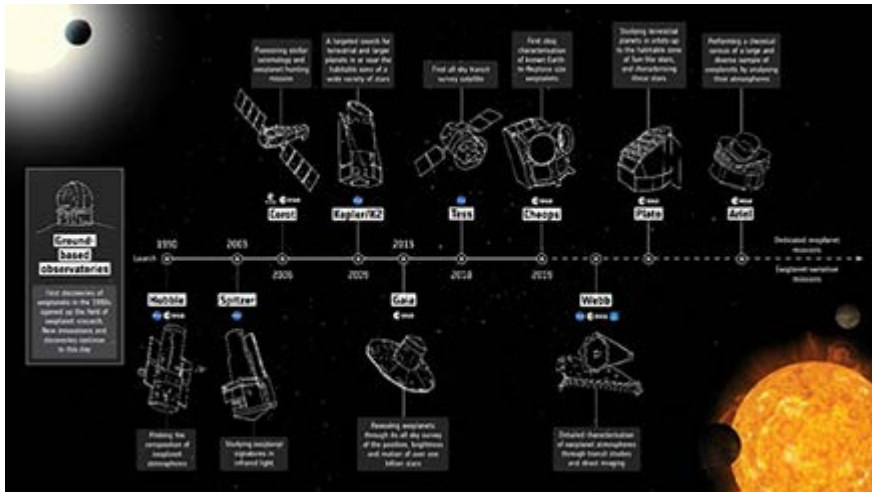


Figura 12. Misiones pasadas, presentes y futuras en el estudio de exoplanetas. (Créditos: ESA)

En efecto, junto al telescopio *James Webb Space Telescope* (2021), en el que Europa participa de forma importante, las misiones de la Agencia Espacial Europea *CHEOPS* (2019), *Plato* (2026) y *Ariel* (2028) revolucionarán durante esta década nuestro conocimiento en este campo⁶. En muy pocos años, gracias a los nuevos telescopios espaciales y terrestres, deberíamos ser capaces de identificar planetas similares a la Tierra en torno a

⁵ Recientemente, en marzo de 2021, la NASA informaba de la detección de más de 2200 exoplanetas potenciales adicionales gracias a la misión *TESS*, desde que inició sus observaciones en julio de 2018 [<https://exoplanets.nasa.gov/news/16777/space-telescope-delivers-the-goods-2200-possible-planets/>].

⁶ *CHEOPS*: CHAracterising ExOPlanet Satellite; *PLATO*: PLANetary Transits and Oscillations of Stars; *Ariel*: Atmospheric Remote – sensing Infrared Exoplanet Large – survey mission.

estrellas similares a nuestro Sol, o poder realizar caracterizaciones espectroscópicas detalladas que revelen la composición molecular de atmósferas de exoplanetas, revelando, quizás, la presencia de marcadores biológicos, o biomarcadores, que podamos asociar a actividad biológica. La presencia simultánea en el espectro del infrarrojo de las líneas de absorción correspondientes al ozono, oxígeno, metano, agua o dióxido de carbono podrían ser conclusivos con la presencia de actividad biológica, es decir, con la presencia de vida. La colaboración entre ingenieros, físicos, astrónomos, biólogos, geólogos y químicos se revela en este campo esencial.

Estamos, sin duda, ante una oportunidad histórica sin precedentes: la posible confirmación de actividad biológica originada fuera de la Tierra, una cuestión cuya trascendencia sobrepasa el campo científico, abarcando cuestiones filosóficas, ontológicas, sociológicas y antropológicas de enorme calado.

Junto a esta época apasionante en el campo de la ciencia espacial, vivimos también un resurgir en el campo de la exploración humana en el espacio. Una nueva era en el campo de la exploración espacial, en el que Europa puede jugar un papel fundamental durante esta década.

Una nueva era para la exploración espacial

Desde el 19 de diciembre de 1972, cuando volvían a la Tierra los astronautas de la misión *Apolo 17*, ningún ser humano ha vuelto a abandonar la órbita baja terrestre. De los cerca de 600 astronautas que han estado en órbita hasta la fecha⁷, de más de 40 nacionalidades diferentes, solo 24 han estado fuera de la órbita terrestre; todos, astronautas de las misiones Apolo.

De esa «guerra fría» de la exploración espacial se pasó de forma gradual a la colaboración internacional en el campo de las misiones tripuladas, siendo la Estación Espacial Internacional (ISS, en sus siglas en inglés) el paradigma de esa nueva etapa.

⁷ Considerando astronauta a todo ser humano que ha sobrepasado la denominada línea de Karman (unos 100 km de altura sobre el nivel del mar), límite entre la atmósfera terrestre y el espacio exterior, según definición de la Federación Aeronáutica Internacional.

La ISS es el proyecto espacial más complejo de la historia. A su construcción han contribuido un total de quince países, con la colaboración de las principales agencias de mundo: la NASA, la agencia espacial rusa Roskosmos, la Agencia Espacial Europea, la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) y la Agencia Espacial Canadiense. Además, son más de 100 los países que han participado en los más de 3000 experimentos realizados en la ISS hasta la fecha.

La estación ISS ha estado habitada sin interrupción desde noviembre del año 2000. A lo largo de esos veinte años, la estación ha recibido la visita de más de 240 astronautas de 19 países diferentes. El balance de estos veinte años de explotación de la ISS es muy positivo, con avances científicos importantes en fisiología humana, biología molecular, biotecnología, ciencia de los materiales, física de fluidos, campo de la combustión, observación de la Tierra o física fundamental.

Esta nueva etapa de la exploración espacial conlleva dos cambios de paradigma esenciales. En primer lugar, la cooperación internacional como fórmula prioritaria en el desarrollo de nuevas misiones; y, en segundo lugar, una participación cada vez más importante de la industria privada en esquemas de cooperación público-privada. Estos son precisamente los dos principios que gobernarán las misiones de exploración humana de la próxima década, a las que me referiré a continuación.

La evolución de la ISS

La propuesta actual de la NASA es extender la vida útil de la ISS hasta 2030, con un plan de transición que permita su sostenibilidad financiera gracias a la aportación adicional de fondos privados. La transición de la ISS hacia una financiación privada es, sin duda, un reto complejo, que precisará la identificación de modelos de negocio con rentabilidad clara. Entre las opciones que se plantea la NASA se incluye la posibilidad de incluir nuevas infraestructuras, desarrolladas y operadas de forma privada.

Desde la Agencia Espacial Europea se comparte esta visión evolutiva de la ISS y ya se han iniciado actividades de partenariado en este sentido. Buen ejemplo de ello son las iniciativas IceCubes y Bartolomeo. El programa IceCubes (International Commercial Experiments Service), por ejemplo, permite un acceso rápido, simple y a bajo coste para experimentos de investigación y de-

sarrollo tecnológico en condiciones de microgravedad dentro del módulo presurizado *Columbus* [22]. La plataforma Bartolomeo⁸, por otra parte, es una nueva instalación privada externa al módulo europeo *Columbus*, que permite actualmente un acceso rápido a doce posiciones diferentes para cargas útiles de experimentación en condiciones de espacio exterior. Bartolomeo, en partenariatio con la empresa Airbus Defence and Space, está especialmente concebida para clientes comerciales e institucionales [23]. Un nuevo paradigma en la explotación de la ISS.



Figura 13. Unidades externas (un total de once) de la plataforma Bartolomeo para experimentación externa al módulo Columbus. (Créditos: Airbus DS)

Las decisiones a medio y largo plazo sobre el futuro de la ISS requerirán el acuerdo de todos sus socios. En el caso europeo,

⁸ Plataforma externa al módulo *Columbus* y llamada así en honor a Bartolomeo, el hermano menor de Cristóbal Colón.

las líneas estratégicas actualmente definidas pasan por: extender su explotación más allá de 2024; optimizar su retorno científico; maximizar el acceso a astronautas europeos; reducir los gastos asociados a su explotación operacional; y promover sus posibilidades comerciales y de parternariado, como hemos explicado anteriormente.

La vuelta a la órbita cislunar

La evolución en el modelo de explotación de la ISS y su transición hacia un modelo más comercial debería permitir a las agencias espaciales concentrarse en nuevos retos. La idea de abandonar de nuevo la órbita terrestre con misiones tripuladas ha ido madurando durante la última década. Hoy la hoja de ruta está esencialmente definida, y debería hacer posible que tan pronto como el año 2022 unos seres humanos orbiten de nuevo la Luna. La estrategia está basada en una arquitectura abierta en torno a dos elementos principales:

1. Un vehículo de transporte de tripulación, las naves Orion, con capacidad para transportar una tripulación de hasta seis astronautas.
2. El desarrollo de una estación en órbita retrógrada cislunar, la estación Gateway, como resultado de la colaboración internacional, contando para ello con los mismos socios de la ISS.

Las naves Orion serán puestas en órbita gracias al cohete *SLS* (*Space Launch System*), el cohete más ambicioso que se ha concebido en toda la historia de la humanidad, alrededor de un 15% más potente que los cohetes *Saturno V* de las misiones Apolo [24].

La primera misión de las naves Orion, *Artemis-1*, está prevista para finales de este año 2021. Esta primera misión, no tripulada, realizará una órbita retrógrada distante alrededor de la Luna y regresará a la Tierra tras unas tres semanas desde su despegue, permitiendo una verificación completa (*end-to-end*) de la correcta integración de todos sus componentes [25].

A la misión *Artemis-1* le seguirá la misión *Artemis-2*, una nave ya tripulada, completando una trayectoria de vuelo ligeramente diferente. Los integrantes de la tripulación de la EM-2 alcanzarán una distancia de 70 000 km más allá de la Luna, la mayor



Figura 14. Las naves Orion de las futuras misiones lunares Artemis.
(Créditos: ESA-D. Ducros)

distancia de la Tierra a la que jamás un ser humano ha estado expuesto, antes de completar un sobrevuelo lunar y regresar a la Tierra.

La Agencia Espacial Europea ha diseñado y desarrollado el módulo de servicio de las naves Orion, módulo responsable de suministrar oxígeno, agua, control térmico, electricidad y el sistema de propulsión. Su diseño y concepción se basan en la experiencia adquirida por Europa en el desarrollo de las naves de carga ATV a la Estación Espacial Internacional⁹. Con su participación en las naves Orion, cincuenta años después de las misiones Apolo, Europa se convierte en un socio clave e imprescindible de la NASA en la futura exploración lunar. Debemos estar orgullosos de ello.

⁹ Entre 2008 y 2014, Europa puso en órbita un total de cinco naves de carga ATV a la ISS: *Jules Verne*, *Johannes Kepler*, *Edoardo Amaldi*, *Albert Einstein* y *Georges Lemaître*.

El segundo elemento en la estrategia de exploración lunar, la estación espacial Gateway, está concebida como una estación multimodular, con seis módulos. Con una masa de unas 40 toneladas, la estación Gateway está previsto que incluya un módulo de servicio, un módulo de comunicaciones, un módulo de conexión, una escotilla de acceso a paseos espaciales, un módulo habitable y una estación de operaciones para comandar el futuro brazo robótico de la estación o los futuros *rovers* lunares.

Europa, a través de la Agencia Espacial Europea, contribuirá a la estación Gateway con los módulos ESPRIT (*European System Providing Refueling Infrastructure and Telecommunications*) y el I-HAB (*International Habitational Module*), el módulo que constituirá el hábitat principal para los astronautas cuando visiten la estación Gateway. El anterior director de la ESA, Jan Wörner, y el antiguo administrador de la NASA, Jim Bridenstine, firmaban el pasado 27 de octubre de 2020 un histórico Memorando de Entendimiento (*MoU*), definiendo los principios fundamentales de esta colaboración tan importante para Europa [26].



Figura 15. Futura estación lunar Gateway.
(Créditos: Thales Alenia Space/Briot)

La estación Gateway estará situada en una órbita de tipo «halo» casi rectilínea (NRHO, *Near-Rectilinear Halo Orbit*), alrededor de la Luna, facilitando su accesibilidad, estabilidad y un contacto permanente con la Tierra.

Está previsto que los astronautas puedan habitar la estación Gateway hasta un total de noventa días de forma consecutiva. Gateway abrirá enormes posibilidades para la exploración espacial futura, permitirá la realización de pruebas tecnológicas avanzadas y avances científicos. Gateway permitirá también el control remoto de misiones robóticas en la superficie lunar y facilitará el acceso a futuras misiones tripuladas, cuya realización será de nuevo el fruto de la colaboración internacional y de la cooperación de industrias privadas.

Junto a la contribución a las naves Orion y a la estación Gateway, dos ejes adicionales constituyen actualmente la base de la contribución europea a la exploración lunar:

- La contribución con el vehículo de logística EL3 (*European Large Logistic Lander*), cuyo objetivo principal es el de proporcionar una capacidad de carga útil logística internacional a la superficie lunar en el rango de 1,5 a 2 toneladas métricas y que esté operativa antes de 2028.
- El sistema *Moonlight/LCNS*, consistente en una miniconstelación para proporcionar servicios de comunicación y navegación por satélite a las futuras misiones de exploración lunar [27].

Estas contribuciones europeas contribuirán, sin duda, al desarrollo de las futuras misiones robóticas y tripuladas a nuestro satélite, misiones que pueden sentar las bases de desarrollos tecnológicos esenciales: el desarrollo de tecnologías que nos permitan superar el problema del impacto de la radiación en el ser humano; sistemas avanzados de soporte vital; o la posibilidad de explotar recursos lunares para asentamientos humanos estables. Todas estas tecnologías podrían aplicarse para futuras misiones tripuladas a Marte, para el beneficio de nuestro planeta o incluso para abrir nuevas posibilidades comerciales y de negocio.

En relación con este punto, la Luna y otros cuerpos celestes contienen materiales de gran valor para la futura exploración espacial o para su uso en la Tierra. En el caso de la Luna, la presencia de hielo en las regiones polares¹⁰ podría ser utilizada en futuras

¹⁰ Gracias a las observaciones del instrumento *Moon Mineralogy Mapper* (M3) de la NASA, a bordo del satélite indio *Chandrayaan-1*, durante 2017 se obtuvieron datos concluyentes de la presencia de hielo en la superficie lunar [74].

misiones de exploración para producir oxígeno, agua potable o combustible para cohetes lunares. La Luna contiene, además, minerales como titanio, hierro o aluminio y una presencia abundante de helio-3 proveniente del viento solar. Potencialmente, y según indican algunos expertos en fusión nuclear, este isótopo ligero podría convertirse en un combustible ideal no contaminante.

Junto a la posible explotación de recursos lunares, se considera hoy seriamente la posible explotación futura de asteroides, lo que se ha venido a denominar como *minería espacial*. Algunos asteroides pueden contener oro, plata, platino, níquel o cobalto, lo que según algunos analistas podrían generar una extraordinaria oportunidad comercial, si se consiguen abaratar los gastos de acceso y explotación. En este sentido, es interesante resaltar el interés particular de Luxemburgo y de su industria, habiendo sido el primer país del mundo en aprobar una legislación específica [28] y habiendo lanzado varias iniciativas institucionales y privadas en esa dirección.

La experiencia con misiones robóticas lunares será esencial en la preparación de nuevas misiones tripuladas en la superficie de nuestro satélite, lo que ciertamente deberá ocurrir durante esta década. Aunque inicialmente se definió la fecha de 2024 para un aterrizaje en el polo Sur lunar, esta fecha no se considera hoy realista y debe redefinirse en el contexto de la nueva presidencia americana de Biden y de la nueva administración de la NASA, consecuencia de este cambio político.

A la espera de una definición más concreta de esa misión de retorno a la superficie lunar, lo que sí es claro hoy es que la estación lunar Gateway conformará un elemento esencial de esta nueva estrategia, una extraordinaria oportunidad para Europa dada su importante contribución en la misma.

Misión robótica a Marte de ida y vuelta

Tras la conquista humana de la Luna, Marte debería ser la etapa siguiente. Sin embargo, a pesar del elevado número de misiones científicas a Marte, hasta la fecha ninguna ha realizado el camino de ida y vuelta. Antes de poder considerar una misión tripulada a Marte, es pues necesario dar ese paso intermedio. Ese es el objetivo de la futura misión *Mars sample return*, realizar ese camino de ida y vuelta, trayendo muestras de Marte a la Tierra para su análisis científico exhaustivo.

Esta misión, pues, además de su extraordinario valor científico, permitirá el desarrollo de varias de las tecnologías necesarias para concebir en un futuro misiones tripuladas en la superficie marciana.

Traer muestras marcianas a la Tierra no es una tarea sencilla. La concepción actual identifica la necesidad de realizar un mínimo de tres misiones desde la Tierra y el lanzamiento de un cohete desde la superficie marciana, algo nunca hecho hasta ahora. La primera de estas misiones, la *Mars2020/Perserverance*, ya está en la superficie de Marte desde febrero de 2021, y será la responsable de recoger las muestras de la superficie marciana (*sample caching rover*), protegiéndolas debidamente en una serie de recipientes. Una segunda misión con un pequeño robot aterrizaría en la proximidad de las muestras para preparar su recuperación (*sample retrieval lander*). Este robot (*sample fetch rover*) debería traer las muestras de vuelta a su módulo de aterrizaje y colocarlas en un vehículo de ascenso a Marte (*mars ascent vehicle*), un pequeño cohete que lanzaría el contenedor con las muestras a la órbita marciana. Una tercera nave en la órbita marciana, el *earth return orbiter*, tendría como misión recuperar en órbita los recipientes con todas las muestras.

Una vez recuperadas las muestras, esta nave regresaría a la Tierra, soltando un vehículo de reentrada con las muestras, que aterrizaría en la Tierra. Allí se recuperarían y se pondrían en cuarentena para su análisis detallado por parte de un equipo de científicos internacionales. Los resultados científicos podrían verificarse de forma independiente por diferentes laboratorios, y las muestras, debidamente conservadas para análisis futuros, en consonancia con los avances de la ciencia.

Los retos tecnológicos de esta misión son múltiples. Por ejemplo, la perfecta preservación de las muestras marcianas es un elemento esencial, minimizando cualquier posible contaminación orgánica o alteración química de las mismas. Al mismo tiempo, todas las naves espaciales destinadas a la superficie marciana deberán incorporar requisitos únicos de protección planetaria [29].

En cuanto a la participación europea, esta fue corroborada durante la última reunión de ministros de la ESA en noviembre de 2019, y está previsto que incluya el orbitador de retorno y el *rover* de recuperación de las muestras.

Una participación importante de Europa en los nuevos proyectos de exploración humana de esta década puede impulsar nuestro

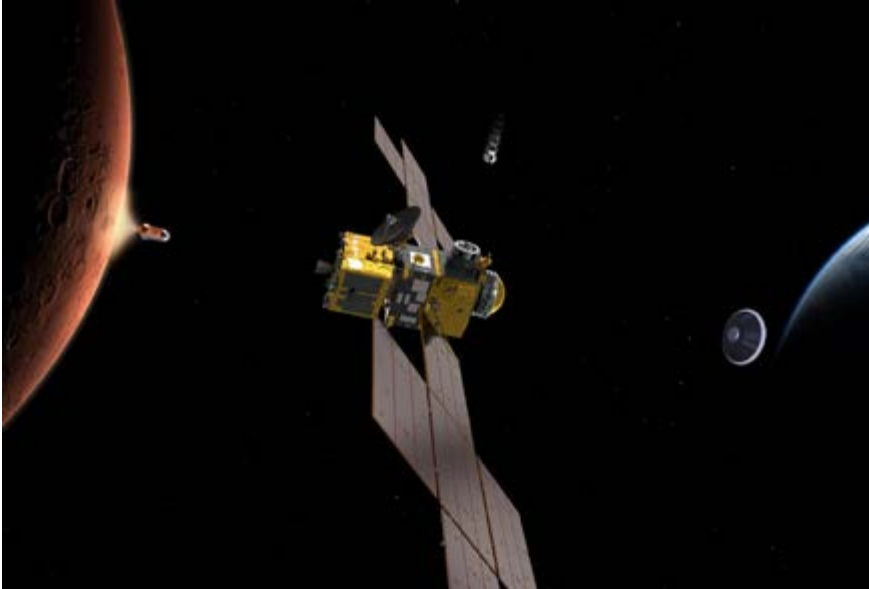


Figura 16. La misión Mars sample return. (Créditos: ESA/ATG Medialab)

desarrollo científico y servir, además, como fuente de inspiración para las nuevas generaciones, invitándolas a seguir carreras tecnológicas y científicas.

Esa importante participación europea en los principales proyectos de ciencia y exploración de esta década, en la futura exploración lunar o marciana, o en el estudio de exoplanetas, se complementa hoy con una posición de liderazgo en la monitorización detallada de nuestro propio planeta, el planeta Tierra, sin duda, hoy, nuestro reto más urgente. A ello nos referiremos a continuación.

El espacio y el cambio climático: un liderazgo europeo

La emergencia epidémica y nuestra dificultad para dar una respuesta eficaz han sido, sin duda, una evidencia clara de nuestra enorme fragilidad ante eventos globales.

Aunque predecir sobre lo ya acontecido es siempre sencillo, hay unanimidad científica de que disponíamos de evidencias suficientes sobre la aparición de este riesgo. La destrucción de la biodiversidad, por ejemplo, consecuencia del cambio climático, es reconocida hoy sin discusión como causa esencial en el aumento radical de los casos de zoonosis, es decir, de enfermedades trans-

mitidas de animales a seres humanos, como ha sido el caso del COVID-19.

Esta relación directa con el cambio climático y las consecuencias que el COVID-19 ha tenido en nuestro planeta, conmocionando todos los órdenes de nuestra existencia, debe, sin duda, movilizarlos hoy más que nunca en una lucha sin cuartel contra el cambio climático. Su mitigación firme y decidida ciertamente no acepta ya más plazos.

La evolución de nuestro planeta y el cambio climático se convierten en efecto en el desafío global más importante al que se enfrenta la humanidad. Así lo refleja claramente el informe anual sobre riesgos globales (*Global Risk Report*) del Foro Económico Mundial de Davos de este año 2021 [30]. Al igual que en 2020, los expertos coinciden en posicionar como preocupación principal para la humanidad el medio ambiente. En su último informe, el Foro Económico Mundial de Davos identifica los eventos meteorológicos extremos, la incapacidad de mitigar las tendencias del cambio climático y los efectos antropogénicos en el medio ambiente como los tres riesgos más importantes a nivel global. Tras ellos, en cuarto y quinto lugar, se identifican la aparición de nuevas enfermedades infecciosas y la pérdida de la biodiversidad en el mundo. Todos ellos consecuencia del cambio climático.

El sector espacial se revela en esta cuestión más necesario que nunca y, ciertamente, decisivo en el destino de nuestro planeta. Podemos decir con cierto orgullo que Europa, gracias a la acción conjunta de la Comisión Europea y de la ESA, y la puesta en marcha del programa de observación de la Tierra más ambicioso del mundo, lidera a nivel mundial este campo de la actividad espacial, hoy enormemente dinámico.

El sector espacial y el cambio climático

Los satélites de observación de la Tierra (EO) representan hoy más de un tercio de los satélites operacionales que orbitan alrededor de la Tierra, con un crecimiento cercano al 250% en los últimos cuatro años [31]. En el caso de Europa, más del 22% del presupuesto global de la Agencia Espacial Europea se dedica hoy a las misiones de observación de la Tierra [32], incluyendo en ellas las misiones meteorológicas, las misiones de carácter científico y los satélites Sentinel del Programa de la Unión Europea Copernicus.

La proliferación de misiones de observación de la Tierra obedece a la necesidad imperiosa de disponer de datos globales, continuos y a largo plazo de las denominadas *variables climáticas esenciales* [33], definidas a través del programa GCOS (Global Climate Observing System) con la contribución de Naciones Unidas. La monitorización de estas variables es clave para la comprensión, diagnóstico y predicción de la evolución del clima global, así como para respaldar la toma de decisiones para su mitigación y gestionar los riesgos asociados. Actualmente se han definido un total de 54 *variables climáticas esenciales*, agrupadas en tres categorías principales: atmosféricas, oceánicas y terrestres.

La monitorización a nivel global de una gran parte de estas variables, el 50% aproximadamente, solo es posible a través de satélites de observación de la Tierra dedicados.

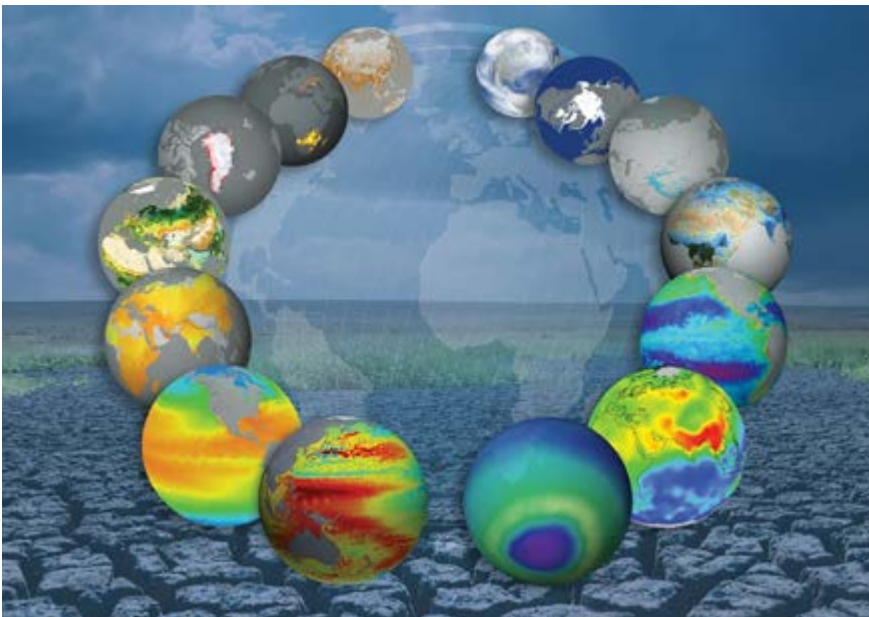


Figura 17. Aproximadamente el 50% de las variables climáticas esenciales precisan monitorización satelital para su cobertura global. (Créditos: ESA)

Esa necesaria observación, global y continua, es precisamente uno de los objetivos principales del programa Copernicus de la Unión Europea, programa que proporcionará el mayor volumen de datos de observación de la Tierra jamás adquirido hasta la fecha. La componente espacial de Copernicus incluye el acceso a satélites nacionales, europeos e internacionales que forman

parte de lo que se denomina *misiones colaboradoras del programa*, siendo los satélites *Sentinel* —gestionados por la ESA— expresamente concebidos para este programa, su núcleo esencial. Actualmente (abril de 2021) hay ocho satélites *Sentinel* en órbita y múltiples contribuciones nacionales. A ellos debemos unir un extenso portafolio de misiones de observación de la Tierra europeas ya definidas para esta década: más de treinta. Entre estas, debemos destacar las misiones ya confirmadas de lo que se denomina *segunda generación* del programa Copernicus, que incluye actualmente las seis misiones siguientes [34]:

- *Sentinel 7 (Anthropogenic CO2 emissions monitoring, CO2M)*: cuyo objetivo es monitorizar el dióxido de carbono presente en la atmósfera como consecuencia de la actividad humana.
- *Sentinel 8 (High Spatio-temporal Land Surface Temperature, LTSM)*: cuyo objetivo principal es monitorizar la temperatura de la superficie terrestre en alta resolución.
- *Sentinel 9 (Copernicus Polar Ice and Snow Topography Altimeter, CRISTAL)*: cuyo objetivo es medir el espesor de la capa del hielo marino.
- *Sentinel 10 (Copernicus Hyperspectral Imaging Mission for the Environment, CHIME)*: cuyo objetivo es apoyar a la gestión de la agricultura sostenible gracias a los datos que suministrará su avanzado espectrómetro en el infrarrojo visible.
- *Sentinel 11 (Polar Imaging Microwave Radiometer, PIMR)*: cuyo objetivo es medir con precisión, a través de un radiómetro de microondas, la temperatura de la superficie del mar, su salinidad y la concentración de hielo marino
- *Sentinel 12 (Radar Observing System for Europe - L-band SAR, ROSE-L)*: cuyo objetivo es la gestión forestal y el control de la humedad del suelo, utilizando para ello un radar de apertura sintética en banda L.

Estas misiones permitirán un análisis global, continuo y fino de nuestro planeta en todas sus dimensiones: atmósfera, hidrosfera, criosfera, biosfera, litosfera, permitiendo la diferenciación entre los efectos naturales y los antropogénicos, consecuencia de la actividad humana.

Estos satélites están equipados con avanzados radiómetros, altímetros, espectrómetros, radares de apertura sintética, fotómetros, cámaras multispectrales y térmicas, detectores de gases

traza, aerosoles atmosféricos, etc. Todos esenciales en ese escáner detallado del estado de nuestro planeta.



Figura 18. El futuro satélite Sentinel-8, Copernicus Land Surface Temperature Monitoring (LSTM), será liderado por la empresa Airbus en España. (Créditos: ESA)

El programa Copernicus es hoy el programa de observación de la Tierra más ambicioso del mundo. Una sinergia acertada entre las actividades y las inversiones de la ESA y la Comisión Europea en este campo, hacen que nuestro continente sea un actor esencial en el sector espacial mundial en relación con el reto más importante al que se enfrenta la humanidad.

Junto a esa monitorización continua, es esencial tener una comprensión científica muy profunda de las variables críticas del sistema de la Tierra. En Europa, el programa «*Earth Explorers*» de la Agencia Espacial Europea es un ejemplo destacable de este objetivo¹¹.

La observación continua y a largo plazo de estos satélites es también fundamental en el análisis de la eficacia de las contramedidas

¹¹ Actualmente hay un total de ocho «*Earth Explorers*» definidos, y cinco de ellos se han puesto ya en órbita: *GOCE*, *SMOS*, *Cryosat*, *Swarm* y la misión *Aeolus*, que ha permitido medir, por primera vez en la historia de forma global, las velocidades de los vientos en nuestra atmósfera.

que puedan tomarse para mitigar el cambio climático. Contraindicaciones que, como todos sabemos, son todavía muy insuficientes. Solamente en 2018, por ejemplo, las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero alcanzaron un máximo histórico de 53,5 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente [35], a lo que habría que añadir las emisiones de metano, óxido nítrico, sulfatos y de otros gases traza.

Se requieren, pues, medidas urgentes por parte de todas las naciones, en política fiscal, innovación y acción climática. No hay alternativa. A propósito de esta cuestión, la visión estratégica de la Comisión Europea aboga por una economía moderna, competitiva y climáticamente neutra de aquí a 2050 [36]. El objetivo es eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero ese año, un escenario que, como indica con acierto la Comisión, requerirá inversiones adicionales significativas en todos los sectores de la economía y una profunda transformación de nuestra industria.

En este contexto, es interesante constatar cómo los mismos satélites de observación de la Tierra que realizan una monitorización crucial y continua de nuestro planeta, se revelan, a la vez, como fuente de oportunidad para nuevas industrias y negocios. En este sentido, la decisión de la Unión Europea de permitir que los datos provenientes de los satélites *Sentinel* estén disponibles en abierto y en tiempo real es profundamente acertada. Copernicus es actualmente el mayor proveedor de datos espaciales del mundo, con una media de 12 terabytes por día, accesibles a través de cinco plataformas basadas en *cloud computing* [37]. El uso de estrategias inteligentes en la explotación de esos datos, con tecnologías como *big data* o *machine learning*, se revela en este punto esencial.

El acceso gratuito y en abierto a estos datos, además de facilitar y maximizar las investigaciones científicas, permite el desarrollo de nuevas empresas y oportunidades de negocio en el contexto de esta transformación industrial tan necesaria. Los ejemplos son múltiples. Por ejemplo, los datos estadísticos de la distribución de vientos en nuestro planeta permite optimizar la localización y rentabilidad de los parques eólicos o la optimización de rutas aéreas y marítimas; los mapas de radiación solar que los satélites suministran permiten pronosticar la generación de energía solar y optimizar su implantación; los datos precisos a corto y mediano plazo del flujo de agua de la nieve derretida pueden ayudar a decidir las inversiones adecuadas en centrales hidroeléctricas y en su gestión; las cámaras multispectrales de nuestros satélites

permiten el monitoreo del cultivo y optimizar la irrigación y el uso de fertilizantes; imágenes satelitales precisas permiten optimizar la construcción de infraestructuras y minimizar el impacto medioambiental; etc.

El sector espacial se revela aquí de nuevo como inversión perfecta, ayudando a la sostenibilidad de nuestro planeta; permitiendo importantes avances científicos y tecnológicos; y posibilitando, a la vez, nuevas oportunidades económicas. Un efecto tractor muy importante. En el caso de Copernicus, las estimaciones de la Comisión Europea es que cada euro que invertimos en el programa producirá un retorno de 10 euros, generando entre 67 000 y 131 000 millones de euros en beneficios para la sociedad europea entre 2018 y 2035, la mayoría de ellos en forma de nuevas industrias y oportunidades de negocio [38].

Como bien indicaba el comisario de Mercado Interior de la Unión Europea, Thierry Breton, durante la última Conferencia Espacial Europea en enero de este año 2021, «las infraestructuras de Copernicus y Galileo deben permitir a Europa liderar la transición ecológica y digital de los próximos años».

Precisamente de Galileo y de su predecesor, el sistema EGNOS, y de la extraordinaria importancia de la navegación por satélite para la economía europea, hablaremos en la siguiente sección.

La navegación por satélite: un sector estratégico para Europa

Saber con precisión dónde estamos y nuestro tiempo de referencia son dos medidas inherentes a nuestra existencia humana y la mayor parte de nuestras actividades. Es por ello que los sistemas de navegación por satélite se revelan hoy como imprescindibles en nuestra sociedad, y esta tecnología ha merecido el calificativo de «quinta utilidad» o «servicio esencial», junto con el agua, la electricidad, el gas y las telecomunicaciones.

En efecto, todos los sectores de la economía se benefician hoy de la navegación por satélite: transporte, energía, turismo, agricultura, pesca, ganadería, ingeniería civil, telecomunicaciones, sector financiero, etc. Su impacto económico es también extraordinario. En el caso de la Unión Europea, por ejemplo, se estima que el 10% de su producto interior bruto depende, en mayor o menor medida, de disponer de estos servicios satelitales. La Unión Europea estima, además, que solo el mercado mundial de

productos y servicios de navegación alcanzará la cifra de 250 000 millones de euros en 2030 [39].

La evidencia de nuestra dependencia económica con respecto a estas tecnologías fue sin duda determinante en la decisión de Europa de implementar sus propios sistemas de navegación, EGNOS y Galileo; una decisión que hoy se confirma extremadamente acertada.

El sistema europeo EGNOS

El desarrollo de la navegación europea en Europa empieza en 1996, con la decisión de implementar el sistema europeo EGNOS, sistema de aumentación de GPS. El sistema EGNOS constituyó el primer paso hacia la navegación independiente por satélite en Europa. EGNOS, gracias a la provisión de un servicio de integridad aplicado a la constelación GPS, hizo posible el uso de la navegación por satélite en las operaciones más exigentes de la aviación civil.

El sistema EGNOS empezó su servicio abierto en 2009 y fue certificado para la aviación civil en 2011. El 17 de marzo de 2011, el aeropuerto francés de Pau, en los Pirineos occidentales franceses, se convertía en el primer aeropuerto de Europa en utilizar el sistema EGNOS. En la actualidad (marzo 2021), más de 385 aeropuertos y helipuertos, y 60 líneas aéreas se benefician del sistema EGNOS para aterrizar, habiéndose convertido en una alternativa muy atractiva para los aeropuertos europeos. En efecto, EGNOS ofrece servicios de navegación equivalentes a *ILS CAT1*, sin la necesidad de realizar inversiones en el equipamiento terrestre. Las mejoras en precisión e integridad asociadas al sistema EGNOS, permiten además una optimización del tráfico aéreo y de las rutas aéreas europeas.

Además, hoy, más del 90% de los receptores comerciales de GNSS están habilitados para utilizar EGNOS, mejorando la precisión de GPS en todo tipo de aplicaciones. De forma muy particular, por ejemplo, en el sector de la agricultura, donde se estima que el sistema es utilizado por alrededor del 80% de los tractores europeos en aplicaciones de agricultura de precisión o guiado y en sistemas inteligentes de transporte terrestre.

Las prestaciones de EGNOS son hoy superiores al de los otros sistemas equivalentes en el mundo y estamos desarrollando ya la tercera generación del mismo, integrando en EGNOS, además

de GPS, el sistema Galileo. La decisión de integrar Galileo en los sistemas de aumentación satelitales de aviación civil (SBAS)¹² es de gran trascendencia estratégica para Europa. Galileo formará parte de los nuevos estándares de la Organización para la Aviación Civil Internacional, la OACI, consiguiendo de esta forma que nuestro sistema europeo se convierta también en un sistema esencial para la aviación civil mundial.

El sistema Galileo

A finales de la década de los noventa, en pleno desarrollo del sistema EGNOS y gracias a la experiencia y conocimiento que se iban adquiriendo en estas tecnologías, surgió el interés de concebir un sistema global de navegación por satélite bajo control europeo. Los múltiples estudios concluyeron finalmente en un sistema de 30 satélites, a una altitud de 23 222 km y distribuidos en tres planos orbitales. El sistema, inicialmente conocido como *GNSS-2*, pasó a llamarse oficialmente *sistema Galileo* en el año 1999.

Un nombre que, además de honrar al astrónomo italiano, se inspira en el servicio que la observación de las lunas de Júpiter, Ío, Europa, Ganimedes y Calisto ofrecía para determinar la longitud de un barco en el mar¹³.

El satélite *Giove-A*, lanzado en 2005, se convirtió en el primer satélite en órbita media europeo de navegación, permitiendo validar las tecnologías más críticas de los futuros satélites del sistema; analizar en detalle los niveles de radiación de sus órbitas, situadas en los cinturones exteriores de Van Allen; y garantizar la protección internacional de las frecuencias del sistema Galileo, tal como exigía la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).

Al *Giove-A* le siguió *Giove-B* en 2008, que incluía por primera vez a bordo una nueva tecnología de relojes atómicos de máser de hidrógeno pasivo (PHM, en sus siglas en inglés), un orden de magnitud más estable que los relojes atómicos convencionales de rubidio y un diferenciador fundamental hoy de los satélites Galileo. Tras *Giove-B*, en 2011 y 2012 se lanzaron los cuatro pri-

¹² SBAS: *satellite-based augmentation system*.

¹³ Es interesante, a este respecto, señalar que dos años después de su descubrimiento, en 1612, Galileo propusiera a la Corona española utilizar los eclipses y ocultaciones de esas lunas con el planeta Júpiter como ayuda a la navegación en el mar [43].

meros satélites ya operacionales del sistema Galileo, los satélites IOV¹⁴. Eso permitió en 2013 validar y cualificar el sistema Galileo.

Tras la fase de validación en órbita, se continuó una fase intensiva de lanzamientos con cohetes Soyuz, en lanzamientos dobles, y con tres lanzamientos de Ariane 5, en lanzamientos cuádruples. Actualmente (abril de 2021) hay 26 satélites Galileo en órbita tras el último lanzamiento de 4 Galileo con Ariane 5, en julio de 2018.



Figura 19. Lanzamiento del cohete Ariane 5 (VA244) con los satélites Galileo 23, 24, 25 y 26, el 25 de julio de 2018. (Créditos: ESA)

El hecho de que la constelación Galileo se concibiera en solo tres planos orbitales, frente a los seis planos de GPS, por ejemplo, facilitó mucho la estrategia de lanzamientos, pudiendo colocar hasta cuatro satélites en el mismo plano orbital en un solo lanzamiento. Eso ha permitido que en un plazo de solo cinco años desde la fase IOV se completara la constelación nominal del sistema.

Desde el 15 de diciembre de 2016, Galileo es oficialmente un sistema operacional. Con 26 satélites en órbita, Galileo permite a Europa disponer de un sistema autónomo y global, convirtiendo a nuestro continente en uno de los actores principales del mundo en este campo. Galileo ofrece hoy un servicio de máxima calidad a cientos de millones de usuarios y está integrado en los terminales móviles de los principales fabricantes del mundo. Se estima que actualmente (abril de 2021) hay del orden de 2000 millones de móviles en el mundo que integran Galileo, y que ese número crece del orden de unos 750 millones al año, es decir, un nuevo receptor

¹⁴ IOV: *in-orbit validation satellite*.

Galileo cada 40 milisegundos. La decisión (noviembre de 2018) de la Comisión Federal de Comunicaciones de los EE. UU. (FCC, en sus siglas en inglés) de autorizar el uso de Galileo también en territorio norteamericano [40] fue sin duda una excelente noticia para la penetración del sistema Galileo a nivel global. Su uso conjunto con GPS, gracias a su interoperabilidad, ofrece grandes mejoras de disponibilidad, especialmente en zonas urbanas.



Figura 20. La constelación Galileo. (Créditos: ESA)

Además de un servicio en abierto y global con precisiones superiores a GPS, el sistema Galileo ofrece un servicio robusto y encriptado para aplicaciones gubernamentales y es, además, el único sistema civil que incorpora de forma operacional un servicio adicional de búsqueda y rescate¹⁵.

¹⁵ A través de una carga útil dedicada, los satélites Galileo contribuyen al servicio internacional del salvamento COSPAS-SARSAT, reduciendo de forma significativa el radio de búsqueda y el tiempo de rescate. Este servicio a través de Galileo incluye además un canal de retorno que confirma a los solicitantes de auxilio que su mensaje ha sido correctamente recibido y que la ayuda ha sido activada [44].

Las perspectivas de Galileo para el futuro son también muy prometedoras. En poco tiempo, Galileo ofrecerá un servicio gratuito de alta precisión (*high accuracy service* - HAS) a través de una señal de navegación adicional, con información de posicionamiento preciso que permitirá alcanzar precisiones decimétricas¹⁶. La decisión de las instituciones de la Unión Europea de ofrecer este servicio en abierto y de forma gratuita es sin duda un gran acierto. Este nuevo servicio supondrá un diferenciador para Galileo de gran valor añadido con respecto a los otros sistemas globales y será un enorme facilitador en el desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios que requieran de alta precisión, como por ejemplo la navegación de drones, la realidad aumentada, los automóviles autónomos o los servicios *vehicle-to-everything*, en la que vehículos conectados se comunican de forma inalámbrica con otros vehículos e infraestructura para evitar colisiones.

Otro diferenciador futuro de Galileo, de gran trascendencia estratégica y comercial, es la inclusión, en breve, de un servicio de *autenticación* de las señales en abierto y comercial [41], haciendo que su servicio de posicionamiento sea robusto frente a posibles ataques maliciosos que pudieran emitir señales similares a las señales de Galileo con el objetivo de provocar errores en los receptores —lo que se denomina técnicamente *spoofing*—. Otro gran acierto de nuestras instituciones europeas, en mi opinión.

La trascendencia del desarrollo de Galileo abarca consideraciones tecnológicas, económicas y geopolíticas de enorme importancia para Europa. Un buen ejemplo de ello son las nuevas regulaciones —o reglamentos— de la Unión Europea en relación al uso de la tecnología GNSS en servicios críticos, regulaciones ahora posibles gracias a la disponibilidad de nuestro propio sistema de navegación. Tal es el caso del servicio *eCall*, obligatorio desde el 1 de abril de 2018 en todos los automóviles construidos en la Unión Europea [42]. Este servicio permite geolocalizar de forma automática a un vehículo en caso de accidente, a través del servicio 112 integrado, reduciendo drásticamente los tiempos de respuesta de los servicios de emergencia. Otras regulaciones asociadas a la utilización de Galileo son el servicio de emergencia E112 en móviles europeos, el tacógrafo digital en camiones o la

¹⁶ Este servicio se basa en el suministro en tiempo real de datos satelitales precisos (relojes y órbitas, principalmente) y de correcciones ionosféricas, a través de un canal de datos adicional de 448 bits por segundo y por satélite, transmitido a través de la frecuencia Galileo E6B [45].

necesidad de asegurar una sincronización con la referencia de tiempo Galileo en algunas infraestructuras críticas europeas.

Galileo es también un impulsor de la innovación europea, ayuda al desarrollo de nuevas tecnologías y capacidades; y contribuye a la creación de nuevos productos y servicios, generando nuevos empleos y oportunidades de negocio. Europa, no es solamente autónoma en el campo de la navegación por satélite, sino que se ha convertido en uno de los actores principales del mundo en este campo.

El desarrollo de Galileo en Europa hace visibles, además, muchas de nuestras fortalezas europeas, que considero es necesario resaltar. La capacidad de organizarnos en un proyecto común, implicando a más de 200 empresas europeas; trabajar con estándares de ingeniería y de desarrollo armonizados, utilizando nuestros mejores ingenieros y capacidades nacionales al servicio de un objetivo común. A pesar de las múltiples dificultades, Galileo ha sabido beneficiarse de la complementariedad y robustez de las distintas instituciones europeas implicadas para responder adecuadamente a las cuestiones más difíciles, técnicas, políticas o regulatorias. Galileo ha sido eficaz en la creación de un orgullo europeo, ha generado riqueza y ha aumentado nuestra influencia en el mundo.

Es de gran interés digerir con atención y profundidad todas las lecciones que hemos podido aprender en el desarrollo de este sistema, para mejorar y para que nos sirvan de referencia en el futuro. Muchas de las complejidades intrínsecas a nuestra construcción europea, que requieren de grandes discusiones y de consensos complicados, son responsables a la vez de la estabilidad de muchos de nuestros proyectos. Galileo sufrió retrasos, problemas económicos y momentos muy difíciles, y, sin embargo, ese mecanismo consensual y la fortaleza de sus instituciones permitió siempre seguir adelante y llevar a buen término el proyecto.

El desarrollo y operaciones de Galileo no puede concebirse, tampoco, sin la participación de nuestro país. Dos de los centros operacionales de Galileo, el centro de servicios Galileo y el Centro de Monitorización de Seguridad, están ubicados en la Comunidad de Madrid. La Agencia Espacial Europea alberga también en nuestro país, en su centro de ESAC, una parte importante de la Oficina Científica de Galileo, un centro de referencia en las aplicaciones de GNSS en el campo de la ciencia. Muchos son los ingenieros españoles implicados al máximo nivel en la gestión del programa

Galileo en sus diferentes instituciones y nuestra industria espacial ha jugado y sigue jugando un papel esencial en el desarrollo de los sistemas EGNOS y Galileo y sus evoluciones. Un buen ejemplo de ello es, sin duda, la adjudicación en 2018 a la empresa GMV del contrato de evolución del Segmento de Control en Tierra de Galileo; un hito para nuestra industria espacial.

La Comisión Europea y la ESA trabajamos ya en la concepción de la segunda generación de Galileo (G2G), con una visión ambiciosa, que debería ofrecernos prestaciones superiores y nuevos servicios. Las actividades de adquisición para los segmentos de sistema, satelital y de tierra se iniciaron ya en 2020 con el ambicioso objetivo de poder ofrecer ya un servicio inicial en el año 2024. En esa dinámica evolución de Galileo se debe tener en cuenta también la necesidad de mantener el servicio actual de forma continua y sin interrupciones, asegurando, por ejemplo, la compatibilidad de G2G con las versiones anteriores del sistema. El objetivo final es mejorar las prestaciones y posibilidades de servicio del sistema, satisfaciendo las nuevas necesidades de los usuarios identificadas a través de un riguroso proceso consultivo por la Comisión Europea. Para ser capaz de ofrecer esos nuevos servicios, es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías. La segunda generación de Galileo incluirá propulsión iónica en los futuros satélites; interconexión satelital en órbita (ISL, en sus siglas en inglés); modificaciones en la señal para una adquisición más rápida y un menor consumo de energía de los receptores; y una mayor digitalización de las cargas útiles, aumentando su flexibilidad y capacidad de reconfiguración a bordo.

La evolución de Galileo debe facilitar todavía más su uso efectivo en contextos como el Internet de las cosas, ciudades inteligentes, guiado automático de vehículos o realidad aumentada, por citar algunos ejemplos. En este sentido, es esencial, y en ello trabajamos en la ESA actualmente, buscar la hibridación y sinergias entre Galileo y la tecnología 5G. La ciberseguridad y la protección eficaz de las señales GNSS es también un área prioritaria. Todo ello debe llevarnos a un futuro en el que la navegación por satélite garantice ubicuidad, precisiones centimétricas, altos niveles de integridad, hibridación con otras tecnologías y robustez.

La dependencia económica y estratégica de Europa del sistema Galileo es de tal importancia que es esencial asegurar su protección contra todo tipo de problema de seguridad o de riesgo, entre los que se encuentra el riesgo que supone la basura espacial en órbita. El debate no es un debate teórico. Recientemente, el 25

de febrero de 2021, el operador del sistema Galileo se vio obligado a realizar una maniobra evasiva por riesgo de colisión del satélite *Galileo GSAT0219* con una etapa superior inerte del cohete *Ariane 4* lanzada en 1989. Esa maniobra obligó al operador a poner el satélite fuera de servicio desde el día 5 de marzo hasta el 19 de marzo, fecha en la que restableció sus operaciones nominales. Vemos, pues, con claridad que el problema de la basura espacial puede tener un impacto en la disponibilidad de nuestras infraestructuras críticas satelitales.

La seguridad de nuestra infraestructura espacial, junto a la seguridad de nuestro planeta a posibles amenazas desde el espacio, constituyen actualmente uno de los ejes programáticos emergentes de más importancia en las actividades de la Agencia Espacial Europea, con varias misiones previstas durante esta década, como comentaremos a continuación.

Espacio, seguridad y protección planetaria

Al hablar de seguridad y protección planetaria, se suelen considerar las siguientes tres principales problemáticas:

1. El problema asociado a los desechos orbitales y a los riesgos de colisión en órbita.
2. La necesaria monitorización de la climatología espacial asociada a la actividad solar.
3. El riesgo planetario asociado a los asteroides en órbitas cercanas a la Tierra.

Este trío programático se suele agrupar en lo que se denomina con frecuencia *conocimiento del medio espacial*, o SSA (*space situational awareness*, en su denominación en inglés). A ellas nos referiremos a continuación.

La problemática asociada a la basura espacial

Desde el inicio de la era espacial, y según nuestros datos en la Agencia Espacial Europea, se estima que se han lanzado un total de unos 10 500 satélites, de los cuales unos 6 000 siguen actualmente en órbita, y, de ellos, unos 3 700 activos [46]. Se estima en unos 560 el número de eventos que han podido producir rupturas, explosiones, colisiones o fragmentaciones en órbita. El balance actual de todo ello es una estimación de la existencia de

unos 34000 objetos en órbita de 10 o más centímetros, de unos 900000 objetos entre 1 y 10 cm y del orden de 128 millones de objetos de entre 1 mm y 1 cm [47]. De todos estos objetos en órbita se monitorizan actualmente del orden de 22000 a través del catálogo del *Space Surveillance Network* (SSN) de los EEUU [48].

Si no se toman medidas efectivas y con cierta urgencia, la situación podría agravarse con consecuencias desastrosas. En efecto, según nuestras estimaciones en la ESA, la evolución a largo plazo del entorno de los desechos espaciales podría llevar a un efecto cascada en el que las órbitas entre 900 km y 1400 km quedarán completamente inutilizadas para servicios operacionales. Este efecto, conocido como *síndrome de Kessler* [49], ha sido demostrado a través de simulaciones en las que los fragmentos actualmente en órbita colisionan con el tiempo con objetos de mayor tamaño, generando como resultado más fragmentos que provocan más y más colisiones. Un efecto cascada con consecuencias catastróficas para nuestros satélites en órbita baja, que podrían quedar inutilizados, y ciertamente para nuestro planeta.

Las pruebas de destrucción de satélites en órbita con misiles, como los ejecutados por China en 2007 y, más recientemente en 2019 por la India, son ciertamente conductas inaceptables internacionalmente, afectando a un espacio común de todos, generando un aumento de la basura espacial y agravando considerablemente este problema.

Una vez más, la cooperación internacional entre las diferentes agencias y Gobiernos se revela esencial. En este sentido, es de destacar la existencia del Comité de Coordinación de Desechos Espaciales Interinstitucional (IADC, por sus siglas en inglés), un foro gubernamental de carácter internacional específicamente constituido para la coordinación en este tema. La Agencia Espacial Europea y cuatro agencias espaciales nacionales europeas (ASI CNES, DLR y la UKSA) son miembros activos de este grupo, convirtiendo a Europa en un líder efectivo en esta cuestión. A través del IADC se ha definido un código de conducta específico y, a través de él, diferentes ejes de acción que deberían realizarse para mitigar este problema [50].

En primer lugar, es necesario mejorar la monitorización del entorno orbital, detectando a tiempo posibles colisiones con satélites activos y evitándolas con procedimientos operacionales adecuados. Los nuevos satélites y las etapas de los cohetes deben respetar, además, recomendaciones operacionales específicas. Por



Figura 21. Impresión artística de la basura espacial en órbita baja.
(Créditos: ESA)

ejemplo, al final de su vida útil, los satélites en órbita baja deben, en un plazo máximo de 25 años, realizar maniobras controladas de reentrada en la atmósfera eliminando todo riesgo de colisión en órbita. Sin embargo, estas directrices son frecuentemente violadas y es prioritario convertirlas en regulaciones formales, como en el caso europeo¹⁷, aplicables a todos, y que puedan ser verificadas.

Junto a estas medidas operacionales, legales y regulatorias, es esencial analizar también estrategias para la reducción de los restos orbitales pasivos más peligrosos. Es de destacar, en ese sentido, la iniciativa «Clean Space» de la Agencia Espacial Europea, que, entre sus múltiples propuestas, incluye la primera misión de demostración de eliminación activa de basura espacial, la misión *ClearSpace 1* [51]. A través de esta misión, está previsto poner en órbita en 2025 un vehículo de captura, el *ClearSpace-1*, que realizará maniobras de acercamiento y acoplamiento

¹⁷ Desde el 1 de abril de 2008, todas las misiones de la ESA incluyen requisitos formales que se deben respetar, derivados del código de conducta del IADC en relación a la problemática de la basura espacial.

con un adaptador de carga útil secundario del lanzador *Vega*, actualmente en órbita pasiva, finalizando con una operación de reentrada en la atmósfera, convirtiéndose con ello en la primera misión de la historia de eliminación de basura espacial.

Esta misión europea es, pues, de una importancia capital para poder mantener a largo plazo los niveles de desechos en órbita bajo control y poder resolver de forma activa esta extraordinaria problemática. Es interesante destacar que este tipo de tecnologías, además de permitir la eliminación potencial de objetos en órbita, pueden potencialmente también ser utilizada para otras funciones complementarias, como el reabastecimiento de combustible en satélites operacionales o su cambio orbital, abriendo pues un abanico de oportunidades comerciales para nuestro continente.



Figura 22. La futura misión ClearSpace-1, primera misión de demostración de eliminación de basura espacial. (Créditos: ClearSpace SA)

A través de la Agencia Espacial Europea y con la colaboración de la Comisión Europea, Europa tiene la oportunidad de liderar muchas de estas iniciativas, en línea con nuestros valores esenciales y en protección también de nuestras infraestructuras espaciales más importantes, como son los sistemas Copernicus y Galileo.

La meteorología espacial y sus riesgos para nuestra economía

La problemática asociada al clima espacial hace referencia a las condiciones ambientales en órbita y el efecto, de forma particular, de las erupciones y de la actividad solar. Son numerosos los

estudios que demuestran el riesgo que para la economía europea pudiera tener un evento solar extremo: el abanico incluye daños o reducción de la vida útil de parte de nuestra infraestructura crítica en órbita; impactos disruptivos en los servicios de telecomunicación, navegación o meteorología espaciales, afectando a su vez a todos los sectores económicos asociados; o incluso interrupciones de servicio en redes de comunicación o de distribución de energía en tierra.

En el campo de la exploración humana, además, un aumento de la radiación debido a alteraciones en la climatología espacial puede generar riesgos en la salud de nuestros astronautas, que puede ser crítico durante futuras misiones lunares, al no poder contrarrestarlo con la protección que el escudo magnético de la Tierra ofrece a las misiones tripuladas en órbita baja. En casos extremos, esos niveles de radiación extremos pueden también llegar a afectar la salud de las personas en vuelos de aerolíneas comerciales de larga distancia.

De nuevo, lamentablemente, este riesgo no es un riesgo teórico de baja probabilidad. Una de las mayores tormentas solares geomagnéticas de las que se tiene registro es la conocida como *Carrington storm*, que aconteció en 1859 y que fue generada por una eyección de masa coronal que impactó con la magnetosfera de la Tierra. A pesar de que el mundo, en 1859, tenía una susceptibilidad tecnológica ínfima comparada con la situación de nuestro mundo actual, este evento provocó una interrupción de los servicios de telegrafía en Europa y América del Norte, provocando incluso lesiones por descargas eléctricas en algunos de los operadores. Según un estudio reciente, un evento similar en nuestros días podría tener impactos del orden de billones de dólares al afectar literalmente a todos los sectores de la economía [52].

La traumática experiencia del COVID-19 debe hacernos reflexionar también sobre otros riesgos posibles globales, que, aunque conocemos, no reciben la atención adecuada en su mitigación. Entre estos, ciertamente, el riesgo de que acontezca una tormenta solar geomagnética mayor en la dirección de nuestro planeta. Después de la experiencia vivida no debemos, ni podemos, resignarnos al destino. Es, pues, necesario un apoyo institucional decidido en misiones de protección.

En este sentido, conscientes de esta problemática mayor, la Agencia Espacial Europea, con el apoyo de sus países miembros, ha



Figura 23. Resumen gráfico de los efectos posibles de un evento solar extremo. (Créditos: ESA)

puesto en marcha una oficina dedicada a la monitorización de la meteorología espacial y ha propuesto la puesta en órbita de una misión de vigilancia y alerta temprana, la futura misión *Lagrange*, que gracias a la colocación de instrumentación de monitorización adecuada en el punto de *Lagrange* L5 del sistema Tierra-Sol, permita identificar con suficiente antelación situaciones de riesgo para nuestro planeta y nuestras infraestructuras, para poder tomar medidas de protección [53].

Junto con los riesgos asociados para nuestro planeta de una actividad solar extrema, no debemos tampoco ignorar el riesgo de colisión de un asteroide cercano a la Tierra (denominados *NEO*, por sus siglas en inglés), una problemática de la que hablaremos a continuación.

La defensa planetaria contra asteroides

Todos podemos recordar el impacto, el 15 de febrero de 2013, de un meteorito en la región rusa de Chelábinsk, provocando más de 1500 heridos y afectando a un total de seis ciudades en la región. Este impacto fue, según las mejores estimaciones,

consecuencia de un meteorito de apenas 20 metros de diámetro que no había podido ser monitorizado con anterioridad. Junto a este evento, ciertamente reciente, podemos mencionar también la explosión en la región de Tunguska, en Siberia, el 30 de junio de 1908, por lo que se cree fue un impacto también de un meteorito, en este caso estimado en unos 190 metros de diámetro [54].

Aunque la frecuencia de estos impactos no es muy grande, sus consecuencias pueden tener dimensiones catastróficas. Como bien sabemos los que trabajamos en ingeniería de sistemas, no es solamente la probabilidad de un evento, sino la combinación con su severidad potencial, lo que determina su importancia como riesgo potencial. Es, pues, necesaria, en primer lugar, una monitorización detallada de los objetos cercanos a la Tierra, susceptibles de implicar un riesgo de colisión con nuestro planeta. En este sentido, desde la Agencia Espacial Europea hemos puesto en marcha, en nuestro establecimiento de ESRIN, en Frascati (Italia), el centro de coordinación de objetos cercanos a la Tierra (NEOCC, en sus siglas en inglés) [55], responsable de calcular las órbitas de asteroides y cometas cercanos, estimando a la vez sus probabilidades de impacto.

El primer objetivo de seguridad definido por la ESA debería permitir que alrededor del año 2030 fuéramos capaces, gracias a esa monitorización, de proporcionar alertas tempranas (de unas tres semanas de antelación) en caso de asteroides peligrosos de más de 40 metros de diámetro [56]. El segundo objetivo de seguridad de defensa planetaria definido por la ESA, ciertamente mucho más ambicioso, sería disponer de la capacidad tecnológica de poder desviar asteroides de hasta 1 kilómetro de diámetro, si estos se identifican con más de dos años de antelación. Es en ese sentido en que se encuadra la misión Hera de la Agencia Espacial Europea, aprobada por sus países miembros durante la reunión ministerial de Sevilla de 2019. Hera es la componente europea de una misión de defensa planetaria a escala completa, complementando a la misión DART de la NASA en sus análisis del sistema de asteroide dual Dydimos, compuesto de dos asteroides de 780 metros y 160 metros de diámetro.

Inicialmente, alrededor del año 2022 la misión DART provocará un impacto cinético sobre el asteroide menor, provocando con ello un cráter local y pequeño cambio en su órbita, cambios que

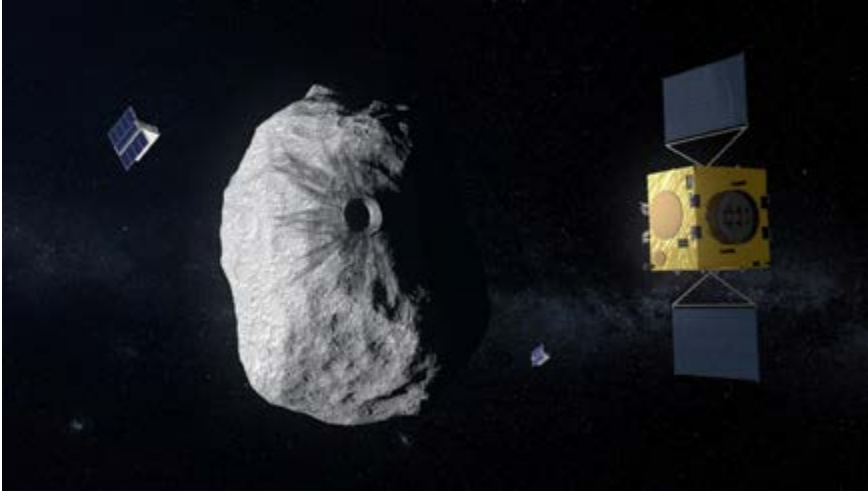


Figura 24. La misión Hera de la ESA tiene como objetivo confirmar la tecnología básica para poder desarrollar una técnica de defensa planetaria comprensible y panificable. (Créditos: ESA-ScienceOffice.org)

serán examinados en detalle unos años más tarde (la previsión actual es 2027) por la misión Hera de la ESA, con el objetivo final de confirmar la tecnología básica para poder desarrollar una técnica de defensa planetaria comprensible y panificable. Ciertamente, una misión de ciencia ficción en la que los europeos debemos estar orgullosos de participar.

Esa participación europea en los programas espaciales, tecnológicos y científicos más ambiciosos del mundo es una oportunidad extraordinaria, a la vez, de reforzar el proyecto europeo. A ello nos referiremos a continuación.

El sector espacial: una extraordinaria oportunidad para Europa

En el nuevo paradigma de la globalización y la emergencia de nuevas potencias en el mundo, la necesidad de una Europa fuerte se revela como absolutamente necesaria para poder seguir teniendo influencia en el nuevo orden mundial. Al mismo tiempo, la nueva realidad en la que vivimos, donde la digitalización y la competencia tecnológica son la clave de la competitividad mundial, nos obliga a desarrollar al máximo las capacidades científicas y tecnológicas de nuestro continente, maximizando las sinergias entre sus grandes universidades, industria y centros de investigación.

En este contexto, el sector espacial se presenta como una oportunidad extraordinaria para ahondar en esos principios y reforzar el proyecto europeo. Mientras que muchos de los logros institucionales que ha conseguido Europa en las últimas décadas aparecen a veces inapreciables o incluso transparentes a nuestros ciudadanos, esos mismos ciudadanos sí son receptivos a las conquistas europeas en el sector espacial. Es fácil de entender para esos ciudadanos, por ejemplo, que, sin la cooperación de todos los países de la Unión Europea, el sistema Galileo no habría podido realizarse. Que sin la contribución conjunta de nuestros científicos e ingenieros europeos, misiones tan emblemáticas para la humanidad como la misión *Rosetta* al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko nunca hubieran sucedido. Nuestro orgullo de europeos se incrementaría si supiéramos explicar bien que Europa es la zona del mundo que tiene más misiones dedicadas a la comprensión y seguimiento del cambio climático; o si consiguiéramos transmitir la idea de que cada astronauta europeo nos representa a todos y que es gracias a nuestra contribución científica y tecnológica que la especie humana va de nuevo a explorar fuera de la órbita terrestre.

Es esencial concienciar a nuestros ciudadanos de que la ciencia y la tecnología *made in Europe* solo es posible gracias a la colaboración entre nuestros países. Una inversión en nuestra unidad como continente, en nuestro sentimiento común como europeos, en nuestro progreso científico y tecnológico, y, además, altamente rentable.

Invertir más en el sector espacial en Europa

El sector espacial es reconocido muchas veces como inversión perfecta: precisa de alta cualificación profesional, genera nuevas tecnologías, es fuente de innovación y provoca avances científicos del máximo nivel; genera, además, un efecto tractor muy importante en otros campos tecnológicos; origina las mejores colaboraciones internacionales; y mejora la calidad de la vida de nuestros ciudadanos.

Si todo esto es así, que lo es, ¿por qué no aumentar esa inversión? Si tenemos en cuenta toda la inversión gubernamental europea en el sector espacial civil, es decir, las contribuciones de la Agencia Espacial Europea, de la Unión Europea y de las agencias espaciales nacionales, la cantidad resultante es del orden de unos 10 000 millones de euros al año. La contribución equivalente en los EE.UU. es de del orden de 40 000 millones, es decir, de cuatro veces más [57]. Además, si tenemos en cuenta el número

de habitantes, se deduce que el gasto público en espacio civil por habitante en los EE.UU. es del orden de seis veces superior al gasto equivalente en Europa. A la vista de todo lo expuesto anteriormente, deberíamos hacer un esfuerzo para reducir esta diferencia. Tenemos hoy en Europa, y eso es lo más difícil de conseguir, la capacidad industrial, científica y universitaria necesaria para absorber ese aumento y producir, con ello, un efecto tractor y multiplicativo en nuestra economía.

Y, seguramente, nuestros ciudadanos europeos estarían a favor. En diciembre de 2018, la Agencia Espacial Europea lanzó una encuesta entre una muestra representativa de adultos de los cinco países más poblados de Europa: Alemania, Reino Unido, Francia, España e Italia [58]. La encuesta revela que una gran mayoría de los ciudadanos de estos países considera importante la inversión en espacio y la colaboración europea en el sector. Más interesante es, en mi opinión, la estimación que los ciudadanos europeos hacen en relación al coste actual de las actividades espaciales por persona y al año. La cifra media estimada es del orden de 245 euros por ciudadano al año. Pues bien, la cifra actual, teniendo en cuenta el gasto de todos los actores, es del orden de solo 20 euros por ciudadano al año, lo que parece indicar que los europeos aceptarían bien un aumento importante, llegando en cualquier caso a cifras muy inferiores a las que ellos estiman hoy.

La tendencia observada en los últimos años parece ser positiva en este sentido. En la última reunión ministerial de la ESA, que tuvo lugar en Sevilla en noviembre de 2019, los países miembros de la Agencia Espacial Europea acordaron lo que es hasta la fecha el mayor presupuesto de la Agencia en su historia, una cantidad de 14400 millones de euros que cubren una parte importante de los gastos previstos en los programas de la ESA durante aproximadamente la primera mitad de esta década. Esta reunión ministerial de la ESA ha tenido una importancia histórica remarcable para nuestro continente, confirmando una participación importante de Europa en las futuras misiones de exploración lunares y marcianas; permitiendo la modernización de nuestros lanzadores; promoviendo la competitividad de la industria europea en el campo de las aplicaciones y el *NewSpace*; aprobando novedosas misiones en el campo de la protección planetaria; y confirmando un aumento importante, por primera vez en los últimos 25 años, en el presupuesto del programa científico de la ESA. En el caso de España, como comentaremos con más detalle en el apartado siguiente, durante esta última reunión ministerial nuestro país

confirmó un aumento en su contribución anual a la ESA del orden del 20%, un aumento necesario y acertado, teniendo en cuenta nuestro peso económico relativo en la Europa espacial y la importante capacidad industrial de nuestro país en el sector.

Junto a ese aumento de la inversión en el sector espacial, es esencial garantizar la calidad de las diferentes instituciones gestoras y una excelente coordinación entre ellas, minimizando el gasto de energías en fricciones no productivas entre ellas. La creciente importancia del sector espacial para la Unión Europea¹⁸, las nuevas instituciones espaciales creadas y previstas por la Comisión Europea¹⁹, la necesaria evolución de la Agencia Espacial Europea, el resultado del Brexit y las nuevas circunstancias del mundo global, exigen esa actitud. Es necesario un esfuerzo colectivo apartando todo tipo de intereses personales, nacionales o institucionales e identificar una estrategia común europea inteligente y pragmática que optimice nuestro potencial, poniendo por encima de toda otra consideración el bien común de los ciudadanos europeos y beneficiándose de las instituciones espaciales europeas existentes. En este sentido, es importante destacar las palabras pronunciadas por el comisario europeo de Mercado Interior el pasado 12 de enero de 2021, Thierry Breton, durante la decimotercera edición de la Conferencia Espacial Europea: «La política espacial europea seguirá dependiendo de la ESA y de su experiencia técnica, de ingeniería y científica única. La ESA seguirá siendo la referencia europea en asuntos espaciales [...] Si queremos tener éxito en nuestra estrategia europea espacial, es esencial tener a la ESA a nuestro lado [59]».

Hacia una colaboración más estrecha con la UE:
Agenda 2025 de la ESA

El 1 de marzo de 2021, el Dr. Josef Aschbacher se convertía en el nuevo director general de la Agencia Espacial Europea, sucediendo en su cargo al profesor Johann-Dietrich (Jan) Wörner.

¹⁸ El pasado diciembre de 2020, el Consejo de la UE y el Parlamento Europeo proponían una resolución que incluía una propuesta del presupuesto de la Unión Europea en espacio para el periodo 2021-2027, con una dotación de hasta 16000 millones de euros [60].

¹⁹ En particular, es de destacar la prevista evolución de la agencia europea GNSS, en la futura Agencia de la Unión Europea para Programas Espaciales (EUSPA, *European Union Agency for the Space Programme*), con un aumento importante de sus tareas y responsabilidades en el sector en Europa.

Apenas unos días después de iniciar su mandato, nuestro director general definía, a través del documento *Agenda 2025* [57], lo que considera son las nuevas prioridades para la Agencia para el periodo 2022-2025. Ese documento estratégico, presentado formalmente a la prensa el pasado 7 de abril de 2021, identifica cinco prioridades principales: fortalecer los vínculos entre la ESA y la Unión Europea; aumentar las actividades que favorezcan la comercialización del sector espacial; el desarrollo de nuevos programas en los campos de seguridad y protección espacial; resolver adecuadamente los desafíos más complejos de los programas existentes; y una evolución/optimización en los procesos internos de la ESA.



Figura 25. El Dr. Josef Aschbacher: nuevo director general de la ESA desde el 1 de marzo de 2021. (Créditos: ESA)

La Agenda 2025 de la ESA destaca, pues, de forma particular la intención clara de consolidar y mejorar las relaciones entre la ESA y la Unión Europea. Una utilización sinérgica, eficaz e inteligente de los recursos y capacidades de la ESA, de la Unión Europea y de sus países miembros es sin duda requisito indispensable para la optimización de esa nueva agenda espacial europea.

Esa Europa espacial, presente y futura, no puede concebirse sin la importante participación de nuestro país, a la que nos referiremos a continuación.

España y el sector espacial

España es un país importante en el sector espacial. Es uno de los diez países que fundaron la Agencia Espacial Europea y el quinto en su contribución total al presupuesto de la ESA, solo detrás de Alemania, Francia, Italia y Reino Unido.

España es, además, el tercer contribuyente europeo en EUMETSAT²⁰, y figura entre los doce países más importantes del sector a nivel mundial [61].

Tanto la industria como la comunidad científica españolas tienen demostradas capacidades y probada competitividad, gozando de gran prestigio en Europa. Un prestigio obtenido a base de un esfuerzo común de más de cuarenta años y la contribución de los mejores ingenieros y científicos de nuestro país. España es actualmente uno de los pocos países del mundo con industrias capaces de implementar un programa espacial completo. Su rango de actividades abarca todos los sectores de actividad: segmento terreno, fabricación de satélites, electrónica embarcada, software de vuelo, mecanismos, antenas, instrumentación científica, lanzadores, operaciones satelitales, servicios y aplicaciones.

Nuestro país es sede, además, de infraestructuras muy relevantes para nuestro sector, como son el Centro Espacial de Astronomía espacial (ESAC), las estaciones espaciales de espacio profundo de Robledo de Chavela (NASA) y de Cebreros (ESA), el INTA y múltiples centros de investigación vinculados a la actividad espacial como son el IAA (Instituto de Astrofísica de Andalucía), el IAC (Instituto de Astrofísica de Canarias) o el CAB (Centro de Astrobiología), por citar algunos ejemplos. Disponemos de dos operadores satelitales, *Hispasat* e *Hisdesat*, y de universidades que imparten estudios en todos los campos necesarios para cubrir todos los aspectos de la actividad espacial. Nuestro país ofrece programas de formación universitarios adecuados para poder trabajar en el sector y surtir a nuestra industria del mejor talento posible.

Disponemos, pues, de industrias, centros de investigación, infraestructuras y universidades con madurez en relación a nuestro sector, para figurar entre los grandes países del mundo en este campo. Sin embargo, durante muchos años nuestra inversión institucional no ha sido acorde con nuestro potencial. No es

²⁰ EUMETSAT: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites.

natural, por ejemplo, dada la importancia de nuestras economías respectivas, que la inversión de nuestro país durante la década 2010-2020 haya sido del mismo orden que la de Bélgica; o que Italia haya invertido del orden de cuatro veces más que España en el sector espacial. Durante los últimos dos años, sin embargo, hemos podido constatar un cambio importante en esta tendencia. En abril de 2019, el Ministerio de Ciencia e Innovación²¹ acordaba elevar los límites la contribución española a la Agencia Espacial Europea para que estos alcancen una contribución acorde al PIB relativo de nuestro país en relación a Europa [62], cerca del 7% del total. Unos meses más tarde, el 9 de noviembre de 2019, el Consejo de Ministros aprobaba un acuerdo para incrementar en 586,7 millones de euros la aportación de España a la Agencia Espacial Europea en el periodo 2020-2026, aumento que se hizo efectivo unos días más tarde, el 27-28 de noviembre de 2019, durante la última reunión ministerial del consejo de la Agencia Espacial Europea, en la que España confirmó una inversión de 1543 millones de euros para el periodo 2020-2026, confirmando ese aumento. Este aumento significativo en la contribución española a la ESA debería permitir a nuestro país participar de forma notable en los nuevos programas de la Agencia para la próxima década, sin duda una gran oportunidad para nuestra industria. Una inversión altamente rentable, con una productividad, por ejemplo, que triplica la media de los otros sectores en nuestro país. Nuestro país no debe renunciar a ninguna acción que favorezca el que podamos estar a la cabeza de la ciencia y el desarrollo tecnológico. No hay alternativa.

NewSpace

Hasta prácticamente finales de los años 80, el sector espacial dependía casi por completo de las inversiones gubernamentales. Una dinámica que cambió radicalmente a principios de los años 90 con el nacimiento de numerosas industrias privadas ofreciendo desarrollo y operaciones de servicios de telecomunicación por satélite, y, ciertamente, durante este siglo con la explosión del sector de aplicaciones espaciales (*downstream*), las nuevas empresas privadas de lanzamiento de satélites y la revolución del *NewSpace*, con la creación de múltiples empresas nuevas en el sector con una clara vocación comercial, y del que hablaremos a continuación.

²¹ En abril de 2019, denominado Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Consecuencia de este cambio de paradigma, hoy, alrededor del 75% de la economía espacial mundial está ya en manos de la industria privada, de carácter eminentemente comercial, con una cifra de negocio de aproximadamente 270 000 millones de euros, siendo el sector comercial de aplicaciones (*downstream*) responsable de más del 95% de esa cifra [63].

La dinámica actual de la industria espacial es enorme: la cifra de negocios se ha duplicado en los últimos diez años y, según un estudio realizado en 2017 por el Bank of America Merrill Lynch, podría multiplicarse por 10 en los próximos veinte años, alcanzando una cifra de negocio cercana a los 2,7 billones de dólares en 2040 [64].

Parte de esta revolución se debe a los avances en tecnologías de digitalización y en la miniaturización de componentes, lo que, junto a una reducción extraordinaria del coste de los lanzamientos, permite hoy una mayor accesibilidad al sector espacial por parte de nuevas industrias; un nuevo paradigma del sector al que frecuentemente se hace referencia a través del término *NewSpace*.

Una parte importante de ese *NewSpace* o «democratización» en el acceso al espacio se debe al enorme progreso en el desarrollo de pequeños satélites (*smallsats*), de menos de 50 kilos. Gracias a la miniaturización, entre otras tecnologías, es posible dotar estos satélites con altas funcionalidades y lanzarlos y operarlos a costes muy bajos, lo que ha abierto grandes posibilidades comerciales. Una industria emergente que crece a ritmos del 20% anual. Solamente entre 2012 y 2018 se lanzaron del orden de 650 *smallsats*, y se estima que ese número podría alcanzar la cifra de 11 000 entre 2018 y 2030 [65]. Una gran parte de estos satélites, cerca del 80%, se dedican actualmente a suministrar servicios comerciales asociados a la observación de la Tierra. En paralelo a este desarrollo del segmento espacial, estamos viendo la aparición de decenas de nuevas *start-ups*, focalizadas en el mercado del lanzamiento de pequeños satélites, entre las que debemos destacar a la empresa PLDSpace en nuestro país.

La globalización y las necesidades de aumentar la conectividad en nuestro mundo han llevado también a una nueva revolución en el sector espacial de las telecomunicaciones, que, junto a la navegación por satélite y la observación de la Tierra, conforman los tres pilares del sector de las aplicaciones. En este sentido, y como parte también de ese *NewSpace*, es de destacar la aparición de las denominadas *megaconstelaciones*, entre las que destaca la

iniciativa Starlink de SpaceX [66], cuyo objetivo es proporcionar servicios de Internet de alta velocidad y baja latencia a nivel global. La dinámica actual es enorme.

A finales de 2020, SpaceX había puesto ya en órbita un total de 800 satélites de su constelación Starlink, y solo durante el mes de marzo de 2021 ha puesto en órbita 240 satélites, lanzados en grupos de 60 satélites por lanzamiento. Ciertamente un nuevo paradigma y una revolución en la concepción, fabricación y lanzamiento de satélites. Según anuncia en su web [67], la compañía Starlink empezará a ofrecer ya este año 2021 un servicio inicial (beta) de acceso a Internet global de 50 a 150 Mbps de velocidad y de 20 a 40 ms de latencia. Junto con Starlink, las empresas OneWeb [68] y Amazon, con su proyecto de constelación Kuiper, de más de 3000 satélites [69], compiten también a nivel global, en esa carrera NewSpace por ofrecer nuevos servicios de Internet de alta velocidad y baja latencia por satélite con cobertura mundial. Esta extraordinaria transformación de la industria espacial ha hecho que las empresas espaciales hayan atraído más de 14800 millones de euros de inversión privada desde el año 2000 [70]. Los éxitos recientes de empresas como SpaceX, Orbital o SkyBox son un atractivo para nuevas iniciativas y nuevos modelos de negocio, «un generador de tecnologías disruptivas»: turismo espacial, minería espacial, eliminación de la basura espacial, generación de energía desde el espacio, hábitats lunares o marcianos..., son ejemplos de lo que podría llegar a generar esa nueva industria espacial en las próximas décadas.

NewSpace: la necesidad de una reacción europea

En su reciente documento estratégico, la Agenda 2025 [57], la ESA destaca como eje prioritario de acción la necesidad de impulsar la comercialización del sector en nuestro continente y de convertir a Europa en un actor clave del *NewSpace*, hoy dominado por los EE. UU., y en el que empiezan a participar también de forma importante Japón, China e India.

Ese boom comercial del sector espacial en los EE. UU. es consecuencia de un apoyo decidido del Gobierno americano, un apoyo que incluso ha provocado que múltiples empresas europeas del sector se instalen en los EE. UU. Una reacción europea es, pues, absolutamente necesaria para que nuestro continente pueda beneficiarse también de esta nueva coyuntura del sector. La Agenda 2025 de la ESA propone para ello centrarse en tres aspectos

esenciales: la generación y retención del talento; una mejora importante en el acceso al capital para inversiones; y acelerar los procesos de innovación y de su entrada en los mercados (*fast innovation*).

Como indica el documento estratégico de la ESA, de la misma manera que Europa, con solo un 16% del gasto espacial mundial, ha conseguido acaparar cerca del 30% de los ingresos en la fabricación de satélites comerciales en 2019, nuestro continente debe incorporarse con urgencia a este nuevo tren de la comercialización espacial.

Conclusiones

En este capítulo hemos revisado la situación actual del sector espacial, destacando su enorme evolución durante sus más de seis décadas de historia. El sector espacial es hoy un sector maduro y diversificado, con carácter global, presente en todas las facetas de nuestra sociedad, con una participación fundamental de la industria privada y con un enorme potencial de crecimiento.

A pesar de que actualmente las inversiones de las agencias gubernamentales constituyen «solo» del orden del 25% del negocio espacial total, estas son ciertamente esenciales en el campo de las misiones científicas; de exploración robótica y humana; infraestructuras gubernamentales esenciales; meteorología; monitorización de la Tierra; lanzadores; como catalizador de la innovación; desarrollo de nuevas tecnologías; y para promover el desarrollo de una industria espacial competitiva. Además, una gran parte del negocio espacial se concentra en el sector de las aplicaciones (*downstream*), que se deriva en gran medida del uso de infraestructuras gubernamentales (como es el caso, por ejemplo, de las aplicaciones asociadas al uso de los sistemas Galileo y Copernicus en Europa, dos infraestructuras de referencia mundial).

En el caso de Europa, ese espacio institucional abarca las actividades espaciales de la Comisión Europea, de las agencias espaciales nacionales y, ciertamente y mayoritariamente, de la Agencia Espacial Europea, auténtico responsable del desarrollo en Europa, durante las últimas cuatro décadas, de una industria espacial competitiva a nivel mundial.

La ESA es hoy posiblemente la única agencia espacial con actividades en todos los campos del sector espacial. Gracias a la cola-

boración entre los países. Europa lidera hoy en múltiples campos del sector, destacando su contribución en ciencia, exploración, observación de la Tierra, navegación por satélite, industria de los satélites de telecomunicación y lanzadores.

En la última reunión ministerial de la ESA, que tuvo lugar en Sevilla en noviembre de 2019, los países miembros de la Agencia Espacial Europea acordaron lo que es hasta la fecha el mayor presupuesto de la Agencia en su historia, una cantidad de 14400 millones de euros para el periodo 2020-2025²², garantizando una participación importante de Europa en las misiones espaciales más ambiciosas de esta década. El desarrollo del primer telescopio espacial de la historia, permitiendo la observación con ondas gravitacionales; una participación importante en múltiples misiones dedicadas a la comprensión de la energía y la materia oscura; un liderazgo firme en el estudio detallado de exoplanetas; junto con una contribución decidida de Europa a la futura exploración lunar y marciana y a misiones de seguridad planetaria, constituyen una agenda apasionante para esta década y una gran oportunidad para nuestro continente.

El 1 de marzo de 2021, el Dr. Josef Aschbacher se convertía en el nuevo director general de la Agencia Espacial Europea, sucediendo en su cargo al profesor Johann-Diettrich (Jan) Wörner. Apenas unos días después de iniciar su mandato, nuestro director general definía, a través del documento *Agenda 2025* [57], lo que considera son las nuevas prioridades para la Agencia para el periodo 2022-2025. Un documento estratégico para el sector espacial europeo que identifica cinco prioridades principales: fortalecer los vínculos entre la ESA y la Unión Europea; el desarrollo de nuevos programas en los campos de seguridad y protección espacial; resolver adecuadamente los desafíos más complejos de los programas existentes; una evolución/optimización en los procesos internos de la ESA; y aumentar las actividades que favorezcan la comercialización del sector espacial. En relación a este último punto, es esencial, como bien identifica el documento de la ESA, impulsar la comercialización del sector en nuestro continente y convertir a Europa en un actor clave del *NewSpace*, hoy dominado por los EE.UU., y en el que empiezan a participar también de forma importante Japón, China e India. De la misma manera que Europa, con solo un 16% del gasto espacial mun-

²² De este presupuesto global, 12500 millones de euros cubren programas del periodo 2020-2022.

dial, ha conseguido acaparar cerca del 30% de los ingresos en la fabricación de satélites comerciales en 2019, nuestro continente debe incorporarse con urgencia a este nuevo tren de la comercialización espacial.

Para poder seguir teniendo influencia en el nuevo orden mundial, la necesidad de una Europa unida, fuerte y tecnológica se revela hoy, más que nunca, absolutamente necesaria, y el espacio, un sector esencial para ello. No lo olvidemos.

Referencias

- [1] Javier Ventura-Traveset, «*Quo vadis Space: una perspectiva del sector espacial y de sus oportunidades de futuro*». Discurso del académico electo Exmo. Sr. D. Javier Ventura-Traveset Bosch, 18 de junio de 2019. ISBN: 978-84-95662-67-5
- [2] *2020 Orbital Launches Year in Review*. <https://brycotech.com/reports>
- [3] *2019 Orbital Launches Year in Review*. <https://brycotech.com/reports>
- [4] *UN Online Index of Objects Launched into Outer Space*. https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id=
- [5] *2020 Global Space Economy at a Glance*, <https://brycotech.com/reports>
- [6] «EU budget: A €16 billion Space Programme to boost EU space leadership beyond 2020». European Commission, Press Release, Bruxelles, 6th of June 2018, http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-4022_en.htm
- [7] *Dependence of the European Economy on Space Infrastructures, Potential Impacts of Space Assets Loss*. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, European Commission. ISBN 978-92-79-60795-0
- [8] *Cosmic Vision. Space Science for Europe 2015-2025*. ESA Publications Division. Noordwijk, The Netherlands. <http://www.esa.int/esapub/br/br247/br247.pdf>
- [9] «KAGRA Begins Initial Observations». <https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20200304>
- [10] B. P. Abbott *et al.* Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, B. P. Abbott *et al.* (LIGO Scientific

- Collaboration and Virgo Collaboration) Phys. Rev. Lett. 116, 061102 (2016).
- [11] GWTC-2 Gravitational-Wave Transient Catalog 2. <https://www.ligo.org/science/Publication-O3aCatalog/>
- [12] B.P. Abbott et al. GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral, (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration), Phys. Rev. Lett. 119, 161101 (2017).
- [13] Multi-messenger astronomy: gravitational waves, neutrinos, photons, and cosmic rays, Marica Branchesi 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 718 022004.
- [14] Athena-LISA Synergy Working Group. https://www.cosmos.esa.int/documents/678316/1700384/Athena_LISA_Whitepaper_Iss1.0.pdf
- [15] «Planck desvela un universo casi perfecto: el fondo cósmico de microondas desvelado por Planck». https://www.esa.int/es/ESA_in_your_country/Spain/Planck_desvela_un_Universo_casi_perfecto
- [16] Radar evidence of subglacial liquid water on Mars, R. Orosei et al. Science 03 Aug 2018: Vol. 361, Issue 6401, pp. 490-493 DOI: 10.1126/science.aar7268
- [17] Independent confirmation of a methane spike on Mars and a source region east of Gale Crater, M. Giuranna, Nature Geoscience (2019), April 2019, <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0331-9>
- [18] Cassini finds molecular hydrogen in the Enceladus plume: Evidence for hydrothermal processes, J. Hunter Waite et al. Science 14 Apr 2017: Vol. 356, Issue 6334, pp. 155-159, DOI: 10.1126/science.aai8703
- [19] *Jupiter ICy moons Explorer, Exploring the emergence of habitable worlds around gas giants*. Mission Summary. <http://sci.esa.int/juice/50067-mission-summary/>
- [20] A Jupiter-mass companion to a solar-type star, Mayor, Michael; Queloz, Didier (1995). Nature 378 (6555): pp. 355-359.
- [21] Nasa's Exoplanets archive. <https://exoplanets.nasa.gov/>
- [22] IceCubes Space Applications Services, ESA. <http://www.ice-cubesservice.com/>
- [23] Bartolomeo, early Access to the ISS, Airbus DS. <https://www.airbus.com/space/space-infrastructures/bartolomeo.html>

- [24] «NASA Space Launch System». <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/index.html>
- [25] «Exploration Mission-1 map», NASA. <https://www.nasa.gov/image-feature/exploration-mission-1-map>
- [26] *Signing ESA-NASA Gateway Memorandum of Understanding*. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/10/Signing_ESA-NASA_Gateway_Memorandum_of_Understanding
- [27] «Moonlight: connecting Earth with the Moon». https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Lunar_satellites
- [28] «A legal framework for space exploration». <https://spacere-sources.public.lu/en.html>
- [29] Challenges of a Mars simple return mission from the samples perspective – contamination, preservation, and planetary protection, C. Allen et al., Concepts and Approaches for Mars Exploration (2012), June 12-14, 2012, Houston, Texas.
- [30] *The Global Risks Report 2021*, 16th edition. http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf
- [31] *UCS (Union of Concerned Scientists) Satellite Database*, Jan 2019. https://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database?_ga=2.21168895.576778038.1554626468-1092692463.1554216706XDZDs2l7ksc
- [32] «ESA Budget 2021». https://www.esa.int/Newsroom/ESA_budget_2021
- [33] «Essential Climate Variables», World Meteorological Organisation. <https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables>
- [34] «Contracts awarded for development of six new Copernicus missions». https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Contracts_awarded_for_development_of_six_new_Copernicus_missions
- [35] *Informe sobre la disparidad en las emisiones de ONU-Medio Ambiente*, novena edición. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Paris, noviembre 2018.
- [36] *A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank. COM(2018) 773 final. Bruxelles 2018.

- [37] «Data and Information Access Services» (DIAS) platform. Copernicus programme. <https://www.copernicus.eu/en/access-data/dias>
- [38] Regulation of the European Parliament and of the Council establishing the space programme of the Union and the European Union Agency for the Space Programme and repealing Regulations (EU) No 912/2010, (EU) No 1285/2013, (EU) No 377/2014 and Decision 541/2014/EU.
- [39] *GNSS Market report*. European GNSS Agency (GSA), Issue 6, 2019.
- [40] Waiver of Part 25 Licensing Requirements for Receive-Only Earth Stations Operating with the Galileo Radionavigation-Satellite Service, Nov 16, 2018, FCC-18-158A1_Rcd.pdf.
- [41] «Assuring authentication for all». European Global Navigation Satellite Systems Agency, GSA. <https://www.gsc-europa.eu/news/assuring-authentication-for-all-3>
- [42] *Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2015, relativo a los requisitos de homologación de tipo para el despliegue del sistema eCall basado en el número 112 integrado en los vehículos*, Reglamento (UE) 2015/758. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0758&from=EN>
- [43] A. Poveda *et al.* «Galileo y los satélites de Júpiter». México: Instituto de Astronomía, UNAM.
- [44] «Search and Rescue (SAR), Galileo Service». European Global Navigation Satellite Systems Agency, GSA. <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/services/galileo-search-and-rescue-sar-service>
- [45] I. Fernandez-Hernandez *et al.* «Galileo High Accuracy: A Program and Policy Perspective». 69th International Astronautical Congress, Oct 2018, Bremen, Germany.
- [46] «New ESA-UNOOSA debris infographics and podcast». https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/New_ESA-UNOOSA_debris_infographics_and_podcast
- [47] «Space Debris by the numbers». European Space Agency, ESA's Space Debris Office, January 2019. http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers
- [48] «Space Surveillance Network» (SSN). U.S. Army, Navy and Air Force. United States Space Surveillance Network | Military Wiki | Fandom (wikia.org)

- [49] Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt, D. Kessler et al. *Journal of Geophysical Research*. 83: 2637-2646, 1978.
- [50] «IADC Space Debris Mitigation Guidelines». IADC-02-01 Revision 1 September 2007.
- [51] «ESA purchases world-first debris removal mission from start-up». https://www.esa.int/Safety_Security/ESA_purchases_world-first_debris_removal_mission_from_start-up
- [52] «The Economic Impact of Space Weather: Where Do We Stand?». <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/risa.12765>
- [53] «Lagrange mission– providing solar warning». www.esa.int/Safety_Security/Lagrange_mission_providing_solar_warning
- [54] «Planetary defence». www.esa.int/Safety_Security/Hera/Planetary_defence
- [55] Near-earth objects coordination centre. <https://neo.ssa.esa.int/>
- [56] ESA Safety & Security Missions: «Plans for the future». www.esa.int/Safety_Security/Plans_for_the_future
- [57] *ESA Agenda 2025*. https://download.esa.int/docs/ESA_Agenda_2025_final.pdf
- [58] *The space report: the Authoritative Guide to Global Space Activity*. <https://www.thespacereport.org/>
- [59] «Speech by Commissioner Thierry Breton at the 13th European Space Conference», 12 de enero de 2021. https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2019-2024/breton/announcements/speech-commissioner-thierry-breton-13th-european-space-conference_en
- [60] *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing the space programme of the Union and the European Union Agency for the Space Programme and repealing Regulations (EU) No 912/2010, (EU) No 1285/2013, (EU) No 377/2014 and Decision 541/2014/EU*. <https://www.consilium.europa.eu/media/37659/st15767-en18.pdf>
- [61] *The space report: the Authoritative Guide to Global Space Activity*. <https://www.thespacereport.org/>
- [62] «Participación española en los programas espaciales de la Agencia Espacial Europea». Consejo de Ministros, 26 de abril de 2019. <http://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/Paginas/enlaces/260419-enlace-espacial.aspx>
- [63] *The Space Economy Report 2019*. Euroconsult, December 2019.

- [64] *To Infinity And Beyond – Global Space Primer*. Bank of America Merrill Lynch, October 2017.
- [65] «State of the Small-satellite Industry in Q3, 2018». Frost&Sullivan, Dec. 2018. https://go.frost.com/EI_PR_JHolmes_ME57_SmallSatelliteQ3_Dec18
- [66] *Starlink Mission Overview*. SpaceX. www.spacex.com/sites/spacex/files/starlink_press_kit.pdf
- [67] Web oficial de la empresa Starlink, Space X: <https://www.starlink.com/>
- [68] Web oficial de la empresa OneWeb: <https://www.oneworld.com/>
- [69] «Amazon receives FCC approval for Project Kuiper satellite constellation». <https://www.aboutamazon.com/news/company-news/amazon-receives-fcc-approval-for-project-kuiper-satellite-constellation>
- [70] *The future of the European space sector How to leverage Europe's technological leadership and boost investments for space ventures*. European Investment Bank, 2019.

Capítulo segundo

Ciencia desde el espacio

Isabel Pérez Grande

«Nada en la vida es para ser temido, es solo para ser comprendido. Ahora es el momento de entender más, de modo que podamos temer menos»

Marie Curie (1867-1934)

Resumen

El acceso al espacio en los años 50 del siglo pasado abrió una puerta sin precedentes para la actividad científica. Por una parte, permitió observar tanto el sistema solar como el cosmos desde fuera de la atmósfera terrestre, pudiendo captar de este modo la radiación ultravioleta o los rayos X, no accesibles desde la superficie terrestre. Además, la posibilidad de acercarse mediante sondas espaciales al objeto de estudio (al Sol, a los planetas y sus satélites, cometas, etc.) ha permitido conocer mejor el sistema solar y sus orígenes. Por otra parte, el poder observar nuestro planeta desde fuera, además de permitirnos conocer mejor cómo es y cómo evoluciona, ha proporcionado una infinidad de datos que han desembocado en numerosas aplicaciones utilizadas en nuestro día a día. En este artículo se repasan las principales actividades científicas realizadas desde el espacio desde el comienzo de la carrera espacial, principalmente aquellas desarrolladas en Europa.

Palabras clave

Ciencia espacial, exploración espacial, astronomía, observación de la Tierra, microgravedad.

Science from space

Abstract

Access to space in the 1950s opened an unprecedented door for science. On one side, it allowed to observe the solar system as well as the cosmos, from outside the Earth atmosphere, and capture ultraviolet radiation or x-rays, which did not reach the Earth's surface. In addition, the possibility of approaching the subject matter (the Sun, planets and their satellites, comets, etc.) through space probes has translated into a better understanding of the Solar System and its origins. On the other side, the ability of observing our planet from the outside has provided countless data which have led to a myriad of day-to-day applications. Furthermore, it has allowed us to investigate in a greater extent our planet and how it evolves. This article outlines the main scientific activities that have been made from space since the beginning of the space race, especially those developed in Europe.

Keywords

Space science, space exploration, astronomy, Earth observation; microgravity

El acceso a la ciencia desde el espacio

En los albores de la carrera espacial, iniciada en los años 50 del pasado siglo xx, en plena Guerra Fría, las motivaciones detrás de una actividad frenética en espacio, soportada por las grandes inversiones realizadas por parte de las dos grandes potencias, Estados Unidos y la Unión Soviética, se mostraron fundamentalmente como motivaciones políticas y estratégicas. Ambos países querían alcanzar una posición de supremacía tecnológica, con todas las connotaciones que ello implicaba en aquel contexto de confrontación internacional. Esta actividad desencadenó un gran número de lanzamientos de satélites artificiales al espacio que culminó con la llegada del hombre a la Luna en 1969.

A pesar de que el estímulo fue fundamentalmente político, desde el momento inicial el acceso al espacio llevó consigo una actividad científica sin precedentes. Los primeros satélites soviéticos *Sputnik I* y *II*¹ (1957) estaban equipados, el primero, con instrumentos que permitían obtener la concentración de electrones en la ionosfera, y el segundo con dos espectrómetros destinados a medir la radiación solar en la banda del ultravioleta y de rayos X y con un detector de rayos cósmicos. Asimismo, esta segunda misión llevaba experimentos relacionados con el comportamiento de los seres vivos en el espacio. Por la parte americana, la primera misión estadounidense, el *Explorer I*² (1958), portaba un detector de rayos cósmicos que permitió, gracias a la excentricidad de su órbita, descubrir los cinturones de Van Allen, esas regiones de la magnetosfera terrestre con forma tórica en las que se acumulan un gran número de electrones y partículas cargadas procedentes de la corona solar, que quedan atrapadas en esas zonas al interactuar con el campo magnético terrestre. Desde entonces, a pesar de la diversidad de misiones espaciales existentes hoy en día y del hecho de que los desarrollos tecnológicos han permitido ampliar su alcance al sector comercial, incluyendo actividades de telecomunicaciones, posicionamiento, defensa, etc., la ciencia es uno de los pilares fundamentales en los que reside la actividad espacial. La posibilidad del acercamiento a objetos del sistema solar para su estudio in situ, de poder observar el firmamento desde fuera de la atmósfera, de ver la Tierra desde

¹ Y. Galperin, T. Mulyarchik, *Sputniks, the atmosphere and electrons explorers*, *Current Science* Vol. 31, No. 11 (1962), pp. 453-455.

² G. T. Robillard, *The Explorer Rocket Research Program*, NASA Doc ID 19650068117 (1958).

el espacio o de operar en condiciones de microgravedad, abren un sinnúmero de oportunidades de investigación no disponibles desde la superficie terrestre.

Investigación desde el espacio

Resulta complejo clasificar la actividad científica realizada desde el espacio en áreas temáticas, ya que son numerosas las disciplinas involucradas, abarcando desde áreas científicas convencionales como astrofísica, astronomía, geofísica, meteorología, biología, medicina, química, materiales, física de partículas, física de fluidos, ingeniería, etc. hasta áreas relacionadas con el comportamiento humano como la psicología. Además, la ciencia espacial puede considerarse en muchos casos una disciplina multidisciplinaria, con actividades transversales a muchas ramas del conocimiento. Asimismo, mirando el objeto de estudio, abarca desde el estudio de la superficie de la Tierra, de todo el sistema solar, de nuestra galaxia y del universo o de los materiales y el ser humano en condiciones espaciales, expuestos a la radiación ionizante y en condiciones de microgravedad.

Resumimos a continuación los cuatro grandes grupos en los que se pueden enmarcar la mayor parte de las actividades de investigación científica desde el espacio, y que se describirán en las siguientes secciones:

- El sistema solar
- El estudio del cosmos
- La observación de la Tierra
- Ciencia en microgravedad: seres vivos, física de fluidos y materiales

De forma transversal y/o complementaria a esas áreas, encontramos los estudios relacionados con dinámica orbital, mecánica del vuelo y sistemas de propulsión, así como todos los desarrollos científico-tecnológicos necesarios para llevar a cabo las misiones espaciales.

La actividad científica espacial en España se enmarca fundamentalmente dentro de las actividades y programas de la Agencia Europea del Espacio (ESA), si bien existe además una actividad destacable realizada en colaboración con otras agencias de referencia internacionales como son la americana NASA, la japonesa JAXA y la rusa Roscosmos. En este artículo nos referiremos prin-

principalmente a las actividades realizadas en Europa. El Programa Científico de la ESA³ es uno de los programas denominados «obligatorios» y todos los países miembros contribuyen de forma proporcional a su PIB. Las actividades del Programa Científico datan de 1984, y han sido planificadas mediante planes plurianuales. El primero fue el programa Horizon 2000, de 1985 a 2005; le siguió Horizon 2000 Plus, de 2005 a 2015; y el plan actual es Cosmic Vision 2015-2025⁴.

Las actividades de exploración humana y robótica se enmarcaron dentro del denominado Aurora Programme⁵, y las de observación de la Tierra en el denominado ESA's Living Planet Programme⁶, siendo ambos programas opcionales.

El estudio del sistema solar desde el espacio

Con las misiones espaciales de estudio del sistema solar se pretende, por una parte, dar respuesta a multitud de preguntas relacionadas con su formación, su evolución y con las características de los cuerpos que lo ocupan: el Sol, los planetas y sus lunas, así como cuerpos más pequeños, entre los que se encuentran planetas enanos, asteroides, cometas y polvo cósmico. Se pretende conocer y caracterizar el ambiente espacial y se pretende avanzar en el conocimiento de las condiciones que facilitaron la vida en la Tierra y a la posibilidad de que esas condiciones se hubiesen podido dar en algún momento en otros planetas. Por otra parte, se incluyen también las misiones de exploración, fundamentalmente de la Luna y Marte, mediante misiones robóticas y, en última instancia, tripuladas, con el fin de conocer y entender mejor las características de estos cuerpos celestes, que en un futuro podrían utilizarse como fuente de recursos e incluso como emplazamientos habitables.

El estudio del sistema solar abarca todo lo contenido dentro de la denominada *heliosfera*⁷, esa especie de «burbuja» en la que está presente el viento solar, una corriente de partículas: electrones,

³ https://www.esa.int/About_Us/Business_with_ESA/Business_Opportunities/Science_Programme. [Último acceso: abril de 2021]

⁴ <https://sci.esa.int/web/cosmic-vision>. [Último acceso: abril de 2021]

⁵ P. Messina *et al.*, «The Aurora Programme Europe's framework for space exploration», *ESA Bulletin*, 126, pp. 10-15 (2006).

⁶ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Future_EO/ESA_s_Living_Planet_Programme. [Último acceso: abril de 2021]

⁷ Hanslmeier A., *The Sun and Space Weather*. Kluwer Academic Publishers (2004).

átomos de helio e hidrógeno, iones y rayos X, entre otros, con su campo magnético correspondiente procedente de la corona solar, que se extiende hasta la denominada *heliopausa*, situada a unas 200 AU, para dar paso al medio interestelar. Este plasma solar interacciona con los rayos cósmicos y las partículas de alta energía procedentes del exterior del sistema solar, así como con los campos magnéticos de los planetas. Como ejemplo, en el caso de la Tierra, esta interacción con el campo magnético origina los cinturones de Van Allen arriba mencionados. La interacción Sol-Tierra, debido a su especial relevancia, será objeto de un apartado dedicado.

Así, de forma general, las misiones espaciales de estudio del sistema solar tratan de dar un paso adelante en el conocimiento de los objetos del sistema solar y de las complejas interacciones que se producen en él. En la figura 1 se muestran las misiones de la ESA dedicadas al estudio del sistema solar. Los científicos españoles han contribuido a prácticamente todas ellas, por estar la mayoría enmarcadas dentro del Programa Científico arriba mencionado. Son misiones muy diversas que abarcan desde el estudio de los planetas y cuerpos menores del sistema solar hasta el estudio de la interacción Sol-Tierra. Se describen brevemente a continuación.⁸

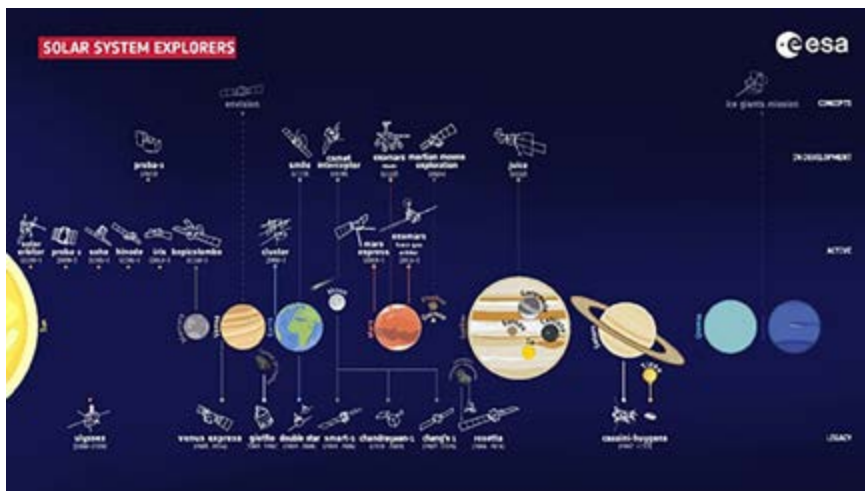


Figura 1. Misiones ESA de estudio del sistema solar. (Créditos: ESA⁸)

⁸ http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/02/ESA_s_fleet_of_Solar_System_Explorers [Último acceso: abril de 2021]

Dada su relevancia y su gran impacto en nuestra vida en la Tierra, el objeto del sistema solar más estudiado y sobre el que todavía es necesario seguir avanzando en su conocimiento es el Sol. La primera misión con contribución europea para el estudio de nuestro astro rey fue la misión ESA-NASA Ulysses⁹ (1990-2009), con una complejidad tecnológica relevante al salir del plano de la eclíptica para observar los polos del Sol, eso sí, con un perihelio, el punto de la órbita más cercano al Sol, a 1,34 AU. Soho¹⁰ (1995-), Hinode¹¹ (2006-) y Solar Orbiter¹² (2020-) son las misiones activas con contribución de la ESA dedicadas al estudio del Sol. Soho es una misión ESA-NASA que lleva más de 25 años en una órbita alrededor del punto 1 de Lagrange, L1, lo que permite una observación ininterrumpida del Sol en una posición fija en la línea Tierra-Sol. Sus objetivos principales están relacionados con el estudio de la estructura interna del Sol, de su corona y del viento solar. Actualmente juega también un papel primordial en el estudio de la meteorología espacial, que se describirá más adelante en este artículo. Hinode es una misión de JAXA, con contribución de NASA y ESA, situada en una órbita LEO, que ya ha permitido hacer descubrimientos relevantes sobre la dinámica de la corona, la cromosfera y la fotosfera. Por su parte, Solar Orbiter va a tomar imágenes del Sol a una distancia sin precedentes, 0.28 AU. Intentará arrojar luz sobre los mecanismos que originan los ciclos solares, sobre la corona solar y sobre el viento solar. Su órbita lo sacará del plano de la eclíptica para poder observar por primera vez los polos solares a esa distancia. Entre las misiones de estudio del Sol se destacan también IRIS (2013-), misión de NASA con contribución de ESA, y las también americanas STEREO (2006-) y Parker Solar Probe (2018-).

Partiendo del Sol y recorriendo hacia fuera el sistema solar, se encuentra en primer lugar Mercurio. El satélite *BepiColombo*¹³ (2018-), una complejísima misión conjunta ESA-JAXA debido a las altas temperaturas que tendrá que soportar, proporcionará, entre otros, datos sobre el su campo magnético, el hielo en las

⁹ K. P. Wenzel *et al.*, «The Ulysses Mission», *Astronomy & Astrophysics Supplement Series* 92, pp. 207-219 (1992).

¹⁰ V. Domingo *et al.*, «The SOHO Mission: An overview», *Solar Physics* 162, pp. 1-37 (1995).

¹¹ T. Kosugi *et al.*, *The Hinode (Solar-B) Mission: An overview*, Springer Nature (1992).

¹² D. Müller *et al.*, «Solar Orbiter. Exploring the Sun-Heliosphere Connection», *Solar Physics* 285, pp. 25-70 (2013).

¹³ «The BepiColombo ESA cornerstone mission to Mercury», *Acta Astronautica* 51, pp. 387-395 (2002).

zonas sombrías de sus cráteres polares, lo que podrá arrojar luz sobre la formación de nuestro sistema planetario.

Venus Express¹⁴ (2005-2014) estudió la compleja dinámica y química de la atmósfera de Venus, así como su superficie. Todavía en fase de competición para su selección como misión M5 dentro del programa Cosmic Vision 2015-2025 de la ESA, se está definiendo el concepto de una nueva misión a Venus: EnVision (prevista para 2032). Se propone utilizar un radar de apertura sintética para detectar actividad geológica en Venus y su relación con la dinámica atmosférica del planeta. La razón de las enormes diferencias entre Venus y la Tierra, a pesar de tener ciertas características muy similares, es uno de los temas sobre los que se pretende arrojar luz con esta misión.

Dejando aparte el estudio de Observación de la Tierra, al que se dedica una sección más adelante, el siguiente cuerpo celeste objeto de estudio es la Luna, ampliamente estudiada, como es bien conocido, desde finales de los años 50 del siglo pasado mediante las misiones soviéticas Luna y las americanas Pioneer y Apolo¹⁵. Por parte de la ESA, la misión Smart-1¹⁶ (2003-2006) tenía un objetivo de carácter tecnológico al probar un motor de propulsión eléctrica basado en efecto Hall, además de los fines científicos dedicados a resolver cuestiones relacionadas con el origen y evolución de la Luna. La ESA ha participado también en la misión india Chandrayaan (2008-2009) y en la misión china Chang'E 1 (2007-2009). Es importante destacar el reciente interés por parte de las grandes agencias espaciales internacionales por volver a llevar misiones tripuladas a la Luna. Más allá de un carácter puramente científico (con interés todavía existente), son distintas las motivaciones para volver a la Luna. Por una parte, se considera un paso previo, fundamentalmente de demostración tecnológica, para un futuro viaje tripulado a Marte¹⁷. Por otra, la Luna es el cuerpo celeste más cercano a la Tierra y es considerada como un potencial destino turístico o como una fuente de minerales. Son grandes las diferencias de opinión entre los principales actores

¹⁴ D. V. Titov *et al.*, «Venus Express Science Planning», *Planetary and Space Science*, 54, pp. 1279-1297 (2006).

¹⁵ <https://moon.nasa.gov/exploration/moon-missions/>. Último acceso: abril de 2021. [Último acceso: abril de 2021]

¹⁶ B. H. Foeling, «SMART-1 mission to the Moon: Status, first results and goals», *Advances in Space Research* 37, pp. 6-13 (2006).

¹⁷ <https://www.iop.org/explore-physics/moon/what-next-for-humans-on-moon#gref>. [Último acceso: abril de 2021]

responsables de la toma de decisiones. La controversia en este sentido está servida.

Siguiendo hacia el exterior del sistema solar encontramos Marte. La contribución europea al estudio del planeta rojo se materializa en las misiones Mars Express¹⁸ (2003-) y ExoMars¹⁹ TGO (2016-), y en la misión ExoMars Rover (prevista para 2022). Los inicios de las misiones a Marte datan de los años 60 del siglo xx y fueron parte de la carrera espacial emprendida entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Una vez superada aquella época, es de ley reconocer la supremacía americana en las misiones robóticas a Marte. Son 5 los *rovers* puestos por NASA en la superficie del planeta: *Sojourner* (1997-1997), *Spirit* (2003-2011) y *Opportunity* (2003-2019), *Curiosity* (2012-) y *Perseverance* (2020-), que nos han permitido observar fotografías de la superficie con una calidad sin precedentes. Aun siendo misiones de NASA, cabe destacar aquí la contribución española a la instrumentación científica embarcada, con la aportación de tres estaciones de medición: REMS (Rover Environmental Monitoring Station), embarcada en el *Curiosity*; MEDA (Mars Environmental Dynamics Analyzer), embarcada en el *Perseverance*; y TWINS (Temperature and Wind for InSight), embarcada en el módulo de aterrizaje *InSight* (2018-).

En lo referente a las lunas de Marte, la ESA contribuye a la misión de JAXA Martian Moons Exploration, MMX (prevista para 2024), que pretende visitar las lunas Phobos and Deimos y traer una muestra de Phobos de vuelta a la Tierra.

Mirando hacia el sistema solar exterior, la misión JUICE²⁰ (prevista para 2022) dedicará tres años a la observación del planeta gigante Júpiter y de tres de sus grandes lunas: Ganymede, Calisto y Europa.

El último planeta del sistema solar visitado por misiones europeas es Saturno. La misión conjunta ESA-NASA Cassini-Huygens²¹ (1997-2017), una de las más ambiciosas en la historia de la exploración planetaria, con la nave *Cassini* dedicada al estudio de Saturno y la sonda *Huygens* al de su luna Titán.

¹⁸ A. Chicarro *et al.*, *The Mars Express Mission: An Overview*, ESA SP-1240 (2004).

¹⁹ J. Vago *et al.*, «ESA ExoMars program: The next step in exploring Mars», *Solar System Research* 49, pp. 518-528 (2015).

²⁰ <https://sci.esa.int/web/juice/-/50068-science-objectives>. [Último acceso: abril de 2021]

²¹ DL Matson, LJ Spilker, JP Lebreton, «The Cassini/Huygens Mission to the Saturnian System», *Space Science Reviews*, 104, pp. 1-58 (2002).



Figura 2. Imagen del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko tomada a unos 285 km de distancia por la cámara de ángulo estrecho de OSIRIS desde Rosetta. (Créditos: ESA/Rosetta/MPS para el equipo OSIRIS MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA²²)

Los planetas Urano y Neptuno no han tenido una misión dedicada hasta el momento, si bien las naves americanas *Voyager* han obtenido imágenes a más corta distancia en su viaje hacia la salida del sistema solar.²²

El último planeta del sistema solar, Plutón, no ha sido aún objeto de una misión europea, pero sí de una americana. La misión *New Horizons*²³ (2006-) ha obtenido información acerca del planeta helado y de sus satélites, del cinturón de Kuiper, y continúa viajando hacia la frontera del sistema solar.

Respecto a los objetos más pequeños del sistema solar, la sonda *Giotto*²⁴ (1985-1992) de la ESA fue al encuentro del cometa Halley y tomó las primeras imágenes de su núcleo a unos 600 km de

²² https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2014/08/Comet_on_3_August_2014. [Último acceso: abril de 2021]

²³ Y. Guo y R. Farquhar, «New Horizons Mission Design», *Space Science Review* 140, pp. 49-74 (2008).

²⁴ J. Geiss y K. Altwegg, *Giotto: A Unique ESA Science Mission*, ESA SP-431 (1998).

distancia, y la histórica misión Rosetta²⁵ (1995-2016), misión de la ESA con participación de NASA, viajó al encuentro del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko y lo acompañó en su órbita alrededor del Sol. La figura 2 es una impresionante imagen tomada por el sistema de cámaras OSIRIS, con una alta participación científica española.

La interacción Sol-Tierra. La protección de la Tierra

Como ya se ha indicado más arriba, la interacción entre el Sol y la Tierra es de especial relevancia y requiere un apartado dedicado que permita entender las razones y la necesidad de seguir avanzando en el conocimiento del Sol y de su interacción con la Tierra.

Aunque el interés por el estudio de las interacciones Sol-Tierra data de finales de los años 50 del pasado siglo xx, ha sido en los comienzos del presente siglo xxi cuando realmente se ha tenido conciencia del impacto de la actividad solar en la Tierra, más concretamente en la vida y en la sociedad, lo que ha desencadenado la puesta en marcha de programas internacionales para comprender mejor los mecanismos de interacción Sol-Tierra y sus potenciales impactos²⁶.

Los efectos de la variabilidad de la actividad solar en el entorno terrestre a corto plazo se engloban en la denominada *meteorología espacial*, y los efectos a largo plazo en *clima espacial*. Para entender los procesos que ahí ocurren, es necesario conocer los fenómenos físicos que se producen. Por una parte, como ya se ha dicho previamente, el viento solar emitido por el Sol es un plasma cargado de diferentes partículas, fundamentalmente iones, con un campo magnético, que van impactando con los cuerpos que encuentran a su paso. Por otra parte, la Tierra tiene un campo magnético que interacciona con esas partículas, desviándolas y evitando que la mayoría de ellas lleguen a la atmósfera terrestre. Parte de esas partículas se quedan atrapadas en los cinturones de Van Allen y otras se desvían. El resultado de la interacción entre el viento solar y el campo magnético terrestre puede verse en la figura 3.

²⁵ P. Villefranche *et al.*, «Rosetta: The ESA comet rendezvous mission», *Acta Astronautica* 40, pp. 871-877 (1997).

²⁶ Tsuda *et al.*, *Progress in Earth and Planetary Science*, pp. 2-28 (2015).

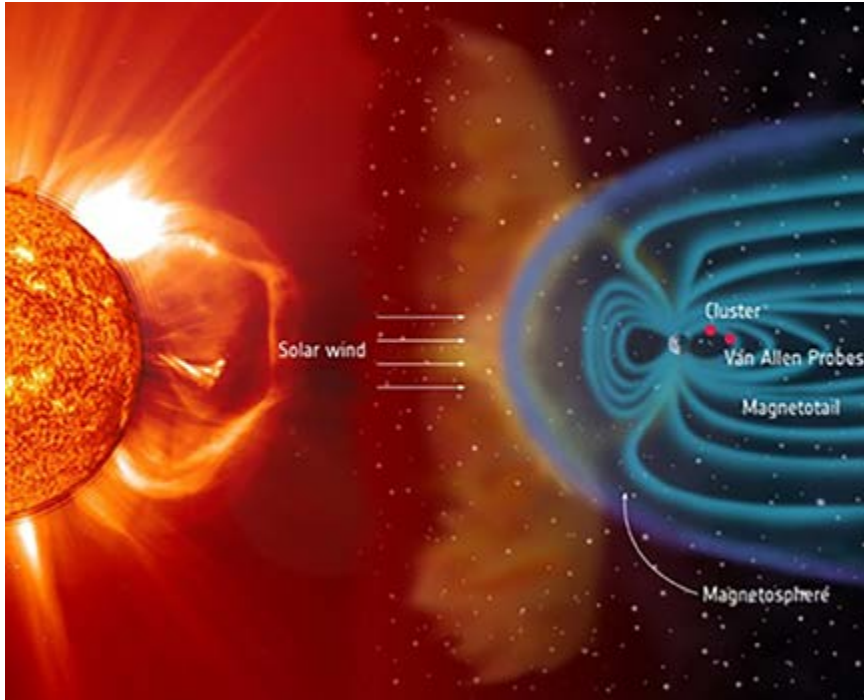


Figura 3. Esquema del viento solar y su interacción con el campo magnético terrestre. (Créditos: ESA²⁷)

El tamaño y la forma de la magnetosfera, es decir, de la región del espacio influenciada por el campo magnético terrestre, son variables, al verse afectada por las fluctuaciones en la actividad solar, que alcanzan un máximo cada once años. Por tener una idea de las escalas, la magnetosfera terrestre tiene un tamaño de unos 6 a 10 radios terrestres en el lado de la Tierra que mira al Sol, y puede llegar hasta unos 1000 radios en la zona opuesta.²⁷

La actividad solar es muy compleja. El viento solar viaja a través del sistema solar a una velocidad que varía entre 400 y 700 km/s²⁸, aproximadamente. La incesante actividad solar se pone de manifiesto en dos tipos de fenómenos: las llamaradas o fulguraciones solares y las eyecciones de masa coronal (o CME, de sus siglas en inglés; *coronal mass ejections*). Una fulguración o llamarada solar puede definirse como un estallido súbito de radiación, de

²⁷ https://cdn.sci.esa.int/documents/34817/35562/1567214118870-Cluster_and_Van_Allen_Probes_in_Earth_magnetosphere.jpg

²⁸ J. T. Gosling, «The Solar Wind», *Encyclopedia of the Solar System* (2.ª ed.), pp. 99-116, Academic Press (2007).

gran intensidad, ocasionado por la liberación de energía magnética asociada a las manchas solares. Durante una fulguración solar se liberan gran cantidad de fotones en diferentes longitudes de onda del espectro, resultando de gran relevancia la intensidad en la banda de los rayos X. Una llamarada solar tarda unos 8 minutos en alcanzar la Tierra. Las CME, en cambio, son grandes eyecciones de plasma y radiación electromagnética desde la corona solar. Son una suerte de nube de partículas que viajan a través del espacio. El proceso que desencadena las CME y su intensidad no se conoce completamente; está ligado a la evolución del campo magnético en la corona solar y a los ciclos solares, y es uno de los principales objetos de investigación de las misiones de observación del Sol citadas arriba. Las CME son más lentas y su velocidad de eyección puede ser muy variable, entre 260 y 2600 km/s, por lo que pueden tardar en llegar a la Tierra entre 1 y 5 días, aproximadamente²⁹.

Cuando una CME alcanza la Tierra, y su campo magnético está orientado al sur, en sentido contrario al campo magnético terrestre, se produce una interacción de esta nube de partículas con la magnetosfera terrestre, distorsionando el campo electromagnético. Es lo que se denomina una *tormenta geomagnética*³⁰, que suelen tener duraciones entre 24 y 48 horas, o incluso mayores. Estas tormentas geomagnéticas, también denominadas *tormen-tas solares*, pueden ocasionar daños severos o incluso inutilizar algunos de los sistemas tecnológicos que se utilizan en el día a día. Dependiendo de la intensidad de la CME, los efectos pueden limitarse a los satélites en órbita o incluso atravesar el escudo magnético de la Tierra y afectar sistemas terrestres. Aunque en general los efectos suelen ser leves, pueden aparecer problemas severos de tres formas:

- Problemas en satélites o vehículos espaciales. Los altos niveles de radiación pueden causar daños en los sistemas electrónicos de a bordo, quedando afectados los sistemas de comunicaciones, de gestión de datos y de control de actitud principalmente. Además, pueden causar cambios en sus órbitas debido a la resistencia residual existente en órbitas bajas.

²⁹ P. K. Manoharan, «Evolution of Coronal Mass Ejections in the Inner Heliosphere: a Study Using White-Light and Scintillation Images», *Solar Physics* 235, pp. 345-368 (2006).

³⁰ Lakhina, G. S. y Tsurutani, B. T. «Geomagnetic storms: historical perspective to modern view», *Geoscience Letters* 3 (2016).

- Problemas en sistemas de comunicaciones. El viento solar cargado de partículas interactúa con la ionosfera, lo que puede afectar a sistemas de radio, radar y a las comunicaciones entre la Tierra y los satélites —entre otras, a las señales de los sistemas de navegación.
- Sistemas de generación y distribución de energía eléctrica. Las tormentas geomagnéticas que alcanzan la Tierra pueden causar daños importantes en los sistemas eléctricos, especialmente en la alta tensión, pudiendo ser la causa de algunos de los grandes apagones producidos en los últimos años. Resultan cruciales los estudios de vulnerabilidad de la red³¹.

Las tormentas solares son también las causantes de las auroras, que se producen generalmente en los polos cuando los electrones y protones de la magnetosfera terrestre se desplazan hacia la ionosfera, esa región de la atmósfera situada entre 80 y 400 km aproximadamente, que se encuentra permanentemente cargada eléctricamente. Cuando estos electrones y protones se excitan, emiten luz en diferentes bandas, con mayor frecuencia en el verde, rojo y azul.

Puestas de manifiesto las implicaciones y la relevancia que tiene en la vida cotidiana en la Tierra, regresamos a las misiones científicas mostradas en la figura 1. Además de las misiones de observación del Sol ya descritas, que proporcionan, entre otros, datos de la actividad solar, existen misiones dedicadas al estudio de la magnetosfera. La primera nave europea, promovida por ESRO, la organización precursora de la ESA, fue la *ISEE-2* (1977-1987), que se lanzó en tándem con la americana *ISEE-1*, y tenían como objetivo estudiar la dinámica de la magnetosfera terrestre y el viento solar que llegaba a ella.

La misión de la ESA Cluster³² (2000-) lleva más de veinte años investigando el entorno magnético terrestre y su interacción con el viento solar, permitiendo realizar avances científicos muy relevantes. El conjunto de cuatro satélites que componen la misión Cluster ha realizado un cartografiado en tres dimensiones del campo magnético terrestre. Además de estudiar la dinámica de la magnetosfera, Cluster ha constatado la abundancia de átomos de hierro distribuidos de forma uniforme alrededor de la Tierra. De forma complementaria, en una órbita más baja, la misión conjun-

³¹ J. Torta *et al.*, «Improving the modeling of geomagnetically induced currents in Spain», *Space Weather-The International Journal of Research and Applications* 5, pp. 691-703 (2017).

³² <https://sci.esa.int/web/cluster>. [Último acceso: abril de 2021]

ta entre la ESA y la agencia china CNSA (Chinese National Space Administration) Double-Star (2003-2008), formada por dos satélites, permitió durante el periodo de operación simultáneo de ambas misiones observaciones multipunto sin precedentes.

El interés en el estudio de la interacción Sol-Tierra es tal, que una nueva misión destinada al estudio de la interacción Sol-Tierra se encuentra actualmente en fase de desarrollo. SMILE (prevista para 2024) es otra misión conjunta entre la ESA y la agencia china (Chinese Academy of Sciences) que tiene como objetivo estudiar la magnetosfera a escala global.

Dadas las potenciales consecuencias de las tormentas geomagnéticas descritas arriba, el interés del estudio de la interacción Sol-Tierra traspasa el ámbito meramente científico y alcanza un carácter estratégico. Tal es así, que la ESA ha planificado una nueva misión, actualmente en fase de estudio, denominada Lagrange³³. Esta misión no forma parte del Programa Científico de la ESA sino del denominado Seguridad y Protección (Safety & Security). El objetivo es monitorizar la corona solar y poder llegar a hacer un pronóstico del «tiempo espacial» con unos días de antelación. La misión consta de dos satélites en torno a los puntos de Lagrange L1 y L5 que van a permitir una observación permanente del Sol y ver desde una perspectiva frontal y lateral las CME que se dirijan a la Tierra.

El interés de la sociedad en la meteorología espacial es creciente³⁴. A medida que la sociedad va incrementando su dependencia tecnológica, el impacto de la meteorología espacial en la economía global es mayor. La mejora de los sistemas en órbita y de los sistemas terrestres que pueden verse afectados por las tormentas geomagnéticas constituyen, sin lugar a duda, un reto tecnológico. El avance necesario para mitigar el impacto debe pasar por un mayor conocimiento y comprensión de la física solar y de la interacción del viento solar con el campo magnético terrestre. Es por ello que el punto de partida deben ser los observatorios en órbita, complementados por modelos numéricos basados en los resultados de las observaciones. Se trata de un gran reto global que debe abordarse de forma colaborativa a nivel mundial.

³³ http://www.esa.int/Safety_Security/Lagrange_mission2. [Último acceso: abril de 2021]

³⁴ Schrijver, C. J. *et al.*, «Understanding space weather to shield society: a global road map for 2015-2025 commissioned by COSPAR and ILWS», *Advances in Space Research* 55, pp. 2745-2807 (2015).

El estudio del cosmos

Dejando fuera el estudio del sistema solar, ya tratado en el apartado anterior, el segundo gran bloque de actividad científica desde el espacio se centra en el estudio del cosmos. El estudio del universo, de los cuerpos celestes —que incluyen las estrellas, sus planetas y sus satélites, los cometas y asteroides, las galaxias y los cúmulos de galaxias, la materia interestelar y la materia oscura, el gas y el polvo—, se realiza mediante detectores que son sensibles en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético, según lo que se quiera detectar. El acceso a ciertas longitudes de onda desde la superficie de la Tierra no es posible, debido a la presencia de la atmósfera, que bien filtra, desvía o dispersa ciertas bandas.

La figura 4 muestra un esquema de las bandas del espectro electromagnético y la altura a las que van siendo absorbidas hasta alcanzar la superficie terrestre. Puede observarse que, salvo las ondas de radio, las demás longitudes de onda no llegan a la superficie.³⁵

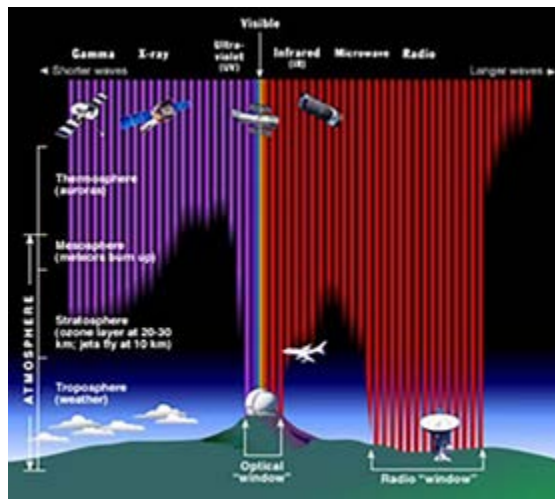


Figura 4. Radiación electromagnética del espacio exterior y su absorción al atravesar la atmósfera³⁵

En lo que se refiere a la radiación solar, no llega en su totalidad a la superficie terrestre, ya que las moléculas de ozono, oxígeno,

³⁵ <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>. [Último acceso: abril de 2021]

agua y dióxido de carbono presentes en la atmósfera absorben la radiación en ciertas longitudes de onda, como puede observarse en la figura 5, que muestra el espectro de la radiación solar en la parte superior de la atmósfera y en la superficie terrestre.³⁶

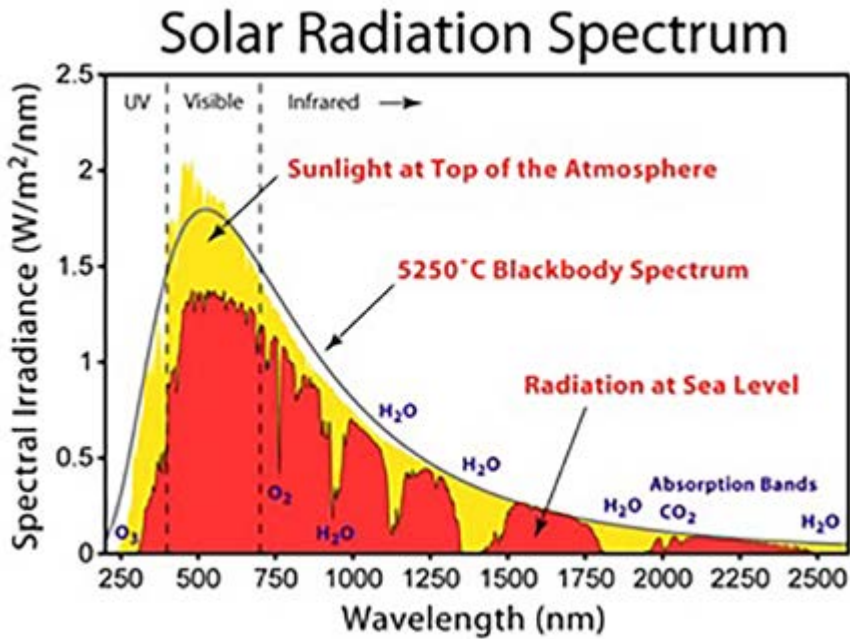


Figura 5. Espectro de la radiación solar Radiación electromagnética del espacio exterior y su absorción al atravesar la atmósfera. (Créditos: Wikimedia Commons³⁶)

Por todo ello, la astronomía, ligada al desarrollo de la humanidad desde las antiguas civilizaciones, ha dado un salto de gigante con la posibilidad de poner observatorios en órbita, que ha permitido observaciones no accesibles desde la Tierra. Además, esta ciencia se ha visto enormemente reforzada por la mejora y el incremento de capacidad de cálculo de los superordenadores modernos y por los avances en los sistemas de gestión de datos.

Volviendo a las actividades realizadas en el marco de la ESA, la figura 6 muestra las misiones de estudio del cosmos realizadas con su participación, clasificadas según la banda del espectro electromagnético en que se realizan las observaciones, que varía desde

³⁶ CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2623187>. [Último acceso: abril de 2021]

las microondas hasta los rayos gamma. Estas misiones han permitido y permiten a los astrónomos abordar grandes cuestiones relacionadas con el origen y la evolución del universo, con las estrellas y galaxias y con las leyes fundamentales que gobiernan el cosmos. No dejan de ser observatorios astronómicos, telescopios, aunque situados generalmente en órbitas terrestres o alrededor de los puntos de Lagrange. Se resumen a continuación las bandas más utilizadas y las observaciones que pueden realizarse desde ellas.³⁷

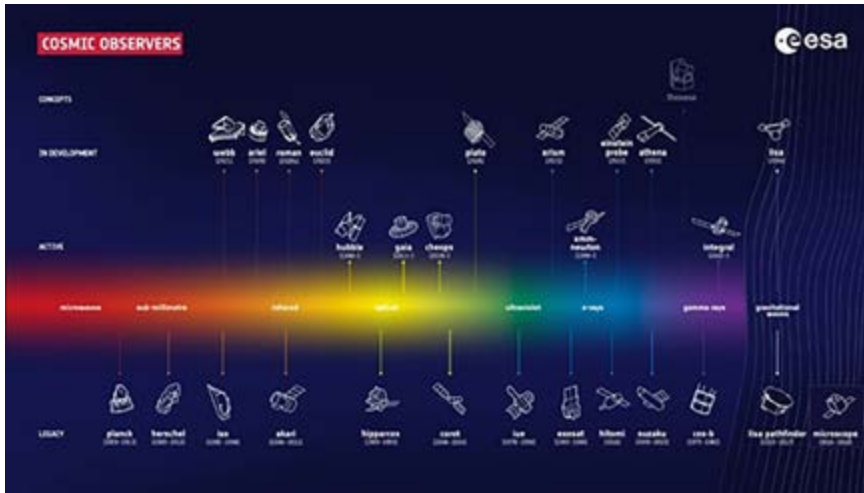


Figura 6. Misiones de observación del cosmos con participación de la Agencia Espacial Europea. (Créditos: ESA³⁷)

– Observatorios de microondas

Se utilizan fundamentalmente en el ámbito de la cosmología, la rama de la astronomía dedicada al estudio del origen y la evolución del universo a gran escala, mediante la medida del fondo cósmico de microondas, denominado CMB de sus siglas en inglés (Cosmic Microwave Background), que en palabras sencillas podría definirse como la radiación procedente de la creación del universo. Los observatorios de microondas han permitido situar la edad del universo en 13,7 miles de millones de años. La misión Planck³⁸ (2009-2013) ha permitido obtener imágenes del pasado del universo sin precedentes.

³⁷ http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/02/ESA_s_fleet_of_cosmic_observers_[Último acceso: abril de 2021]

³⁸ N. Aghanim *et al.*, «Planck 2018 results: I. Overview and the cosmological legacy of Planck», *Astronomy & Astrophysics* 641 (2020).

– Observatorios submilimétricos

Son los más adecuados para estudiar el universo frío, ya que la luz en esta banda atraviesa las nubes frías situadas en el espacio interestelar. Permiten estudiar procesos químicos y físicos en estas nubes, relacionados con la formación estelar. Son adecuados también para el estudio de la formación y evolución de galaxias. El observatorio Herschel³⁹ (2009-2013), fruto de una colaboración ESA-NASA, ha permitido obtener datos científicos excepcionales. Con instrumentos cubriendo la banda submilimétrica e infrarroja, se han catalogado cientos de miles de galaxias, entre otros logros.

– Observatorios en el infrarrojo

Los objetos que se encuentran fríos emiten radiación térmica en el infrarrojo, por lo que pueden ser «vistos» utilizando telescopios con detectores sensibles en esta banda. Se utilizan para tomar imágenes de estrellas frías, como enanas marrones, nebulosas y algunas galaxias⁴⁰. El primer telescopio espacial de la ESA en el infrarrojo fue *ISO*⁴¹, que detectó la presencia de vapor de agua por todo el universo. En la actualidad, la ESA participa junto a la NASA y la Agencia Espacial Canadiense en el *James Webb Space Telescope*, JWST (previsto para 2021), el telescopio espacial más complejo de los construidos hasta el momento. En desarrollo se encuentra también la misión de la ESA Ariel (prevista para 2029), que se dedicará a la observación de exoplanetas en el infrarrojo y en el visible, siendo la primera misión dedicada a determinar la composición química y las características térmicas de más de mil planetas situados fuera del sistema solar.

- Observatorios en el visible

Son los denominados *telescopios ópticos* y son una continuación de la astronomía tradicional realizada desde la Tierra. Las observaciones desde el espacio evitan las distorsiones y las limitaciones causadas por la atmósfera y permiten observaciones desde otros puntos y la obtención de imágenes de mayor resolución. Se utilizan para la observación de planetas, estrellas, galaxias y nebulosas, entre otros. La primera misión de la ESA fue Hipparcos (1989-1993),

³⁹ https://sci.esa.int/documents/33622/35995/1567260390853-ESA_Herschel_Science_and_Legacy_brochure_2019.pdf

⁴⁰ https://coolcosmos.ipac.caltech.edu/infrared_universe. [Último acceso: abril de 2021]

⁴¹ M. F. Kessler, «The Infrared Space Observatory (ISO) mission», *Advances in Space Research* 30, pp. 1957-1965 (2002) .

pionera en su época, que permitió catalogar más de un millón de estrellas. Corot (2006-2014), liderada por el Centre Nationale d'Études Spatiales (CNES) francés, con la colaboración de la ESA, fue la primera misión dedicada a la búsqueda de exoplanetas rocosos. Todavía en operación, el *Hubble Space Telescope*⁴² (1990-), con capacidad de observación desde el infrarrojo próximo hasta el ultravioleta, ha permitido tomar imágenes de las estrellas y galaxias más lejanas nunca observadas con anterioridad. El Hubble tiene la particularidad de haber recibido asistencia técnica por parte de los astronautas de la Estación Espacial Internacional hasta en cinco ocasiones, lo que ha permitido actualizar parte de sus instrumentos científicos, pudiendo alargarse notablemente la vida de la misión. Entre las misiones en el visible se encuentra también Gaia⁴³ (2013), que está cartografiando nuestra galaxia, la Vía Láctea, y realizando medidas con gran precisión del movimiento de las estrellas alrededor de su centro. En otro orden se encuentra Cheops (2019), dedicada a caracterizar exoplanetas que orbitan estrellas brillantes, y Plato (prevista para 2026), cuyo objetivo es detectar y estudiar un gran número de exoplanetas, con especial énfasis en las propiedades de los planetas similares a la Tierra potencialmente habitables.

- Observatorios en el ultravioleta

Este tipo de satélites realizan observaciones que no se pueden realizar desde la Tierra, ya que la atmósfera filtra esta banda espectral. Además de observar el Sol, en la banda ultravioleta se observan también estrellas y galaxias. El primer satélite con observación en el ultravioleta fue *IUE* (1978-1986), resultado de una colaboración internacional entre ESA, NASA y el Reino Unido.

- Observatorios en rayos X

Los telescopios de rayos X permiten detectar fotones de alta energía que tampoco pueden ser detectados en la superficie terrestre al ser filtrados por la atmósfera. *Exosat* (1983-1986) fue el primer telescopio de rayos X y en su momento aportó descubrimientos significativos como las oscilaciones casi periódicas en estrellas binarias de rayos X de baja masa, no conocidas hasta entonces. La ESA participó también en los observatorios japoneses Hitomi (2016-2016) y Suzaku (2005-2015). Actualmente se encuentra activa la misión XMM Newton⁴⁴ (1999-); entre otros

⁴² https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/about

⁴³ T. Prusti *et al.*, «The Gaia Mission», *Astronomy & Astrophysics* 595 (2016).

⁴⁴ F. Jansen *et al.*, «XMM-Newton Observatory», *Astronomy & Astrophysics* 365 (2001).

logros se destaca el descubrimiento de la impronta del campo gravitacional en la emisión de una estrella de neutrones. Por último, la misión Athena (prevista para 2031) se encuentra en fase de estudio. Se trata de la segunda misión «grande» de la ESA, tipo L, cuyo objetivo es construir un mapa de las estructuras de gas calientes y buscar agujeros negros supermasivos. La instrumentación de Athena lleva consigo la necesidad de desarrollos tecnológicos importantísimos, ya que los detectores que llevará (tipo TES) medirán los pulsos de calor generados por los fotones de rayos X cuando son absorbidos⁴⁵. Esto requiere enfriarlos por debajo de los 100 mK. Para ello, Athena requerirá un criostato gigante con las sucesivas etapas de enfriamiento hasta alcanzar el nivel subKelvin requerido.

– Observatorios en rayos gamma

Los telescopios de rayos gamma miden la radiación electromagnética en esta banda emitida por supernovas, estrellas de neutrones, púlsares y agujeros negros. Por parte de la ESA, la misión COS-B (1975-1982) fue la misión precursora de la que se encuentra activa actualmente, Integral (2002-), que permite la identificación de objetos celestes que emiten rayos gamma y la detección de las denominadas explosiones de rayos gamma, GRB por sus siglas en inglés (Gamma Ray Burst), que alcanzan la parte alta de la atmósfera casi a diario⁴⁶.

– Observatorios de ondas gravitacionales

Fuera del espectro electromagnético se encuentran los sistemas de detección de ondas gravitacionales, ondulaciones en el tejido espacio-tiempo creadas por objetos celestes con una fuerte gravedad, como estrellas de neutrones o agujeros negros en colisión. La forma de detectar estas ondas se basa en poner dos masas en caída libre unidas por un láser y aisladas de todo tipo de fuerzas internas y externas salvo la gravedad. La misión de la ESA LISA Pathfinder⁴⁷ (2015-2017) fue un demostrador de tecnología que ha permitido probar con éxito en órbita las tecnologías clave para la misión actualmente en desarrollo LISA (prevista para 2034), la tercera misión «grande», tipo L, de la ESA.

⁴⁵ https://sci.esa.int/web/athena/-/49997-instrumentsGamma-ray_observatories. [Último acceso: abril de 2021]

⁴⁶ A. Kienlin *et al.*, «INTEGRAL Spectrometer SPI's GRB detection capabilities», *Astronomy & Astrophysics* 411, pp. 299-305 (2003).

⁴⁷ M. Armano, «The LISA Pathfinder Mission», *Journal of Physics: Conference Series* 610, pp. 1-19 (2015).

La observación de la Tierra

Una de las grandes maravillas tras el lanzamiento de los primeros satélites artificiales fue la capacidad de fotografiar la Tierra desde el espacio. Es, asimismo, una de las sensaciones más impresionantes que describen los astronautas tras sus viajes al espacio. Aunque puede decirse que la historia de la observación de la Tierra comenzó ya en el siglo ^{XIX}⁴⁸ con el uso de globos aerostáticos cautivos provistos de cámaras con fines topográficos, fue en 1960, tan solo tres años después del lanzamiento del primer satélite artificial, cuando fue puesto en órbita el primer satélite destinado a la observación de la Tierra, el *TIROS I* de la NASA, diseñado para observar las nubes, que continuó siendo una serie de diez satélites. Los comienzos en Europa se produjeron en Francia, con el satélite *Diapason* (1966-1971), destinado a realizar mediciones geodésicas. Desde entonces, han sido innumerables los satélites de observación de la Tierra puestos en órbita por diferentes agencias espaciales, instituciones públicas y por el sector privado⁴⁹. Como ejemplo, la figura 7 muestra las misiones de observación de la Tierra con participación de la ESA. Están organizadas en tres grandes grupos: los satélites meteorológicos, los satélites científicos y los enmarcados dentro de la iniciativa Copernicus de la Unión Europea, de la que se hablará más adelante.

De forma general, puede decirse que, mediante la observación de la Tierra, entendida en este contexto como la realizada desde el espacio, se pretende observar y monitorizar sistemas físicos, químicos y biológicos de nuestro planeta, tanto naturales como artificiales. El objetivo final es conocer el sistema terrestre y encontrar respuestas a cómo evoluciona, tanto de forma natural como debido a la acción humana. La observación de la Tierra es una herramienta con un gran potencial de ayuda a la toma de decisiones en áreas críticas relacionadas con la gestión de desastres, gestión de recursos, etc. Sin embargo, el uso de los datos requiere un conocimiento científico-tecnológico que se encuentra principalmente en manos de los países desarrollados.⁵⁰

⁴⁸ A. Witze, «A timeline of Earth observation», *Nature, Nature News* 5 Dec (2007).

⁴⁹ A. S. Belward, J. O. Skoien, «Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites», *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 103, pp. 115-128 (2015) .

⁵⁰ https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/05/ESA-developed_Earth_observation_missions [Último acceso: abril de 2021]



Figura 7. Misiones de observación de la Tierra con participación de la ESA⁵⁰

Las técnicas empleadas para observar la Tierra desde el espacio pueden clasificarse en pasivas y activas. Las técnicas pasivas detectan la radiación emitida o reflejada por el objeto observado. Se incluyen aquí las cámaras en el visible, en el infrarrojo y los radiómetros y espectro-radiómetros, todos ellos receptores. Las técnicas activas constan de un emisor y un receptor que mide la radiación reflejada. Se incluyen aquí los distintos sistemas radar, siendo uno de los más utilizados en espacio el radar de apertura sintética, SAR (de sus siglas en inglés, Synthetic Aperture Radar), y el LIDAR (de sus siglas en inglés, Laser Imaging Detection and Ranging), de funcionamiento en cierto modo parecido al radar, pero emitiendo pulsos de luz en lugar de ondas de radio. Por ejemplo, mediante un LIDAR verde o infrarrojo se puede medir la señal reflejada para determinar la altura de las nubes o su contenido de aerosoles.

Los avances tecnológicos y el diseño de sensores cada vez más sofisticados han nutrido al colectivo científico con unas herramientas que han permitido desarrollar numerosas aplicaciones basadas en datos satelitales. Se trata de una auténtica revolución científico-tecnológica de la que se está beneficiando nuestra sociedad. Es difícil recoger en este texto todas las aplicaciones derivadas de los satélites, que además se incrementan día a día, pero entre ellas se encuentran⁵¹ las áreas citadas a continuación:

⁵¹ P. Kansakar y F. Hossain, «A review of applications of satellite earth observation data for global societal benefit and stewardship of planet earth», *Space Policy* 36, pp. 46-54 (2016).

- Predicción y monitorización meteorológica

La ESA puso en órbita en 1977 el primer satélite de la familia *Meteosat*, situado en una órbita geoestacionaria que da cobertura permanente a gran parte de Europa, de África y de Oriente Próximo. Desde entonces, en Europa se ha dispuesto de un servicio ininterrumpido de imágenes en la banda visible, en diferentes franjas del infrarrojo y en microondas, lo que permite determinar, entre otros, la altura y tipo de nubes, las temperaturas de la superficie de la tierra y del mar, la distribución de presiones, los efectos de la polución o la contaminación lumínica de las ciudades.

Las observaciones de los satélites meteorológicos se utilizan en tiempo real para mejorar las predicciones obtenidas mediante modelos numéricos. Los datos satelitales se suelen complementar con los datos tomados en las estaciones terrestres, por ejemplo, mediante radares de microondas por efecto Doppler, que son capaces de determinar la velocidad de las precipitaciones y su estructura con gran precisión.

Actualmente, los satélites meteorológicos se sitúan en dos tipos de órbitas: las geoestacionarias, órbitas circulares ecuatoriales a unos 36000 km de altura, con un periodo de rotación igual al de la Tierra, de modo que los instrumentos tienen la capacidad de observar de manera continua las mismas regiones sobre la superficie de la Tierra; y las heliosíncronas, órbitas casi polares situadas a unos 700 km de altura y que mantienen la misma orientación respecto al Sol, por lo que los puntos de la superficie terrestre son observados por el satélite todos los días a la misma hora solar.

Desde 1995, la gestión de los satélites meteorológicos en Europa se realiza a través de EUMETSAT⁵² (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), la agencia europea dedicada a la monitorización del tiempo, el clima y el entorno.

- Observación y monitorización del entorno natural⁵³

Los satélites de observación de la Tierra constituyen una fuente inagotable de datos para la observación de los recursos naturales, permitiendo conocer la situación del medio ambiente terrestre y marino, así como los cambios que se van produciendo.

⁵² <https://www.eumetsat.int/> [Último acceso abril de 2021]

⁵³ A. Tatem *et al.*, «Fifty Years of Earth-observation Satellites», *American Scientist* 96 (2008).

La primera aplicación es la cartografía, que se ha visto enormemente mejorada mediante las modernas y técnicas de procesado de imágenes digital y por la capacidad de combinar imágenes multispectrales.

Por otra parte, se encuentra la distribución de vegetación, para la que también han aprovechado las medidas multispectrales, en particular, para calificar la «salud» y la densidad de la vegetación que cubre la corteza terrestre. El índice de vegetación de diferencia normalizada, conocido como NDVI por sus siglas en inglés (Normalized Difference Vegetation Index), se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Para ello se realizan mediciones en el rojo y en el infrarrojo cercano y se aprovecha el hecho de que una vegetación sana absorbe la luz roja pero refleja la infrarroja. En el estudio de la vegetación, es destacable también la determinación de su contenido en clorofila mediante un LIDAR, ya que la clorofila es fluorescente en determinadas longitudes de onda⁵⁴. Otro de los grandes ejemplos de aplicación del estudio de la vegetación es el estudio de la deforestación, no solo la causada por el desarrollo urbano sino la causada por las grandes talas ilegales.

Otro campo en el que se han podido realizar grandes avances es la geología, en particular la determinación de la existencia de ciertos minerales en determinados emplazamientos o, entre otras aplicaciones, el estudio del movimiento de placas tectónicas.

La oceanografía ha dado también un salto cuantitativo desde que se dispone de la posibilidad de tomar medidas mediante instrumentación embarcada en satélites, al ser en este caso mucho más compleja y costosa la observación in situ. De manera rápida se pueden tener datos sobre la temperatura del mar, el viento en su superficie, la salinidad, la altura de las olas, las corrientes, la contaminación, así como del ecosistema marino, que abarca desde la concentración de fitoplancton hasta las migraciones de las especies que habitan en los océanos.

Por último, una de las grandes áreas objeto de estudio es la criosfera, que incluye las zonas de la superficie terrestre cubiertas por hielo, el hielo del mar de los lagos y ríos, la nieve, los glaciares, etc., así como la superficie permanentemente helada (permafrost). La recesión del hielo de los polos es una de las grandes preocupaciones ligadas al cambio climático.

⁵⁴ G. Matvienko *et al.*, «Fluorescence lidar method for remote monitoring of effects on vegetation», *SPIE Remote Sensing Proceedings* 6367 (2006).

- Observación y monitorización de las zonas urbanas y de las infraestructuras

El uso de imágenes satelitales constituye una excelente herramienta para el estudio de las áreas urbanas. Aunque la responsabilidad en este caso es de los municipios, las imágenes de alta resolución, disponibles generalmente a bajo coste, son una herramienta muy valiosa de cara a planificar un desarrollo sostenible de las ciudades. En otro orden se encuentran las infraestructuras. Resulta de gran interés las técnicas de monitorización de la salud estructural, SHM de sus siglas en inglés (Structural Health Monitoring), de grandes infraestructuras, como puede ser el caso de grandes presas⁵⁵. Se utilizan en este caso técnicas de interferometría multitemporal con imágenes obtenidas mediante SAR (radar de apertura sintética), con el fin de detectar deformaciones en la pared de la presa con un nivel de resolución tal, que hacía imposible su detección hasta el momento.

- Agricultura

Los datos proporcionados por los satélites de observación de la Tierra proporcionan datos muy valiosos para la mejora de la agricultura. Por una parte, se encuentran los países en vías de desarrollo, con una economía basada en gran medida en una agricultura de subsistencia. Por otra parte, se encuentran los países desarrollados, que buscan una agricultura de precisión. La monitorización de datos relacionados con las precipitaciones, sequías o inundaciones, el seguimiento de las necesidades de agua de los cultivos y la gestión del riego, de la calidad del suelo, de la presencia de plagas, etc., son algunos de los aspectos tratados. Es precisamente en este ámbito, sobre todo en lo relacionado con los países en vías de desarrollo, cuando se hacen necesarios los programas de divulgación que conecten a los usuarios finales con los ingenieros y científicos capaces de interpretar los datos.

- Gestión de desastres⁵⁶

La gestión de desastres, bien naturales o bien provocados por el hombre, es una de las áreas en las que la observación de la Tierra tiene un enorme potencial. Se incluyen aquí desastres debidos a la climatología (inundaciones, sequías); a corrimientos de tierra,

⁵⁵ J. Sousa *et al.*, «Potential of C-Band SAR Interferometry for Dam Monitoring», *Procedia Computer Science* 100, pp. 1103-1114 (2016).

⁵⁶ G. L. Cozannet *et al.*, «Space-Based Earth Observations for Disaster Risk Management», *Surveys in Geophysics* 41, pp.1209-1235 (2020).

terremotos, tsunamis, fuegos, volcanes, etc.; o, por ejemplo, los causados por accidentes nucleares o conflictos bélicos. El simple hecho de mostrar los mapas pre-desastre y post-desastre permite evaluar los efectos y la extensión de la zona afectada. La respuesta inmediata ante una crisis se centra en salvar vidas y minimizar el impacto. A ello le sigue una fase de recuperación que debe cerrarse con una de prevención y otra de preparación, para cerrar el círculo ante otra posible crisis.

- Contaminación

Los datos obtenidos mediante observaciones desde el espacio se utilizan para complementar los datos de las estaciones de medición terrestres. De este modo se puede estimar el contenido en la troposfera de algunos contaminantes como son el ozono, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y aerosoles a escalas urbanas. Las imágenes de satélites se utilizan también para seleccionar los emplazamientos más adecuados donde situar vertederos o para detectar vertederos ilegales.

Copernicus

Una vez revisadas las actividades principales dentro del ámbito de la observación de la Tierra, se dedica un pequeño espacio a Copernicus⁵⁷, el programa de observación de la Tierra de la Unión Europea que tiene como fin observar la Tierra para obtener el máximo beneficio de los ciudadanos europeos. Está gestionado por la Comisión Europea y en él participan, además de los Estados miembros, la ESA, Eumetsat, el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo y la empresa Mercator Océan. Dispone de satélites propios, la familia Sentinel, y proporciona servicios de vigilancia atmosférica, vigilancia marina, vigilancia terrestre, cambio climático, seguridad y emergencias. Estos servicios son gratuitos y se encuentran disponibles en abierto. Entre ellos cabe destacar el servicio de vigilancia atmosférica, que proporciona datos sobre la composición de la atmósfera de forma continua, formulando incluso predicciones para los días siguientes. Se centra en cinco áreas: la calidad del aire y composición de la atmósfera, la capa de ozono y la radiación ultravioleta, las emisiones y flujos en superficie, la radiación solar y el cambio climático.

⁵⁷ <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>. [Último acceso: abril de 2021]

Ciencia en microgravedad

Todos los procesos que ocurren en la Tierra, físicos, químicos o biológicos, están sujetos a las fuerzas gravitatorias. En algunos de estos fenómenos, la gravedad no es relevante; sin embargo, en otros la gravedad es el factor dominante. Por otra parte, la descripción de los fenómenos físicos mediante modelos matemáticos requiere el conocimiento de ciertas propiedades y parámetros. En ciertos casos, estos parámetros pueden ser determinados de forma sencilla mediante las leyes físicas o de manera experimental. Sin embargo, en otros casos, la presencia de gravedad enmascara el efecto que se quiere observar y, al no poder ponerlo de manifiesto, no se pueden medir las propiedades o parámetros asociados a él, siendo necesario eliminar el efecto de la gravedad para analizar el fenómeno.

La ausencia absoluta de gravedad podría conseguirse viajando mediante una nave espacial lejos de la influencia de los cuerpos celestes, lo que no resulta practicable. La forma más sencilla de conseguir anular la gravedad en la Tierra consiste en poner los objetos en caída libre. Esto se puede realizar en una torre de caída, como la del ZARM⁵⁸, situada en Bremen, con la que, incluso siendo la más grande que se ha construido, con sus 120 metros de altura se llegan a conseguir 4,7 segundos de microgravedad, que pueden extenderse a 9,3 segundos si la cápsula de ensayos se eleva mediante una catapulta. Si los tiempos requeridos para realizar los experimentos son mayores, la siguiente plataforma serían los aviones que realizan vuelos parabólicos, en los que, tras una subida a 1,8 g, en la fase de caída se consiguen entre 20 y 30 segundos de microgravedad, si bien en un único vuelo se puede realizar una serie de hasta 15 maniobras⁵⁹. El siguiente escalón en cuestión de tiempos serían los cohetes de sondeo, con los que se pueden alcanzar entre 6 y 13 minutos de microgravedad⁶⁰.

Para experimentos más largos es necesario recurrir a plataformas orbitales. Un objeto orbitando un planeta, por ejemplo, la Tierra, se encuentra sujeto a la fuerza de gravedad ejercida por el planeta, pero las fuerzas centrífugas ocasionadas por el movimiento

⁵⁸ <https://www.zarm.uni-bremen.de/>. [Último acceso: mayo de 2021]

⁵⁹ <https://www.gozerog.com/home/>. [Último acceso: mayo de 2021]

⁶⁰ <http://wsn.spaceflight.esa.int/docs/EUG2LGPr3/EUG2LGPr3-6-SoundingRockets.pdf>. [Último acceso: mayo de 2021]

circular compensan las fuerzas gravitatorias, lo que resulta en unos niveles de gravedad equivalentes a la millonésima parte de la gravedad, de ahí el nombre de *microgravedad*. La Estación Espacial Internacional⁶¹, ISS por sus siglas en inglés (International Space Station), es el resultado de una cooperación entre las grandes agencias espaciales: NASA (Estados Unidos), ESA (Europa), JAXA (Japón), Roscosmos (Rusia) y CSA (Canadá), y es la plataforma tripulada utilizada hoy en día para realizar, entre otros, experimentos en microgravedad. Los experimentos realizados se organizan en dos grandes grupos: los relacionados con las ciencias de la vida y los relacionados con las ciencias físicas.

Comenzando con la experimentación relacionada con las ciencias de la vida, el primer gran grupo de actividades está relacionado con la medicina y la fisiología humana⁶². Los sujetos de estudio en este caso suelen ser los propios astronautas, que son monitorizados y sometidos a diversas pruebas médicas, primero durante su estancia en el espacio y posteriormente en Tierra. Se ha observado que la permanencia durante grandes periodos en ausencia de gravedad puede inducir pérdida de masa ósea y de calcio a través de la orina, se pueden producir atrofia muscular, cambios en el sistema cardiovascular, disfunciones en el sistema propioceptivo, problemas oculares y alteración del sistema de ventilación pulmonar, así como un debilitamiento de la eficiencia del sistema inmune. Además, en este aspecto de salud humana, los efectos de la radiación ionizante existente en el espacio en la salud humana, aunque nada tienen que ver con la microgravedad, son también objeto de estudio, sobre todo de cara a la preparación de posibles misiones de larga duración a la Luna o a Marte. Algunas de las investigaciones realizadas sobre los astronautas han proporcionado importantes resultados sobre los cambios biológicos a nivel celular que se originan durante un vuelo espacial, entre los que se encuentran daños en el ADN o una desregulación de la actividad mitocondrial. Así, el estudio realizado sobre los astronautas ha permitido profundizar en el conocimiento de procesos fisiológicos habitualmente enmascarados por la gravedad.

Además de los experimentos realizados sobre los astronautas, se han realizado numerosos experimentos relacionados con el

⁶¹ https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station [Último acceso: mayo de 2021]

⁶² E. Afshinnekoo *et al.*, «Fundamental Biological Features of Spaceflight: Advancing the Field to Enable Deep-Space Exploration», *CELL* - 183(5), pp. - 1162-1184(2020).

crecimiento de proteínas, de tejidos biológicos, de plantas⁶³, o el comportamiento de insectos en microgravedad.

En lo que se refiere a las ciencias físicas, son también numerosos los experimentos realizados desde el espacio en microgravedad. La mayor parte de ellos se pueden agrupar en dos grandes grupos. Por una parte, se encuentra el estudio de fluidos en microgravedad, cuyos resultados tienen muchas aplicaciones directas, por ejemplo, en los depósitos de combustible de satélites o sondas espaciales, en sistemas de gestión térmica que funcionan con fluidos o en el sistema de soporte de vida de misiones tripuladas. Se incluyen aquí:

- Estudio de la estructura y la dinámica de fluidos y de sistemas multifásicos: flujos multifásicos, separación de fases, estudio de entrefases, mojabilidad, fenómenos de difusión, capilaridad, flujo en materiales porosos, etc.
- Estudios de transporte de calor y masa. Entre ellos se encuentran procesos de cambio de fase (ebullición, condensación), estudios de convección termocapilar, estudios de gotas y burbujas, convección termomagnética, etc.
- Estudios de procesos de combustión. Llamas, inflamabilidad, protección ante el fuego, etc.

El segundo gran grupo está relacionado con el estudio de materiales. En muchas ocasiones, los experimentos relacionados con materiales son a su vez experimentos de mecánica de fluidos o de transferencia de calor, por lo que se podrían incluir también en el grupo anterior. La medida directa de las propiedades termofísicas de metales fundidos y su evolución según van solidificando tienen un enorme valor a la hora de poder predecir con precisión determinados procesos mediante modelos matemáticos. Así, entre los experimentos de más interés se pueden destacar: determinación de propiedades termofísicas de materiales, estudio del proceso de solidificación y crecimiento de cristales (mediante el método de la zona flotante o mediante levitación electromagnética), estudio de las estructuras de espumas, emulsiones y coloides y su estabilidad, estudio del comportamiento de materiales con memoria de forma, etc.

Los resultados obtenidos de los experimentos de ciencias físicas realizados en microgravedad, adicionalmente a su interés cien-

⁶³ J. P. Vandenbrink *et al.*, «Space, the final frontier: A critical review of recent experiments performed in microgravity», *Plant Science* 243, pp. 115-119 (2016).

tífico, tienen también numerosas aplicaciones industriales. Por ejemplo, los experimentos relacionados con condensación son de interés para el desarrollo de nuevos intercambiadores de calor, los relacionados con la estabilidad de espumas y coloides tienen aplicación en la industria cosmética, etc.

Retornos de la actividad científica espacial a la sociedad

Es necesario reconocer la controversia generada en algunos sectores de la sociedad por las grandes inversiones necesarias para realizar ciencia desde el espacio, para los que no resultan convincentes los argumentos esgrimidos por los Gobiernos para justificar el gasto. Más allá de la pura generación de conocimiento y su valor para la humanidad, que ya de por sí justifica la inversión, y de su carácter inspirador, sobre todo para los jóvenes, es necesario poner de manifiesto el elevado retorno que las actividades espaciales —todas ellas, no solo las de carácter científico— tienen para la sociedad.

El espacio es, por excelencia, el sector tecnológico de la innovación. Cada nueva misión suele llevar consigo una mejora tecnológica; es necesario abordar un reto que hay que solventar y que, a la larga, podrá ser transferido a aplicaciones terrestres. La tecnología espacial forma parte del día a día de los países desarrollados. Sin satélites, algunos servicios esenciales dejarían de funcionar. Sería impensable hoy en día un mundo sin telefonía móvil, sin navegadores, sin internet o sin poder mirar el mapa del tiempo. Pero, además de estos usos directos de los sistemas espaciales, son numerosas las herencias que las misiones espaciales, a lo largo de su historia, han dejado en el ámbito terrestre⁶⁴. Las necesidades tecnológicas generadas para poder abordar los retos científicos planteados han requerido el desarrollo de una tecnología antes no existente, que se ha podido en muchos casos reacondicionar para aplicaciones terrestres. Los productos «exportados» son muy variados. Se pueden citar entre ellos: las clásicas mantas térmicas desarrolladas para aislar los satélites del espacio exterior; los sensores CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*), utilizados en las cámaras de los teléfonos móviles, además de en muchas otras aplicaciones por su pequeño tamaño; detectores de fugas de metano desarrollados originalmente para

⁶⁴ <https://spinoff.nasa.gov/>. [Último acceso: abril de 2021]

buscar metano en Marte; sensores láser para identificar bacterias en una herida, herencia de los sensores desarrollados para buscar vida en Marte; exoesqueletos para niños tetrapléjicos, derivados de los sistemas robóticos espaciales; purificadores de agua compactos derivados del sistema de soporte de vida de la Estación Espacial Internacional; paneles fotovoltaicos; baterías de alto rendimiento; materiales como el Kevlar; algunas aleaciones ligeras, etc.

Al margen de los ejemplos particulares, se puede decir que los sectores de la medicina, el transporte, las comunicaciones y las tecnologías de la información, la energía, la seguridad, el medio ambiente, entre otros, se benefician día a día de los desarrollos realizados para realizar actividades espaciales.

Además de los retornos en forma de esos productos que utilizamos en nuestro día a día y del estímulo que eso supone para los sectores implicados, es importante señalar el retorno en forma de actividad económica. En el caso de España, la inversión en I+D+i en espacio realizada en 2019 por la industria (sin incluir la actividad de los centros de investigación y universidades) supera los 167 millones de euros, según puede observarse en la tabla 1⁶⁵. La tabla recoge datos proporcionados por auditores de KPMG sobre la actividad en el sector espacio de las empresas socias de TEDAE, la Asociación Española de Empresas Tecnológicas de Defensa, Seguridad, Aeronáutica y Espacio. Se trata de empresas estratégicas con un crecimiento exponencial en los últimos años. Las inversiones en 2019 alcanzaron el 0,13% del PIB.

Main Space variables			
	Military Space	Civil Space	Total Space
Turnover (in 000s of Euros)	171.667	795.366	967.033
Contribution to GDP	0,03%	0,11%	0,13%
Total multiplier	2,39	1,97	2,04
Jobs	1.071	15.831	16.903
Investment in R+D+i (in 000s of Euros)	2.488	164.585	167.072

Tabla 1. Inversión en espacio de las empresas de TEDAE en 2019

⁶⁵ Magazine *ProESPACIO*, 46 (2020).

Consideraciones finales

El estudio del universo ha fascinado desde al ser humano desde sus orígenes. La ciencia trata de responder preguntas, muchas de las cuales no podían ser respondidas por las limitaciones encontradas en la Tierra. El acceso al espacio a finales de los años 50 del siglo pasado supuso la gran oportunidad para ampliar los horizontes. Fue un cambio de paradigma para la observación del universo, abriendo a los astrónomos y astrofísicos una vía de observación que hasta entonces estaba limitada a las bandas del espectro electromagnético que atraviesan la atmósfera terrestre. El acceso al espacio permitió, además, enviar sondas espaciales a otros puntos del sistema solar para poder acercarse a objetos celestes a cortas distancias para observarlos in situ, y permitió observar la Tierra desde fuera. Los avances en el conocimiento del universo, incluido nuestro planeta, son innumerables. Desde entonces, desde esos comienzos, la actividad científica no ha cesado y cada día se proponen misiones más complejas y ambiciosas. La gran magnitud de las misiones científicas ha traído consigo un vertiginoso desarrollo tecnológico necesario para poder acometer los complejos objetivos científicos planteados. Se puede decir que, más allá de todo el conocimiento adquirido y de su carácter inspirador, la ciencia realizada desde ha sido un motor de desarrollo del que se ha beneficiado toda la sociedad.

Capítulo tercero

La industria espacial española en el contexto europeo y mundial

Jorge Potti Cuervo

Resumen

El sector espacial es un sector estratégico que viene desarrollándose con fuerza creciente en los últimos años y teniendo un impacto cada vez mayor en la economía. La industria espacial española se desenvuelve en un contexto internacional complejo, siendo su principal mercado el europeo. Las empresas españolas han sabido capturar las oportunidades que ofrece el sector y crecer en la cadena de valor. Sin embargo, la inversión gubernamental española en materia espacial sigue siendo inferior a la media europea, lo que dificulta el desarrollo de nuestra industria, en un contexto europeo actual de notable excitación, con presupuestos crecientes de la UE y nuevos programas de alto impacto económico y social, tales como la nueva constelación de comunicaciones seguras o la gestión del tráfico espacial. España debe asegurarse que su industria juega un papel protagonista en dichas iniciativas. Los fondos de recuperación y resiliencia de la UE suponen una inaplazable oportunidad para ello.

Palabras clave

Industria espacial, economía del espacio, mercado espacial, cadena de valor, tendencias.

The spanish space industry in the european and global context

Abstract

Space is a strategic sector that has been developing strongly in recent years and showing an ever greater impact on the economy. The Spanish space industry operates in a complex international context, its main market being Europe. Spanish companies have been able to capture the opportunities offered by the sector and grow in the value chain. However, Spanish government investment in space continues to be below the European average, which hinders the development of our industry, in a current European context of notable excitement, with growing EU budgets, and new programs with high economic and social impact, such as the new secure communications constellation or space traffic management. Spain must ensure that its industry plays a leading role in these initiatives. The EU recovery and resilience funds represent an urgent opportunity to do so.

Keywords

Space industry, space economy, space market, value chain, trends.

El mercado espacial

De acuerdo a la última edición del *Space Report*¹ (2020), el mercado espacial global alcanzó en 2019 un valor de 424 000 millones de dólares, lo que supone un incremento acumulado de más del 80% en la última década. Ello es reflejo de un creciente impacto del espacio en la economía, así como de su consideración de industria estratégica de primer orden.



Figura 1. El mercado espacial global ha crecido en los últimos 15 años desde los 177 000 millones de dólares hasta los 424 000 millones del año 2019, lo que representa una tasa de crecimiento anual compuesto del 6,4%

La mayor parte de dicho mercado, cerca del 80%, se corresponde a mercado comercial, que alcanzó en 2019 los 337 000 millones de dólares, lo que supone un incremento del 6,3% sobre el año precedente y un acumulado del 77,8% en los últimos diez años. Este segmento de mercado se compone de desarrollo de infraestructura comercial espacial y desarrollo de productos y servicios.

El capítulo de infraestructura espacial comercial alcanzó los 119 000 millones de dólares, donde el 94% se corresponden a

¹ La Space Foundation es una organización sin ánimo de lucro que publica cada año el *Space Report*, que constituye un documento de referencia del sector espacial.

equipos de recepción y transmisión en tierra y chipsets de navegación, los cuales por sí solos suponen 78 000 millones de dólares. La fabricación y lanzamiento de satélites comerciales supone un mercado de 5 000 millones de dólares, y el de SSA (*Space Situational Awareness*) de mil doscientos millones de dólares.

EL capítulo de productos y servicios comerciales espaciales alcanzó en 2019 los 218 000 millones de dólares, y está constituido principalmente por transmisiones de televisión vía satélite, que suponen un 42 %, y por productos y servicios de valor añadido basados en posicionamiento, navegación y tiempos, que suponen otro 42 %. El 16 % restante incluye servicios de radio e internet por satélite, así como productos y servicios de valor añadido de observación de la Tierra.

La inversión gubernamental en programas y tecnología espacial alcanzó en 2019 los 87 000 millones de euros, de los cuales el 54 % se corresponde a Estados Unidos y el 46 % se lo reparten el resto de países del mundo.

Mercado espacial mundial



Figura 2. Distribución del total de 423,8 miles de millones de dólares del mercado espacial mundial entre mercado gubernamental y mercado comercial, diferenciando inversión EE.UU. y resto del mundo en su componente gubernamental, así como mercado de infraestructura y productos y servicios, en su componente comercial

El mercado espacial futuro

El mercado espacial se encuentra en un momento de notable excitación. En los últimos años venimos asistiendo a inversiones

privadas sin precedentes en proyectos y programas espaciales, que están produciendo una auténtica revolución en los segmentos de lanzadores, telecomunicaciones y observación de la Tierra, principalmente. El turismo espacial parece estar llamando a las puertas, y a más largo plazo se apuntan proyectos de minería espacial.

Los Gobiernos, por su parte, conscientes del extraordinario valor estratégico del sector y su gran capacidad de transformación de la economía, también están redoblando sus inversiones en espacio. La tecnología espacial está cada vez más presente en sectores claves de la economía. El interés por el mismo en un plano militar y de superioridad estratégica es también creciente.

Por todo ello, numerosos analistas estiman que en 2040 la economía del espacio global superará el billón de dólares, con tasas de crecimiento anuales cercanas al 10% sostenidas durante los próximos veinte años.

La cadena de valor del mercado espacial

La cadena de valor tradicional del mercado espacial se compone de *upstream* y *downstream*. El *upstream* engloba la fabricación de ingenios espaciales, tanto lanzadores como satélites u otros vehículos espaciales, así como los segmentos terrenos que nos permiten comunicarnos con ellos y obtener y procesar los datos que prestan. Las operaciones de satélites con frecuencia se asocian también al *upstream*. El mercado mundial de *upstream* se estima en al menos 85 000 millones de dólares. Esta cifra posiblemente suponga una subestimación, dada la existencia de programas institucionales en algunos países que no forman parte de informes públicos, bien sea por su carácter militar u otros motivos. Los mercados de *upstream* son cautivos en una proporción importante, dado que se nutren de fondos públicos, en su mayor parte procedentes de organizaciones nacionales o supranacionales, que impiden o limitan una competición abierta.

El *downstream* comprende la parte de mercado que explota la tecnología satelital que provee el *upstream*, y genera productos y servicios de valor añadido tales como transmisión de televisión vía satélite, provisión de banda ancha por satélite, servicios de posicionamiento, navegación y tiempos, aplicaciones de observación de la Tierra, etc. El *downstream* también incluye la fabricación de equipos de usuario tales como receptores GNSS, antenas

de recepción, receptores de señal, etc. Es un mercado mucho más amplio que el del *upstream* y más abierto.

El sector espacial se ha desarrollado históricamente en base a un empuje tecnológico impulsado por el *upstream*. El *downstream* se ha desarrollado con posterioridad como consecuencia del desarrollo de infraestructura espacial creada por el *upstream*, fruto principalmente de inversiones gubernamentales. A medida que el sector espacial ha ido ganando terreno en el dominio del *downstream*, este ha ido generando nuevas demandas de mercado que están modificando dicho paradigma y acelerando el desarrollo del sector.

Resulta innegable que el dominio del *upstream* ha sido y continúa siendo crucial para capitalizar cuotas de mercado en el *downstream*. Ello es debido al gran contenido tecnológico del sector espacial que implica que la base técnica tenga un peso importante en la competición industrial. Las empresas que desarrollan *upstream*, al dominar la tecnología de base que alimenta al *downstream*, obtienen ventajas competitivas que con frecuencia resultan insalvables. El *upstream*, pues, continúa siendo un caballo de batalla esencial en el escenario estratégico mundial cuyas inversiones se multiplican por efecto del *downstream*.

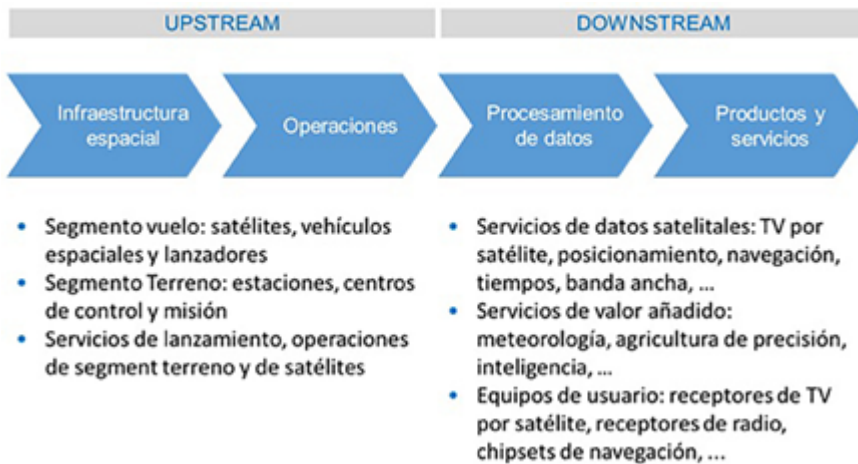


Figura 3. Esquema de la cadena de valor de la industria espacial, donde se distinguen los segmentos de upstream y downstream

La industria espacial de *upstream*

La industria espacial de *upstream* estructura la cadena de suministro tal y como se recoge en la tabla siguiente, donde se ob-

servan, de modo semejante a la industria aeronáutica, distintos niveles y responsabilidades.

En el nivel de Prime de integrador de sistemas completos se cuentan pocas compañías a nivel mundial, siendo la mayor parte grandes multinacionales. Las más importantes serían Airbus Defence and Space (FRA, DEU), Thales Alenia Space (FRA, ITA), OHB System (DEU), Lockheed Martin (USA), Boeing (USA), Maxar Technologies (USA), Northrop Grumman Space Technology (USA), Mitsubishi Heavy Industries (JPN), China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC) (CHN) y Khrunichev State Research and Production Space Center (RUS).

Al grupo de empresas anteriores se añaden algunas pocas con capacidades contrastadas de fabricación de satélites o lanzadores completos (segmento vuelo). Entre ellas cabría destacar a ArianeGroup, AVIO y SpaceX en el dominio de lanzadores, así como Surrey Satellite Technology Limited (UK) o Airbus Defence and Space España, entre otras, en el dominio de satélites.

En segmento terreno, a los grandes integradores de sistemas se suman algunas empresas con capacidad de integración de segmentos terrenos de misiones espaciales, tales como General Dynamics (USA), Kratos (USA), Telespazio (ITA), GMV (ESP) o Indra (ESP).

El siguiente escalón de la cadena de suministro, el denominado Tier 1, engloba a empresas que disponen de capacidad de desarrollo de subsistemas de segmento vuelo y de grandes subsistemas de segmento terreno. Dada la notable integración vertical, en algunos casos extrema, de la mayor parte de los integradores de sistemas, todas las empresas con capacidad de liderazgo mencionadas con anterioridad se cuentan, bien sea directamente o a través de algunas de sus filiales, entre la lista de suministradores más relevantes de Tier 1. Tal es el caso en España de Thales Alenia Space España o CRISA. A ellas se añaden, en Europa, algunas compañías independientes tales como RUAG (CHE), Sener (ESP) y GMV (ESP).

En los siguientes niveles, Tier-2, 3 y 4, se encuentra el resto de la industria, donde se puede encontrar un importante número de empresas con una capacidad en espacio mediana o pequeña.

Resulta evidente señalar que los niveles más altos de la cadena de suministro suponen mayor valor añadido y se corresponden a posiciones de mayor solidez estratégica, posicionamiento y sostenibilidad.

	Sistemas completos (segmento vuelo y terreno)	Satélites, lanzadores (segmento vuelo)	Segmento Terreno
Prime	Integradores de sistemas	Prime de satélite	Prime de segmento terreno
	Airbus Space and Defence (FRA, DEU), Thales Alenia Space (FRA, ITA), OHB System (DEU), Lockheed Martin (USA), Boeing (USA), Maxar Technologies (USA), Northrop Grumman Space Technology (USA), Mitsubishi Heavy Industries (JPN), China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC) (CHN) y Khrunichev State Research and Production Space Center (RUS).	Además de los integradores de sistemas: ArianeGroup, AVIO, SpaceX, entre otras, en el dominio de lanzadores. Surrey Satellite Technology Limited (UK) y Airbus Space and Defence España, entre otras, en el dominio de satélites	Además de los integradores de sistemas: General Dynamics (USA), Kratos (USA), Telespazio (ITA), GMV (ESP), entre otras
Tier 1		Proveedores de subsistemas: térmico, estructura, potencia, propulsión, AOCS/GNC, instrumento, etc.	Proveedores de subsistemas: estaciones de TT&C, estaciones de seguimiento, centros de control, centros de procesamiento, etc.
Tier 2		Equipos a integrar en subsistemas	Equipos de segmento terreno, subsistemas de centro de control o de procesamiento de datos
Tier 3 y 4		Componentes y servicios	Componentes y servicios

Figura 4. Estructura de la cadena de suministro del upstream

En lo que respecta a clientes, la cadena de suministro de la industria espacial de *upstream* aborda mercados institucionales y comerciales que demandan lanzadores, satélites, vehículos espaciales y sus segmentos terrenos. La demanda institucional ha dominado de forma abrumadora a la demanda comercial durante

décadas, lo que ha generado una industria de *upstream* más desarrollada en aquellos países con mayor inversión gubernamental en programas espaciales, como es el caso de Estados Unidos, China o Rusia. En Europa, este efecto también se ha hecho notar, siendo Francia el país europeo con mayor inversión gubernamental en espacio y, por tanto, el que cuenta con una industria más desarrollada. España, lamentablemente, nunca ha realizado una inversión en programas espaciales gubernamentales a nivel de su PIB, lo que ha limitado el desarrollo de la industria nacional, a pesar de contar con un puñado de empresas muy comprometidas con el sector.

El mercado global comercial de lanzadores, satélites y segmentos terrenos ha venido impulsado por alrededor de cincuenta operadores de comunicaciones por satélite, entre los que se cuentan Hispasat e Hisdesat, y que han jugado y juegan un papel esencial en elevar la competitividad y la innovación de la industria. El mercado comercial de observación de la Tierra se ha desarrollado con menor intensidad.

La cadena de suministro de la industria espacial resulta ciertamente compleja, influenciada por el gran peso y el carácter multinacional de las principales compañías espaciales, incluyendo a la práctica totalidad de los integradores de sistemas. El efecto combinado de este fenómeno, que es más acusado en Europa, con la integración vertical, en algunos casos extrema, de algunas de las principales compañías, supone una clara distorsión de la competición en ciertos niveles de suministro. Los distintos procesos de concentración industrial que ha vivido el sector también han contribuido de forma notable a esta estructura, que supone un reto para los Gobiernos, que, al financiar los principales programas espaciales y buena parte de la I+D del sector, desean ejercer políticas industriales favorables a sus economías y se encuentran con esta complejidad industrial.

La industria espacial europea de *upstream*

De acuerdo a los informes que publica Eurospace², la asociación de referencia de la industria espacial europea, unas trescientas cincuenta empresas conforman la industria espacial europea de *upstream*, existiendo un alto nivel de concentración industrial. Así, existen cuatro grandes grupos industriales (Airbus, Thales,

² *Facts & Figures*, 24th edition, July 2020. The European Space Industry in 2019.

Safran y Leonardo), que representan el 58% del empleo total en espacio, por medio de sus empresas afiliadas y *joint ventures*. La capacidad industrial en Europa se concentra en Airbus Defence and Space, Thales Alenia Space y ArianeGroup. En un segundo escalón se encuentra Telespazio, así como otros tres grupos industriales europeos que superan la barrera de los mil empleados en el sector: OHB, RUAG y GMV. Las pymes representan una pequeña fracción de alrededor del 10% del empleo de la industria espacial europea.

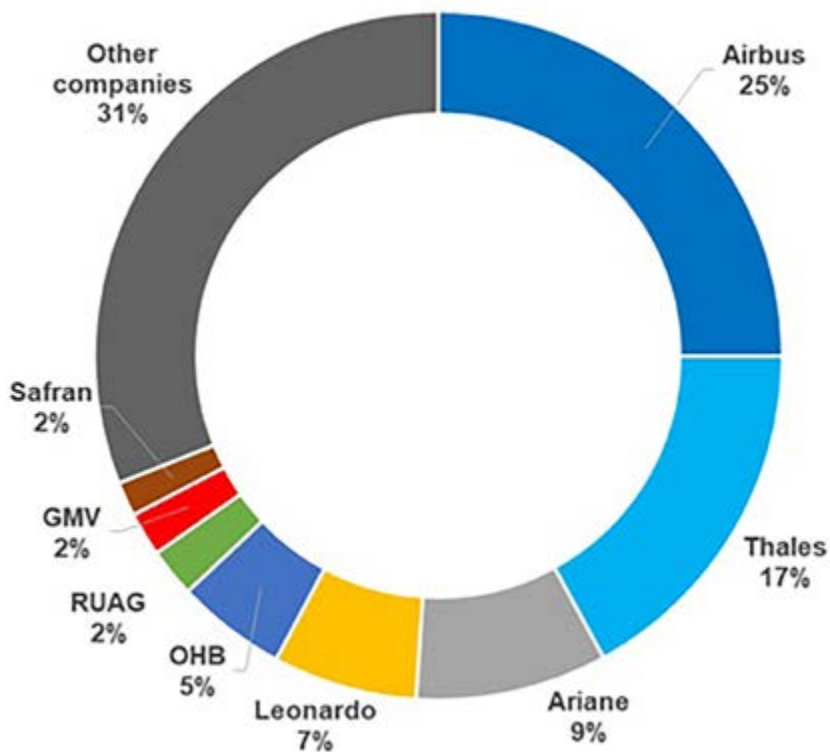


Figura 5. Estructura del empleo de la industria espacial europea.
(Fuente: Eurospace)

Las principales empresas europeas en el sector comparten un carácter multinacional. Así, Airbus Defence and Space cuenta con una veintena de filiales en una decena de países; Thales Alenia Space y Telespazio son el resultado de una *joint venture* entre Thales y Leonardo, y solo en Europa cuentan con diez filiales en seis países; OHB, siendo significativamente menor que los anteriores, también cuenta con seis compañías en cinco países

Europeos; la multinacional española GMV cuenta con once filiales internacionales, ocho de ellas en Europa. Este carácter multinacional es el resultado de la complejidad geopolítica europea y de las políticas industriales de los Gobiernos y de la Agencia Espacial Europea (ESA), que durante años ha sido, y continúa siendo, el principal agente del sector en Europa.

En 2019, la industria espacial europea generó 8576 millones de euros de ventas y dio empleo directo a 47895 personas. Esta fuerza de trabajo se distribuye, en Europa, principalmente en Francia, Alemania e Italia, y en menor grado en Reino Unido, España y Bélgica. Así, Francia cuenta con el 38% de la fuerza de trabajo total; Alemania con un 19%; Italia un 11%; Reino Unido un 9%; España un 8%; y Bélgica un 4%, quedando el 11% restante a repartir entre una veintena de países.

La industria espacial española de *upstream* en el contexto europeo

La industria espacial española de *upstream*, mayoritariamente integrada en TEDAE³, se compone de una treintena de empresas fabricantes de lanzadores, satélites y segmentos terrenos, y dos operadores, Hispasat e Hisdesat, que históricamente han ejercido y continúan siendo auténticos tractores del sector.

En conjunto, en el año 2019 la industria espacial española generó unas ventas consolidadas de 863 millones de euros y 4267 empleos directos. En relación con Europa, supone un 7,9% del empleo y un 7,0% de las ventas.

Del total de las ventas, el 49% corresponden a sector público y el 51% al sector privado. La comparación con la industria europea en términos semejantes revela que la industria espacial española tiene una cuota del mercado público europeo del 6,4%, como consecuencia de la menor inversión pública de nuestro país en espacio. Por el contrario, nuestra industria tiene una cuota del 13,4% del mercado privado europeo, resultado por un lado del efecto tractor de Hispasat e Hisdesat, y por otro de la gran competitividad de nuestras empresas. Sin embargo, en los mercados fuera del marco europeo nuestra industria tiene poca presencia fruto de una escasa colaboración española en proyectos bilatera-

³ TEDAE es la Asociación Española de Empresas Tecnológicas de Defensa, Seguridad, Aeronáutica y Espacio.

les o multilaterales con países fuera de Europa, así como de una menor capacidad de ofertar soluciones completas o integrarse en ofertas de grandes integradores de sistemas activos en mercados mundiales.

Por segmentos del *upstream*, la industria espacial española tiene mayores cuotas de mercado y posicionamiento en segmento terreno, donde representa el 11% del total de industria espacial europea. En segmento vuelo de satélites científicos, dicha cuota se sitúa en el 6,6%, en línea con el nivel de inversión pública. En segmento espacio de satélites de aplicación (telecomunicaciones, observación de Tierra y navegación), se sitúa en un 5,4%. Por último, supone un 4,0% en lanzadores.

Los últimos diez años de evolución del sector espacial del *upstream* en España vienen caracterizados por un estancamiento prolongado de las ventas en el periodo 2009-2014, seguido de un crecimiento medio del 3,8% anual en los últimos cinco años. De manera semejante a las ventas, el empleo que genera la industria española de *upstream* permaneció estancado en el periodo 2010-2014, creciendo a una media del 4,7% anual en los últimos cinco años.

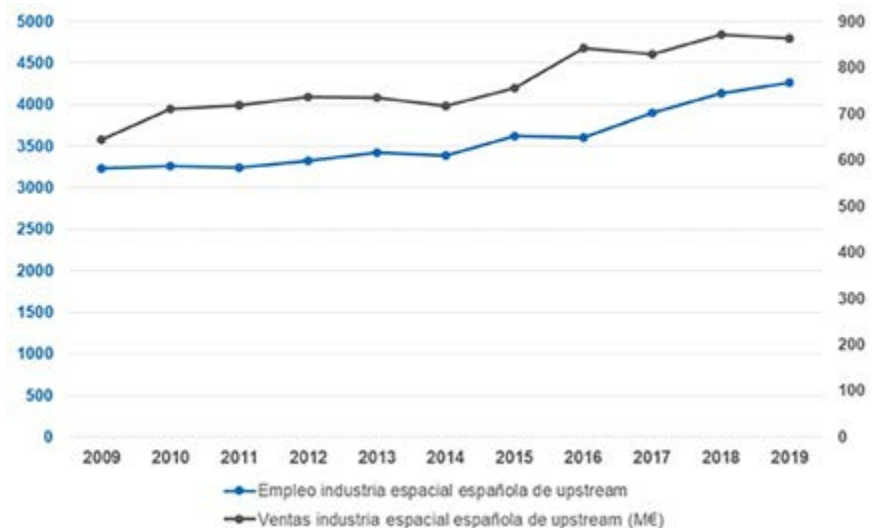


Figura 6. Evolución de la cifra de negocio y empleo de la industria espacial española de upstream en los últimos diez años

La comparativa con Europa muestra un periodo 2009-2015 de pérdida importante de peso en Europa, desde un 8,1% (en ventas) a un 6,3%, lo que representa una pérdida de posiciona-

miento del 4,1% anual durante seis años seguidos. Desde 2015 se inicia un proceso de tímida recuperación con altibajos, para alcanzar un 7,0% del peso en Europa. De manera semejante a las ventas, el porcentaje de empleo de la industria española de *upstream* con respecto a Europa cae de un 10,3% en 2009 a un 7,6% en 2016. En los últimos tres años se ha producido una muy ligera recuperación para alcanzar el 7,9%.

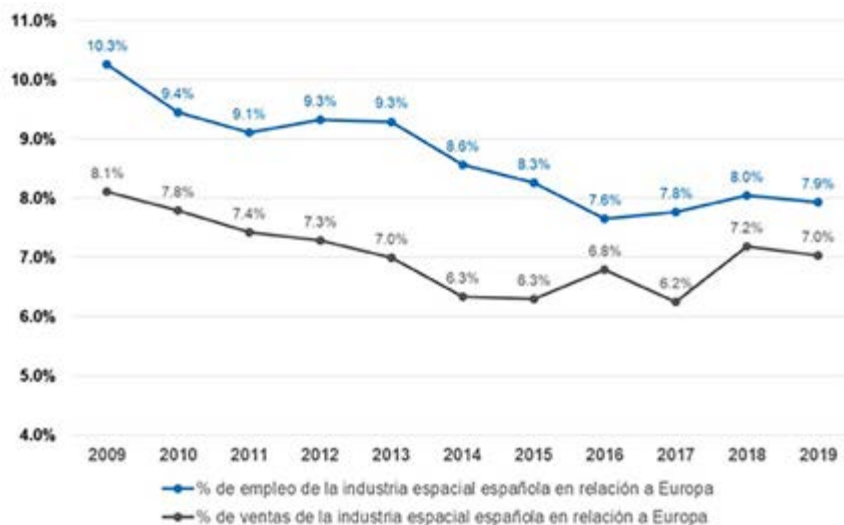


Figura 7. Evolución de la cifra de negocio y empleo de la industria espacial española de *upstream* en relación al conjunto de la industria espacial europea

Empleo y cualificación profesional

El empleo que generan las empresas españolas de espacio es de muy alta cualificación profesional, correspondiéndose el 72% a titulados universitarios. La media de edad es de 40 años, significativamente inferior a la media europea. Las mujeres suponen el 25% del empleo directo en España, por encima del 22% europeo.

Talla de las empresas españolas en espacio

De las 24 empresas que conforman la Comisión de Espacio de TEDAE, observamos una tipología de empresas donde solo 7 de ellas, incluyendo los dos operadores, Hispasat e Hisdesat, tienen capacidad específica en espacio por encima de 250 empleados o

INDUSTRIA ESPACIAL DE UPS TREAM **Española** **Europea**

Número total de empleados directos	4,140	47,906
Edad media	39.4	43.9
Edad media (mujeres)	38.6	43.0
Edad media (hombres)	39.7	44.2
Porcentaje mujeres	25%	22%
Estudios universitarios	72%	73%
Formación profesional	23%	18%
Otros	5%	9%

Figura 8. Cuadro resumen del empleo de la industria espacial española de upstream y comparativa con Europa

50 M€ de cifra de negocio. Dichas empresas concentran el 82% de las ventas y el 71% del empleo del sector en España. Además de ellas, y atendiendo exclusivamente a la capacidad en el sector espacio, contamos con 6 empresas medianas (más de 50 empleados), que representan el 14% de las ventas y el 21% del empleo. Finalmente, restarían 11 empresas que suman el 3% de las ventas y el 8% del empleo.

Sin embargo, la clasificación de nuestras empresas cambia de forma considerable si atendemos a la clasificación oficial de acuerdo a las recomendaciones de la Comisión Europea, que toma en consideración la condición de la parental. En tal caso son 11 empresas las que adquieren la condición de grandes (más de 3000 empleados), incluyendo a los operadores, al pertenecer en más de un 25% a grandes grupos, representando en conjunto el 75% de las ventas y el 59% del empleo. Restarían dos *midcaps* que suman el 20% de las ventas y el 32% del empleo. El segmento de medianas quedaría en 5 empresas con 1,4% de las ventas y 2,8% del empleo. Finalmente, 6 empresas pequeñas con 1,8% de las ventas y 4% del empleo.

Ello es resultado de que, como también ocurre en el concierto europeo, en la industria espacial es frecuente que existan grandes compañías con pequeñas unidades o filiales de espacio, que en ocasiones no forman parte del negocio central, lo que añade un punto de complejidad al sector.

	Pequeñas	Medianas	Midcaps	Grandes
Ventas	<10M€	<50M€	>50M€	>>50M€
Empleos	<50	<250	<3000	>3000
Clasificación oficial (consideración parental)				
Nº de empresas	6	5	2	11
Ventas	1.8%	1.4%	19.7%	75.2%
Empleos	4.0%	2.8%	32.1%	58.9%
Clasificación en atención a la actividad espacial exclusivamente				
Nº de empresas	11	6	7	0
Ventas	3.4%	14.4%	82.1%	0.0%
Empleos	8.0%	21.0%	70.9%	0.0%

Figura 9. Cuadro resumen de la clasificación por tamaño de la industria espacial española, considerando exclusivamente su actividad espacial y la clasificación oficial en consideración de la parental

Conviene señalar asimismo que, en relación con la estructura de la industria europea, en España tienen un peso significativo las filiales de grupos industriales europeos. Tres de las siete empresas con talla *midcap* en espacio en España se corresponden a dicha situación. De las cuatro restantes, dos se corresponden a los operadores nacionales y las otras dos son multinacionales con cuarteles generales y centro de decisión en España.

La industria espacial española ante los diferentes segmentos de mercado

La industria espacial española es activa tanto en segmento vuelo como en segmento terreno y operaciones, desarrollando su actividad en la práctica totalidad de tipos de misiones espaciales.

Tomando los valores agregados de segmento vuelo y segmento terreno, la industria española de *upstream* produce el 30,8% de sus ventas en observación de la Tierra, seguido de un 23,2% en navegación por satélite, 15,5% en lanzadores, 13,7% en telecomunicaciones, 12,6% en ciencia y exploración y 1% en vigilancia del espacio.

VENTAS POR SEGMENTO Y MISIÓN (M€)			
(M€)	Segmento Vuelo	Segmento Terreno	Total
Lanzadores	68.49	18.01	86.50
Telecomunicaciones	54.42	22.04	76.46
Observación de la Tierra	139.28	32.57	171.85
Navegación por satélite	30.29	99.27	129.57
Ciencia y Exploración	66.27	4.15	70.43
Vigilancia del Espacio	0.33	3.27	3.59
Otros/desconocido	14.10	5.05	19.14
TOTAL	373.18	184.35	557.54
SISTEMAS MILITARES			49.75
OPERADORES			239.03

Figura 10. Ventas de la industria espacial española del año 2019 por segmento y tipo de misión

Macrotendencias del sector

Como se ha indicado, el sector espacial en la actualidad se encuentra inmerso en un periodo de notable excitación. Ello es debido a que el espacio juega un papel fundamental en algunas de las más importantes macrotendencias que se observan en el mundo actual y que pueden tener una importancia trascendental en los futuros equilibrios geoestratégicos. Entre otras, cabe destacar la digitalización, el desarrollo sostenible y la defensa y seguridad.

La digitalización es una de las principales macrotendencias de nuestros días y en ella el espacio debe jugar un papel importante. Fue el sector de las telecomunicaciones el primero en el que los satélites demostraron su gran poder transformador, resultando fundamentales en el desarrollo de la televisión digital. En la actualidad asistimos a varias tendencias simultáneamente con impacto en el sector espacial. Por una parte, la televisión vía satélite va perdiendo fuerza, siendo paulatinamente reemplazada por redes de fibra donde el papel que juega el satélite es de menor importancia. Por otro lado, la banda ancha y la movilidad resultan cada vez más importantes para el desarrollo de nuestra sociedad y la economía, hasta el punto de que la banda ancha se ha convertido en una auténtica necesidad para todos y en todo momento. El satélite debe servir para cubrir la brecha digital en

aquellas partes del territorio donde las redes terrestres no alcanzan o lo hacen de forma insuficiente. Al mismo tiempo asistimos al lanzamiento de megaconstelaciones de satélites en baja órbita que pudieran revolucionar en parte el segmento de las comunicaciones. Entre ellos destacan los proyectos Starlink, Oneweb y Kuiper. El desarrollo comercial e impacto económico de los mismos está todavía por ver, siendo innegable que han movilizado inversiones sin precedentes de miles de millones de euros y que su impacto potencial, por tanto, es extraordinario. En paralelo, los Estados son cada vez más conscientes de la importancia de contar con sistemas de comunicaciones gubernamentales y de defensa, hasta el punto de que la Unión Europea ha propuesto recientemente el desarrollo de un programa de comunicaciones seguras, que pudiera converger con la iniciativa de la propia UE de comunicaciones gubernamentales, y que se sumaría a los actuales programas Galileo y Copernicus, como tercer gran programa espacial de la Unión Europea.

El desarrollo sostenible es otra de las macrotendencias del mundo actual donde el espacio está llamado a jugar un papel muy importante. Se sustenta en tres pilares: desarrollo económico sostenible, desarrollo social y cuidado del medio ambiente. La observación de la Tierra desde el espacio constituye la única forma económicamente viable de obtener el enorme conjunto de datos esenciales que es preciso recopilar a escala global. Dichos datos son fundamentales para entender las tendencias, evaluar necesidades y diseñar y supervisar políticas y programas de desarrollo sostenible. Nuestra sociedad afronta numerosos desafíos que Naciones Unidas ha estructurado en diecisiete objetivos concretos incluidos en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. Además de la observación de la Tierra, la geolocalización juega también un papel importante en el logro de objetivos tales como el cambio climático o la gestión de catástrofes. Los dos principales programas espaciales de la Unión Europea, Galileo y Copernicus, se constituyen, pues, en herramientas trascendentales y sitúan a Europa en posición de liderazgo mundial en la materia. Su efecto combinado multiplica, además, su impacto económico y social en agricultura de precisión, ciudades inteligentes, transporte del futuro, reducción de gases de efecto invernadero, eficiencia energética y un largo etcétera.

En el terreno de estrategia política y militar, el espacio cada vez más se configura como un dominio donde las principales potencias del mundo toman posiciones. Los activos espaciales forman

parte en la actualidad del conjunto de infraestructuras críticas que los Estados deben proteger. Además, forman cada vez una componente más esencial de nuestras fuerzas armadas y sus operaciones, particularmente en comunicaciones, navegación y observación de la Tierra. Algunos países incluso han establecido fuerzas armadas espaciales, como es el caso de Estados Unidos con su Space Force, creada en 2019; el Space Command francés, creado en 2020; o China con su Strategic Support Force, creada en 2015.

Tendencias por segmentos del sector espacial

Además de las macro-tendencias indicadas previamente, el sector espacial vive un periodo de notable estímulo en la práctica totalidad de los segmentos de actividad espacial. A continuación, repasamos las principales tendencias en los segmentos de lanzadores, observación de la Tierra, telecomunicaciones, navegación por satélite y ciencia y exploración espacial.

Lanzadores

El segmento de lanzadores vive desde hace años una notable revolución, fruto de un impulso hacia una importante reducción de costes y una creciente competición en todos los tipos de lanzadores. Si bien en las principales potencias espaciales el mercado de lanzadores continúa reteniendo un mercado cautivo, la irrupción de SpaceX ha generado un nivel de competición sin precedentes, fruto del cual las grandes compañías de lanzadores intentan reducir considerablemente sus costes de producción y operaciones con el objetivo de poder competir. Ello está impulsando el desarrollo de vehículos lanzadores más modulares, componentes reutilizables y simplificando la cadena de suministro. El efecto disruptivo que ha supuesto la aparición de SpaceX y Blue Origin ha generado una presión considerable sobre los suministradores más vinculados institucionalmente, tales como United Launch Alliance o Ariane.

Al mismo tiempo asistimos desde hace relativamente pocos años al desarrollo de numerosos proyectos de microlanzadores. Se estima en alrededor de doscientos los proyectos de microlanzadores en desarrollo en todo el mundo. Entre los más avanzados cabe destacar a Rocket Lab, iSpace, Virgin Orbit y Astra Space, entre otros. En España contamos con la iniciativa de PLD Space.

En los próximos años se espera un aumento del número de pequeños satélites que deberán ponerse en órbita, lo que supone una oportunidad para este nuevo tipo de lanzadores, que en todo caso deberán competir con grandes y medianos lanzadores, que también se posicionan ante esta nueva expectativa de mercado. La viabilidad comercial de dichas iniciativas está todavía por demostrar.

Paralelos al impulso de estas iniciativas en el segmento de lanzadores, existen planes de desarrollo de puertos espaciales en numerosos países. En Europa cabe destacar las iniciativas en Reino Unido, Noruega, Suecia y Portugal.

En el lado opuesto de los microlanzadores se sitúan unos pocos lanzadores muy grandes en desarrollo en Estados Unidos, Rusia y China para misiones de exploración del espacio profundo, así como para la puesta en órbita de cargas muy pesadas, que pueden tener utilidad para la construcción de estaciones espaciales, así como para propósitos militares. Es el caso de Falcon Heavy, Long March 9, New Glenn or SLS.

El segmento de lanzadores siempre ha gozado de una consideración estratégica especial, al valorarse el acceso al espacio como una competencia estratégica a la que no se puede renunciar, y por tanto siempre ha contado con un apoyo institucional fuera de discusión. Sin embargo, y paradójicamente, en el conjunto del segmento de lanzadores se observa una tendencia a mayor peso de la iniciativa privada sobre la participación institucional, bien sea directa o indirectamente.

En España, nuestra industria, en el segmento de lanzadores, es el resultado de una inversión gubernamental en programas europeos de lanzadores en el entorno del 4%. Ello ha limitado la ambición de las empresas españolas, que, no jugando papeles de liderazgo, sin embargo realizan desarrollos importantes como suministradores en estructuras de lanzadores, aviónica y GNC, así como en segmento terreno. Como se ha indicado, en fechas recientes surge de la mano de PLD Space una iniciativa española en el segmento de microlanzadores que deberá desarrollarse en los próximos años.

Observación de la Tierra

Como se ha señalado con anterioridad, el segmento de satélites de observación de la Tierra vendrá impulsado en los próximos

años por la macrotendencia de mercado de desarrollo sostenible, que en Europa se articula en torno al Green Deal. Este supondrá un importante estímulo en la próxima década a la demanda de aplicaciones avanzadas con componente de observación de la Tierra. En particular, en el previsible escenario de que el compromiso político actual con el medio ambiente termine convirtiéndose en una obligación legal, impulsará con gran fuerza el desarrollo de aplicaciones avanzadas utilizando satélites de observación de la Tierra, ya que estos se convertirán en componentes críticos del sistema que debe soportar evidencia sobre el grado de implantación y cumplimiento de las medias, así como de su eficacia, abriendo un abanico de actividades, incluyendo las de certificación y estandarización.

Desde hace años venimos observando un número creciente de nuevas iniciativas empresariales, que han tenido un éxito desigual. Hoy contamos con numerosas compañías en distinto grado de desarrollo que abordan el segmento de mercado de observación de la Tierra vía constelaciones de pequeños satélites. Entre otras, cabe señalar Planet, IceEye, Capella Space, Satellogic, SpaceWill o Zhuhai. Como en el caso de microlanzadores, la viabilidad comercial de estas iniciativas está por demostrar.

En el segmento de satélites de observación de la Tierra hay que destacar el interés de los Gobiernos por disponer de programas propios para su utilización en el sector de la defensa e inteligencia militar. Solo en el periodo 2015-2019 se lanzaron 180 satélites de observación de la Tierra institucionales, de los cuales el 30% son de propósito militar. La tendencia es creciente, por cuanto un número creciente de Gobiernos se interesa en desarrollar programas propios.

En paralelo, y en cierto modo, paradójicamente asistimos al desarrollo de grandes constelaciones de observación de la Tierra, en un escenario de drástica reducción de precios del dato satelital, entre otros provocado por una irrupción en el mercado de importantes constelaciones de satélites, tales como Copernicus o Landsat, que tienen una política de acceso universal y gratuita a los datos de sus satélites.

En el marco institucional europeo, los próximos años vendrán marcados por el desarrollo de Copernicus y la fabricación y puesta en órbita de las seis familias de nuevos satélites de la constelación. La licitación del segmento vuelo de dichos satélites ha sido la mayor jamás realizada por la ESA y finalizó en julio de

2020 con la adjudicación de un total de 2500 millones de euros. De ellos, cerca del 10% serán ejecutados por la industria espacial española, destacando el papel de liderazgo de la misión LSTM (Land Surface Temperature Monitoring) por parte de Airbus Defence and Space España. En paralelo y a menor escala, la ESA continuará el desarrollo de su programa propio de observación de la Tierra.

La estructura del mercado está todavía pendiente de consolidación, con algunos integradores de sistemas buscando la integración vertical extrema, tales como Airbus o Maxar, y nuevos entrantes con propuestas con cierto grado de disrupción.

Al mismo tiempo asistimos al desarrollo de nuevos conceptos tales como *ground segment as a service* o plataformas de alojamiento y procesado de datos en la nube tales como Amazon Web Services, Microsoft Azure o Google Cloud. Parece innegable que la explosión del *big data* tendrá una importancia trascendental en el desarrollo de la observación de la Tierra vía satélite.

En España, el programa Paz de observación de la Tierra por radar, liderado por Hisdesat, se encuentra a la espera de confirmación de continuidad, lo que se espera ocurra próximamente. Menos claro es el posible desarrollo de uno o varios satélites de observación de la Tierra en óptico, lo que dotaría de continuidad a la misión Ingenio, que no pudo alcanzar su órbita por un fallo del lanzador.

Telecomunicaciones vía satélite

Al describir la macrotendencia de la digitalización ya hemos señalado con anterioridad algunas de las claves y tendencias del mercado de las comunicaciones vía satélite. Como se ha indicado, en la actualidad asistimos al desarrollo de constelaciones de comunicaciones en baja órbita, las más relevantes correspondiendo a SpaceX, Amazon, Oneweb y Telesat. Solo la constelación Starlink de SpaceX supone 42000 satélites, de los cuales hay ya más de mil en órbita. Por su lado, el proyecto Kuiper de Amazon supondrá unos 3000 satélites. Oneweb ya ha lanzado más de 100 satélites y deberá alcanzar cerca del millar, mientras que Telesat alcanzará su capacidad nominal con 300 satélites. Estas iniciativas empresariales suponen un cambio de modelo en diversos aspectos. Por un lado, se desplaza el modelo de decenas o cientos de grandes satélites de comunicaciones geoestacionarios a

cientos o miles de satélites en órbita baja. Además, se vislumbra un cambio de modelo donde el fabricante, operador y proveedor de servicio se integra verticalmente. Hay que señalar que estas iniciativas tienen importantes apoyos institucionales, como es el caso de Starlink con las Fuerzas Armadas (USAF) y la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) estadounidenses, Oneweb con el Gobierno británico y Telesat con el Gobierno canadiense.

El mercado de movilidad, Internet de las cosas, 5G, conectividad en aeronaves y buques, el transporte del futuro con sus derivadas de coche conectado y conducción autónoma, así como la seguridad marítima, se espera que vayan a impulsar con mucha fuerza el sector.

Como se ha indicado anteriormente, en Europa contamos desde el año 2020 con una nueva iniciativa de constelación de comunicaciones seguras que desea impulsar la Comisión Europea y que conecta con el incipiente programa de comunicaciones gubernamentales. Dicha iniciativa se integra en otra de aún mayor envergadura, la de comunicaciones cuánticas, que todo apunta a suponer una auténtica revolución en los segmentos de ciberseguridad, comunicaciones y computación. Esta iniciativa también encuentra apoyo en el seno de la ESA, en el marco de su programa de comunicaciones, ARTES.

La industria espacial española cuenta con importantes activos para jugar un papel importante en los programas de futuro, al disponer de operadores e industria de segmento terreno con capacidad de liderazgo, y de industria de segmento vuelo con capacidad de importantes desarrollos. Así, Hispasat e Hisdesat cuentan con un reconocido prestigio internacional y GMV se ha consolidado como el principal suministrador mundial de centros de control de SATCOM comerciales. Ello permitiría aspirar al liderazgo en segmento terreno y operaciones de futuro sistema de comunicaciones seguras/gubernamentales de la Unión Europea. Por otro lado, nuestra industria de segmento vuelo, principalmente Airbus, Thales Alenia Space, Sener e Iberespacio, tienen contrastadas capacidades para jugar un papel importante en el segmento vuelo.

Navegación por satélite

Los sistemas actuales de navegación por satélite proporcionan información de posición y tiempo que tienen aplicación en un abanico enorme de aplicaciones. Se han convertido en una parte esencial de la práctica totalidad de sectores económicos y, por

tanto, constituyen un activo de vital importancia. La Comisión Europea estima que el 12% de la economía de la Unión Europea depende de la disponibilidad de señales de navegación por satélite.

Dada su trascendencia económica y estratégica, todas las grandes potencias del mundo cuentan con un sistema propio: GPS en Estados Unidos, Glonass en Rusia, Beidou en China y Galileo en Europa. En todos los casos el modelo es el mismo: se trata de infraestructuras públicas que se financian completamente con presupuestos gubernamentales. El programa Galileo es el mayor programa espacial europeo de la historia, al que la Unión Europea va a dedicar 9000 millones de euros en el periodo 2021-2027, incluyendo el desarrollo y puesta en órbita de parte de la segunda generación de Galileo (G2G).

Las tendencias actuales son la multifrecuencia y multiconstelación, que permitirá mejores prestaciones tanto en términos de precisión como de integridad. Además de ello se trabaja en mejorar la resistencia a interferencias y suplantación. En relación con ello, el sistema europeo, Galileo, dispone del servicio público regulado (PRS), restringido a usos gubernamentales y con encriptación y mayor continuidad de servicio, que va a suponer un notable impulso al sector en los próximos años. Es uno de los elementos diferenciales de Galileo, que también proporcionará un servicio comercial encriptado de alta precisión.

La necesidad de soluciones de alta precisión e integridad, tales como las necesarias en aviación comercial, está impulsando el desarrollo de sistemas regionales de aumentación (SBAS), tales como los existentes WAAS en Estados Unidos, SDCM en Rusia, EGNOS en Europa, QZSS en Japón o GAGAN en India. En particular, Australia y Nueva Zelanda han iniciado el desarrollo de SouthPAN. En África, ASECNA planea también el desarrollo de un SBAS propio. Estos desarrollos ofrecen posibilidades de exportación para la industria.

En España, nuestra industria ha alcanzado logros especialmente relevantes en el segmento terreno, donde GMV lidera el segmento terreno de control completo de la constelación, así como un papel central en el segmento terreno de misión, y liderando la mayor parte de centros de servicios Galileo. Además, en colaboración con otras industrias españolas, Tecnobit e Indra, desarrolla un receptor PRS nacional y juega un papel importante en colaboración con Indra en el desarrollo del centro de monitorización

y seguridad Galileo (GSMC), cuyo centro de *backup* está en España. INTA, como autoridad nacional competente PRS, desarrolla tecnología apoyándose en industria nacional. Todo ello conforma una capacidad industrial nacional en segmento terreno a igual o superior nivel que las grandes potencias europeas.

Vigilancia del espacio – Gestión del tráfico espacial

El notable incremento en la actividad espacial, particularmente en baja órbita, donde el número de satélites en órbita crece de forma exponencial, está generando una necesidad creciente de una mayor regulación y vigilancia del espacio, y, a la postre, de gestión del tráfico espacial.

En la actualidad, el volumen de basura espacial que orbita alrededor de la Tierra es considerable, suponiendo un riesgo, si bien todavía limitado, para los activos espaciales. La necesidad de una mayor regulación resulta evidente, y en ese sentido los organismos internacionales vienen trabajando en la elaboración de estándares y recomendaciones, algunas de ellas de obligado cumplimiento, para hacer un uso más responsable y seguro del espacio.

Los sistemas de seguimiento y vigilancia del espacio (SST, por sus siglas en inglés de Space Surveillance and Tracking) constan de un conjunto de sensores (principalmente radares y telescopios en Tierra, y marginalmente satélites con capacidad de observación) que permiten detectar objetos que orbitan alrededor de la Tierra, así como de sistemas de procesamiento y catálogo de los mismos, para generar alertas de riesgos de colisión, así como servicios de fragmentación o reentrada. Con Estados Unidos como principal potencia mundial en la materia, Europa viene desarrollando desde hace unos diez años sus propios sistemas, tanto en el marco del programa SSA de la ESA como, más recientemente, por medio de la iniciativa EUSST de la Unión Europea. Ello ha permitido a un conjunto de países, entre los que España juega un papel de primer nivel, contar con tecnología y medios propios. Así, en España, de la mano de CDTI se han desarrollado capacidades de sensor radar y un centro de operaciones que integra y procesa información de redes de sensores ópticos, radáricos y otras fuentes. Ello ha permitido desarrollar capacidades industriales de primer nivel en nuestro país, siendo Indra, GMV y Deimos las principales empresas españolas en la materia.

Además del riesgo que supone la colisión accidental, hay que tener en cuenta que algunos países han realizado con éxito demostraciones de misiles antisatélite, lo que, además de suponer una amenaza por sí mismo, ha generado una enorme cantidad de fragmentos adicionales.

Dada la extraordinaria importancia estratégica de las infraestructuras espaciales, diversas instituciones se están planteando la creación de sistemas de gestión de tráfico espacial. En el caso de la Unión Europea se han puesto en marcha estudios que permiten explorar conceptos, así como definir y dar forma a dichos sistemas. Ello supone una oportunidad para España, al contar con una base institucional e industrial de primera fila.

Ciencia y exploración espacial

El segmento del mercado espacial de ciencia y exploración espacial en Europa está dominado por la ESA. La Unión Europea hasta la fecha no ha mostrado interés en desarrollar capacidades en dicho segmento, excepción hecha de un número limitado de actuaciones de I+D dentro del marco Horizonte Europa.

En la actualidad existe un interés creciente por los programas de exploración espacial, impulsados por las principales agencias espaciales del mundo, así como algunas iniciativas privadas. A las numerosas misiones a Marte tanto en marcha como en desarrollo, se añade un nuevo interés por la Luna de la mano del programa Constellation de NASA, recientemente rebautizado como Artemis, y el desarrollo de una estación orbital lunar, semejante a la Estación Espacial Internacional (ISS). La denominada *Lunar Gateway* será un esfuerzo coordinado de NASA, ESA, CSA y JAXA.

La iniciativa privada se manifiesta de la mano de compañías como SpaceX, BlueOrigin o Bigelow Aerospace, que desarrollan cápsulas y vehículos de transporte interplanetario, así como hábitats, persiguiendo el futuro negocio del turismo espacial. Dicho esfuerzo privado se canaliza en parte a través de grandes programas institucionales, principalmente de NASA, lo que podría permitir cierta aceleración de los desarrollos. Otras potencias espaciales, muy especialmente China, han identificado a la exploración espacial como un escenario para mostrar al mundo su alto nivel tecnológico. Más recientemente, Emiratos Árabes Unidos se ha sumado a la exploración espacial.

La tabla que sigue muestra algunos de los programas de exploración más importantes actualmente en marcha:

Misión	Fecha(s)	Destino / Objetivo	Agencias
BepiColombo	2020	Marte - robot Perseverance busca indicios de vida en el suelo marciano, datos del pasado geológico y sonidos	NASA
Mars 2020	2020	Mercurio - origen y evolución, superficie e interior del planeta, exosfera y magnetosfera	ESA, JAXA
JWST	2021	Observatorio espacial para estudiar galaxias, estrellas, sistemas planetarios y los orígenes del universo y la vida	NASA, ESA, CSA
DART - HERA	2021-24	Asteroide (Dydimos) - Misión de defensa planetaria: estudio de deflexión de trayectoria de un asteroide	NASA, ESA
Exomars 2022	2022	Marte - rover europeo y módulo de superficie ruso en búsqueda de signos de vida, recogida y análisis de muestras del subsuelo con un taladro de 2m	ESA - Roscosmos
Hope	2020	Marte - primera misión de Emiratos Árabes Unidos a Marte poara el estudio de su atmósfera	Agencia Espacial EAU
Juice	2022	Júpiter - ampliar los conocimientos sobre la compleja interacción de Júpiter y sus lunas heladas	ESA

Figura 11. Algunas de las principales misiones de exploración espacial actuales

A las anteriores habría que añadir otras muchas misiones en menor grado de desarrollo, entre las que conviene destacar, por su trascendencia y complejidad tecnológica, a la Mars Sample Return. También las misiones lunares, actualmente en distinto grado de avance, como se ha indicado anteriormente.

A más largo plazo se contemplan iniciativas de explotación de recursos.

En España, la actividad industrial se canaliza a través de la participación en programas de la ESA, que se descompone en dos partes. Por un lado, el programa de ciencia de la Agencia, donde cada país participa a nivel de su PIB, siendo por tanto la participación

española de alrededor del 8%, y fruto del cual se han logrado notables éxitos tales como el liderazgo de la misión CHEOPS, tanto en su componente espacio como segmento terreno, por parte de Airbus Defence and Space España y GMV, respectivamente, y donde se ha alcanzado responsabilidad de subsistema por parte de Sener y Thales Alenia Space en otras misiones importantes. Por otro lado, el programa de exploración espacial, donde cada Estado miembro de la ESA puede decidir su participación, y en el que España ha tenido una participación muy inferior a su nivel por PIB, lo que ha dificultado el desarrollo de nuestra industria. En la última ronda de financiación de la ESA, celebrada en Sevilla a fines de 2019, España eleva su nivel de participación, lo que está impulsando el desarrollo de la industria. Si bien este segmento tiene un impacto económico a más largo plazo, es conveniente reafirmar la apuesta por el mismo.

Capítulo cuarto

El nuevo dominio operacional: militarización vs. protección de la actividad espacial

Federico Aznar Fernández-Montesinos

Jaime Luis Sánchez Mayorga

«Los principales fundamentos de que son capaces todos los Estados, ya nuevos, ya antiguos, ya mixtos, son las buenas leyes y las buenas armas; y porque las leyes no pueden ser malas en donde son buenas las armas, hablaré de las armas echando a un lado las leyes»

Maquiavelo, El príncipe, capítulo XII

Resumen

El espacio exterior o ultraterrestre, ligado al sector defensa en sus orígenes y pese a su carácter poco visible, resulta de particular relevancia para nuestras sociedades por la cantidad de sistemas que los avances tecnológicos permiten apoyar desde aquel. Tal cosa unida a su vulnerabilidad, obliga a dotarle de la debida seguridad.

Este medio ha cobrado particular relevancia no solo porque la rivalidad geopolítica se haya trasladado nuevamente al mismo, sino también por la eclosión de empresas privadas, que han cambiado el modo y la filosofía de acceso, creándose un modelo de colaboración público-privada para afrontar el ingente esfuerzo que su explotación requiere.

De este escenario de competencia, al que se suma un notable incremento de la actividad en un ámbito que se encuentre insuficientemente regulado, se deriva un relevante riesgo de militarización.

Palabras clave

Espacio exterior, espacio ultraterrestre, geopolítica, tecnología, Fuerzas Armadas, ASAT, zona gris.

The new operational domain: militarization vs protection of space activity

Abstract

Outer space is linked to the Defence sector in its origins. Despite it being not very visible, it is of particular relevance for our societies due to the number of systems supported from there. Security is needed because of this and its physical vulnerability.

Anyway, this medium has gained particular relevance not only because the geopolitical rivalry has moved back into it but also because of the emergence of private companies that have changed the way and philosophy of access, creating a model of public-private collaboration to face the enormous effort that its exploitation requires.

From this competition scenario, with a notable increase in activity in an environment that is insufficiently regulated, a relevant risk of militarization arises.

Keywords

Outer space, geopolitics, technology, Armed Forces, ASAT, gray zone.

La guerra es un hecho social. Y, en tanto que tal, alcanza allí donde llegue el hombre, ya sean estos lugares físicos, espacios simbólicos o dominios del conocimiento. Quien no atienda a su demandante naturaleza, inevitablemente se verá flanqueado o incluso derrotado. Si el ser humano llega al espacio o a las redes sociales, hasta allí llegan las operaciones militares. Walter Bagehot señalaba que «la civilización empieza porque el principio de la civilización es militar»,¹ queriendo significar con ello la aparición de ejércitos profesionales ligados a la existencia de excedentes de producción y fruto de la organización de los grupos en sociedades.

Algo parecido sucede en el espacio exterior, cuya exploración es deudora de la competición militar que tuvo lugar durante la Guerra Fría; así, por sus orígenes, quedó ligada al sector de la defensa. La escenificación de la conquista de la Luna fue uno de esos momentos. Aún es más: para evitar la destrucción mutua, el enfrentamiento entre las superpotencias, la guerra «fría», se desarrolló de modo simbólico, en forma de maniobras militares, en las que tuvo su lugar preferente la carrera espacial. Este elemento físico fue convertido en un teatro para el enfrentamiento ideológico.

Como resultado, el enfrentamiento se desplazó del plano militar al terreno tecnoeconómico. De este modo no se materializa físicamente, pues se desarrolló en espacios aún no conquistados y en clave de futuro. El resultado, empero, fue el desfonde económico de la URSS, su colapso ideológico y, consecuentemente, la quiebra de su voluntad de lucha. La guerra es una actividad del espíritu; se está derrotado cuando se acepta tal cosa. Así quedó acreditado en aquel momento —más de conquista que de confrontación— que «la política espacial internacional puede tratarse como la proyección de la geopolítica terrestre»².

Es más, y con su empleo en la primera guerra del Golfo, el espacio añadió una dimensión nueva que guarda un estrecho vínculo con el carácter global de las relaciones internacionales, de modo que estas se proyectan en el espacio y, simétricamente, el escenario internacional se ve afectado por el reflejo del nuevo dominio.

¹ BAGUEHOT, Walter (1956). *Physic and Politics*. Boston: Beacon Press, p. 32.

² GÓMEZ-ELVIRA, Javier. «Vuelta a la exploración del espacio». *Revista Global Affaire Journal. Center for Global Affairs & Strategic Studies*. Facultad de Derecho-Relaciones Internacionales. Universidad de Navarra, n.º 2, marzo 2020, pp. 14-21.

El espacio exterior, en tanto que aún por descubrir y dominar, comparte muchos elementos con la geopolítica naval en los siglos XVIII y XIX, cuyas ideas y principios inspiradores resultarían parcialmente trasponibles. En todo caso, la competición estratégica en un espacio exterior débilmente regulado —excepto en materia de telecomunicaciones—, como en su momento lo fueron los océanos, es una realidad.

Ello se debe tanto a la aparición de nuevas amenazas, tales como el desarrollo de tecnologías antisatélite (ASAT), que, por su naturaleza agresiva, aumentan la posibilidad de confrontación; pero también a un progreso tecnológico que dota a la exploración espacial de nuevas oportunidades y la posibilidad de unos beneficios insondables³. En este contexto, ser capaz de imponer las reglas se muestra decisivo.

Esto supone un vínculo con las posiciones auspiciadas desde el más añejo mercantilismo, para el que la guerra no es tanto la continuación del comercio por otros medios como su sustituto⁴. Al decir del general Monck al solicitar la reanudación de la guerra con los holandeses en 1662, «¿qué importa esta o aquella razón? Lo que queremos es una parte aún mayor del comercio con los holandeses»⁵.

La ausencia de derechos de soberanía, el debate sobre la posesión y la libertad de exploración en el contexto espacial, ante la posibilidad de elevados beneficios económicos, acentúan ahora como entonces tales riesgos. Como refiere Zygmunt Bauman, «las guerras posmodernas buscan la promoción del libre comercio mundial por otros medios»⁶.

Por otro lado, el tratar de «dotar a la raza humana de la capacidad de colonizar el espacio», que es la motivación que esgrime Elon Musk⁷ para el espectacular despliegue de medios de la empresa SpaceX, supone un relevante esfuerzo privado para la conquista del espacio en sentido contrario a Bauman. Ello encarna un cam-

³ CALVO ALBERO, José Luis. «El espacio exterior como ámbito estratégico». *Revista Española de Defensa*, febrero 2020, n.º 369, pp. 54-57. <https://www.defensa.gob.es/Galerias/gabinete/red/2020/02/p-54-57-red-369-espacio.pdf> Consultado: 03.04.2021

⁴ ARON, Raymond (1963). *Guerra y paz entre las naciones*. Madrid: Revista de Occidente, p. 299.

⁵ HOWARD, Michael (1987). *Las causas de los conflictos y otros ensayos*. Madrid: Ediciones Ejército, p. 227.

⁶ BAUMAN, Zygmunt (2002). *Modernidad líquida*. Buenos Aires: FCE, pp.16-17.

⁷ VANCE, A. (2016). *Elon Musk: el empresario que anticipa el futuro*. Península.

bio de paradigma, y hace visible la necesidad de una colaboración entre lo público y lo privado ante las dimensiones del reto.

La primera fase de la exploración espacial

La iniciativa de la exploración del espacio, inicialmente, la llevaron los soviéticos. El lanzamiento en 1957 del satélite *Sputnik 1* trajo consigo una sorpresa estratégica para el mundo occidental. De esta victoria soviética se derivó una crisis en el pensamiento militar.

Ello se debió al desarrollo de actividades entonces desconocidas y cuyas consecuencias eran de difícil valoración, tales como la observación desde el espacio —que disolvía en parte la «niebla de la guerra»— y hasta por la hipótesis de un ataque por sorpresa desde allí. Se había producido el ya aludido flanqueo en la medida en que los movimientos soviéticos habían dejado expuesta toda la arquitectura defensiva norteamericana. La competición estratégica que provocó este hito llevó a que, en apenas tres años, hubiese ya más de cien satélites operativos.

Y es que la respuesta de Estados Unidos fue un esfuerzo desconocido que sirvió para desfondar a los soviéticos. De hecho, en la dialéctica de superación propia de la guerra, EE.UU. apostó por ir más lejos, hasta la Luna. El presupuesto de la NASA llegó a alcanzar en 1966 el 4,4% del presupuesto total, casi el doble que el de defensa. En dólares constantes de 2018, el presupuesto sería de unos 48 000 millones de dólares, más del doble del que tuvo la NASA ese año y que rondó los 20 000 millones⁸.

Tal ritmo de gasto era difícil de mantener, máxime si se considera que no existe ningún otro objetivo científico o industrial que justifique el desarrollo de la exploración. Consecuentemente, el programa lunar —una vez alcanzados los objetivos previstos, que no eran científicos ni económicos, sino políticos— se canceló, desplazándose el esfuerzo, con menor intensidad, a otros ámbitos del espacio. Esto ha motivado que hayan transcurrido casi cincuenta años, concretamente desde la última misión del *Apollo 17* en 1972, sin que seres humanos salieran de la órbita baja terrestre (LEO).

El espacio exterior siempre ha estado ligado a las armas nucleares y hoy continúa estándolo, conformando una dualidad indivi-

⁸ GÓMEZ-ELVIRA, Javier, *op. cit.*, pp. 14-21.

sible. Y ello a pesar de los esfuerzos desde NNUU en el Comité para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre (UNCOPUOS) por preservarlo.

En 1983, el presidente Reagan renovó la apuesta espacial y lanzó la Iniciativa de Defensa Estratégica (SDI). Se pretendía edificar un sistema defensivo dotado de armas espaciales capaz de prevenir un ataque nuclear contra territorio norteamericano. De esta manera se rompía con el equilibrio del terror establecido por la Destrucción Mutua Asegurada. Pero esta apuesta estratégica, al acarrear enormes gastos para el desarrollo de la creación de un gran «paraguas» armamentístico y antinuclear, también se abandonó en 1987 dado el alto nivel de desarrollo tecnológico (y económico) que exigía su puesta en práctica y una vez que quedó clara la incapacidad soviética para seguirla.

Este ambicioso programa —popularmente denominado *Guerra de las Galaxias*— se vio definitivamente postergado con el fin de la Guerra Fría y el progresivo deshielo de las relaciones. Pero su idea fue recuperada por la Administración Bush, que denunció el Acuerdo ABM y puso en marcha su proyecto de Escudo Antimisiles, que posteriormente sería adoptado por la OTAN y en el que la participación de España es fundamental.

La política espacial fue adquiriendo simultáneamente una orientación más económica y unos horizontes más mediatos y referidos a la explotación del espacio para el bienestar de la sociedad. Con ello, se apreció una evolución del empleo armamentístico inicial hacia un empleo de sus tecnologías duales, como ha sido, por ejemplo, el caso del programa GPS (*global positioning system*), de orígenes y usos militares, y hoy un bien común social.

En este tránsito, el uso del espacio se ha desplazado desde la defensa hacia una nueva faceta de negocio, bienes y servicios, limitada todavía por el elevado coste de los lanzamientos. Sin embargo, la creciente dependencia que suscita su uso para estos fines y su propia utilidad en este ámbito determinan que continúe íntimamente ligado al ámbito militar.

Las capacidades tecnológicas de los Estados Unidos y la Unión Soviética como resultado de la confrontación mejoraron y se vieron acompañadas por un desarrollo espectacular de la industria de alta tecnología en ambos países que, con todo, aún mantienen como herencia de este esfuerzo. Así, a finales de 2001 Estados Unidos tenía casi 110 objetos espaciales, para fines de defensa,

operativos; más de dos tercios de los satélites registrados. Rusia quedó en un distante segundo lugar, con unos 40, mientras el resto del mundo solo tenía unos 20 satélites en órbita, como relata Pérez Gil en su muy interesante y documentado blog⁹.

Cabe predecir que la competencia entre Estados Unidos y China puede tener efectos análogos a la que este país sostuvo con Rusia. Por lo tanto, que Europa no acepte el reto tecnológico y se sume a la competición puede plantear un grave problema en el largo plazo¹⁰. El esfuerzo en materia de tecnología trasciende sus razones y siempre compensa.

Mención aparte en la lógica dialéctica merecen las crecientes amenazas contra la seguridad de los satélites operativos, tales como las armas antisatélites, ASAT, o los móviles cinéticos, entre otras. Estados Unidos empezó a investigar sobre ellas tan pronto supo sobre el programa Sputnik, llegando a probar bombas nucleares en el espacio antes de la ratificación del Tratado de No Proliferación de ADM en el Espacio, en vigor desde 1967, que las prohibía.

Rusia, por su parte, probó otros medios de neutralización, así como el uso de mecanismos autodetonantes, entre otros. En 1985, un avión F-15 norteamericano destruyó un satélite. En 2007 China se sumó al club destruyendo uno de sus propios satélites con un misil y Estados Unidos contestó en 2008 derribando otro propio. Más recientemente, la India efectuó un ensayo de «dominio espacial» (DA-SAT) y en 2019 lanzó un misil PDV Mark II dotado de un interceptor cinético que destruyó el satélite indio *Microsat-R* en la llamada «misión Shakhti».

Tecnología y espacio exterior en clave geopolítica

El espacio exterior es tecnología; para ser más exactos, un dominio de esta. La competencia en el espacio es realmente una competencia tecnológica. Nada humano en aquel existe fuera de ella, y las posibles confrontaciones que se produzcan en él tendrán un claro vencedor en quien domine las tecnologías espaciales.

⁹ PÉREZ GIL, Luis V. «La militarización del espacio: el desarrollo de satélites inspectores por EE.UU. y Rusia». *Revista Global Affaire Journal. Center for Global Affairs & Strategic Studies*. Facultad de Derecho-Relaciones Internacionales. Universidad de Navarra, n.º 2, marzo 2020, pp. 24-31.

¹⁰ CANO GARCÍA, Ricardo. «Uso militar del espacio. El espacio como nuevo ámbito de batalla». *Nippon.com*, 10/12/2018. <https://www.nippon.com/es/in-depth/a06101/>

A su vez, las Fuerzas Armadas recogen en su nombre una relación con la tecnología; son fuerzas, como indica su nombre, y lo son por estar dotadas de un elemento tecnológico, las armas. De esta manera, espacio, tecnología y Fuerzas Armadas quedan alineados y se podría concretar en un binomio que cobra cada día más sentido: el Espacio y la Defensa.

Hoy vivimos en un tiempo netamente tecnológico, científico. Cualquier nueva tecnología disruptiva —y, con ello, todas aquellas emergentes en el uso del espacio exterior— cuentan potencialmente con un gran valor estratégico. Y en tanto que fuente de poder, posibilita el advenimiento de un nuevo paradigma. No se trata tan solo de elementos materiales sino de intangibles, de un vector de aplicación de nuevos conocimientos que pueden transformar también el marco social e industrial e incluso modificar hasta los factores de producción y las relaciones sociales.

Y es que un cambio tecnológico, si es trascendente, puede provocar otro cultural al modificar el espacio de relación y hasta el marco ético, obligando a la revisión completa del sistema normativo vigente. El creciente número de innovaciones técnicas que están teniendo lugar y que progresan casi de modo geométrico —unas llaman a otras— dificultan en gran medida el establecimiento de un marco estable, en definitiva, su asentamiento. Encarnan lo que se conoce como un *game changer*, esto es, un factor de cambio continuo de alto impacto y que puede llegar a provocar hasta la mutación del paradigma.

Este estadio se alcanza como fruto de una evolución y tiene consecuencias estratégicas. Así, la primera revolución industrial situó al Imperio británico a la cabeza de Europa. Después, la segunda revolución —basada en los ferrocarriles y los combustibles fósiles— contribuyó a consolidar el poder de una recién renacida Alemania, y allanó el terreno al advenimiento de las grandes potencias, entre ellas Estados Unidos. Los tres países, en cualquier caso, tuvieron un papel protagonista en todo este periodo y la tecnología es un factor explicativo¹¹.

Además, esto tiene efectos en la forma de afrontar la participación en los conflictos. Si los carruajes e impedimentas marcaron las guerras de primera generación, el ferrocarril ha sido un elemento clave para la movilización de los ejércitos en las guerras

¹¹ BEJERANO, Pablo G. «La inteligencia artificial, ingrediente de la geopolítica». <https://blogthinkbig.com/inteligencia-artificial-ingrediente-geopolitica>

de segunda. La clave de la inicial victoria alemana en la Segunda Guerra Mundial estuvo en la motorización. La tercera revolución se gestó en torno a los ordenadores y se la conoce como *revolución científico-técnica* o *de la inteligencia*.

De hecho, la capacidad de recolección de inteligencia basada en el espacio actúa como un discreto multiplicador de la fuerza militar. Este modelo de inteligencia cuenta con la enorme ventaja de un alcance global y de desarrollarse formalmente fuera del área de soberanía de los Estados.

La revolución de los asuntos militares que caracteriza a las llamadas *guerras de tercera generación* se fundamenta en gran medida en el uso de las tecnologías y en el empleo de las capacidades espaciales: sensores; sistemas de comunicaciones; sistemas de navegación, posicionamiento y tiempo; armas inteligentes..., un conjunto, como hemos visto, asentado en el uso y empleo del espacio exterior cuya aparente simplicidad envuelve tremendas complejidades organizativas, estructurales y de diseño. Se trata de buscar el efecto sinérgico de la convergencia y la fusión. La victoria depende menos de las capacidades individuales y más de las fortalezas obtenidas mediante la integración en red¹² o de un despliegue global de medios y capacidades.

Y es que la guerra moderna se basa en «sistemas de sistemas» en los que se combina a un mismo tiempo inteligencia, comunicaciones, navegación y otros sistemas espaciales militares. Para ello, las operaciones centradas en plataformas deben transformarse en operaciones centradas en red, cuyo máximo exponente se orienta hacia redes o capacidades federadas. Cada plataforma debe «conectarse, compartir y aprender» dentro de un sistema de sistemas (familias). Ello es posible al poner en común los datos recopilados en todo el espacio de batalla, lo cual solo es posible con el uso de enlaces de comunicaciones protegidos y resilientes¹³.

La guerra, al ser un hecho integral —y por ello precisamente—, se mueve en el terreno multidominio. En los conflictos, en vez de seguirse una secuencia estricta de operaciones, se trata de aprovechar las ventajas fugaces en los dominios en que se desarrolla

¹² MARTÍNEZ CORTÉS, José M. «Las fuerzas aéreas y el espacio: un desafío de cooperación internacional». *Revista de aeronáutica y astronáutica*, núm. 891, marzo 2020, pp.184-198.

¹³ MARTÍNEZ CORTÉS, José M., «Las fuerzas...», *op. cit.*, pp. 184-198.

a medida que se presentan; y utilizar estas victorias para abrir camino a operaciones en los otros dominios¹⁴.

El reconocimiento del espacio como un nuevo dominio operacional supone el reconocimiento explícito, consecuentemente, de una transformación en el modo en que se hace la guerra. En esta línea, la estrategia aeroespacial norteamericana, ya desde su versión de 2010, concibe «las actividades espaciales como un recurso único del poder nacional y militar» e incorpora «en los principios de la guerra conjunta, el empleo de operaciones espaciales».

La clave es, así, la integración en el espacio —dentro de un principio de empleo— de redes o capacidades federadas. El resultado es que una fuerza conjunta que disponga de la ventaja de este dominio operacional tiene una capacidad de acción a nivel global, con tal entidad, velocidad y complejidad que abrume las defensas enemigas.

En fin, una tecnología abre simultáneamente el camino a otras que, como decíamos, se realimentan y complementan entre sí, hacen que el valor del conjunto crezca exponencialmente. Así, la concurrencia de las tecnologías de la información, la inteligencia artificial y, en definitiva, el uso de las principales tecnologías disruptivas caracterizan lo que podría ser, por su dimensiones y profundidad, la cuarta revolución industrial.

De este modo, y al actuar simultáneamente, sirven en mayor medida a la integración de todos los elementos, reducen el tiempo de respuesta, permiten la centralización y anticipación inteligente de la hipótesis para la toma de decisiones y la microgestión, contribuyendo a la mejora del proceso de la decisión y hasta haciendo que esta pueda resultar más objetiva y certera¹⁵.

A esta progresión geométrica se asocia la optimización, el perfeccionamiento de la lógica vigente. Así, en el campo espacial, por ejemplo, se deben citar los *CubeSats*, una innovación que data de 1999¹⁶. Se trata de pequeños satélites estandarizados que han revolucionado el acceso al espacio por lo reducido de su coste y menor complejidad —y, consecuentemente, inferior calidad— técnica, que contribuyen a lo que ha sido llamado «democrati-

¹⁴ MARTÍNEZ CORTÉS, José M., «Las fuerzas...», *op. cit.*, pp. 184-198.

¹⁵ Merecen ser referidas las expectativas generadas por los ordenadores cuánticos.

¹⁶ Será el español Jordi Puig quien, junto con un equipo de científicos y profesores del MIT, ostente la patente de los *CubeSats*.

zación» del espacio. Estos pueden lanzarse en grupo y empiezan a ser concebidos para su empleo en operaciones espaciales más allá de las órbitas terrestres, adoptando nuevas y más ambiciosas misiones¹⁷.

La tecnología ha sido considerada un factor clave en la definición de una civilización. La innovación —cuyos cuatro pilares son el contexto, la cultura, la capacidad y la colaboración— es un producto cultural y que sirve para trascender el modelo del que surge. La cultura de la innovación es, así, decisiva. De hecho, ha sido la marca y la clave del éxito de Occidente. Este encarna la civilización de la duda cartesiana, la cual se encuentra en el centro del conocimiento científico, hecho que explica su primacía hasta ahora en este ámbito. La innovación se convierte en el eje del cambio. Su capacidad para rediseñar el mundo, además de sus efectos en la forma de hacer la guerra, es un factor a considerar en términos de seguridad nacional¹⁸.

Pero otras culturas han copiado sus modelos incorporando sus propias aportaciones. Con ello desafían a Occidente en términos de innovación, como hemos visto, la esencia misma de la pugna. La cuestión es que el centro de gravedad de la innovación mundial se desplaza hacia Asia-Pacífico apuntando en un futuro no muy lejano —la tecnología, recordémoslo, diseña el futuro— hacia un cambio de paradigma en las relaciones de poder. De hecho, la velocidad, extensión e intensidad de la innovación tecnológica están modificando la naturaleza y los patrones de distribución del poder.

Esto tiene un foco en Asia-Pacífico y un nombre: China. Este país percibe que su decadencia se inició cuando, a finales del siglo XVIII, dio la espalda a la revolución industrial. Esto es, recíprocamente, en sentido contrario al progresivo éxito de Occidente y la clave, por tanto, que explica su superioridad. Tras esta lección histórica y en presencia de lo que ha venido a ser llamado *cuarta revolución industrial*, pretende encabezar este proceso para 2050 (una fecha importante también para sus programas espaciales), es decir, cuando se cumpla un siglo de la instauración de la nueva

¹⁷ MONTES PALACIO, Manuel. «CubeSats hacia los planetas». *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*, diciembre 2020, pp. 990-993.

¹⁸ GILLI, Andrea. «Preparing for "NATO-mation" the Atlantic Alliance towards the age of artificial intelligence». *Colegio de Defensa de la OTAN*. NDC policy brief n.º 4, febrero 2019.

república, con la que se puso fin a lo que China llama «siglo de la humillación»¹⁹.

Así, por ejemplo, el objetivo de su estrategia tecnológica para 2025 es haber reducido la diferencia con los países más avanzados con una política de fuertes inversiones en I+D+i; en 2035 pretende haber fortalecido la posición para, finalmente, y en 2045, poder liderar la innovación mundial, lo que consolidaría su cambio de estatus geopolítico²⁰.

Liderar la innovación, en términos industriales, significa abordar una reforma completa de los procesos y cadenas de suministro. Este concepto, que en algunos foros ha venido en llamarse *industria 4.0*, se fundamenta principalmente en las cadenas de suministros en red, la customización del producto previo a la producción, la simplificación de estándares para la certificación y, con ello, el poder que a un «orquestador» le confiere por el hecho de disponer, en red, de cualquier componente de cualquier lugar del mundo.

La tecnología se transforma en una fuente de poder en todos los sentidos y de ahí que se produzca una lectura en clave geopolítica de sus efectos. Para empezar, puede alterar los balances del poder no solo económico —a través de una mayor eficiencia—, sino también militar, a través de factores como una mayor eficacia del armamento; y pueden, entre otras cosas, añadirse otros como el acortamiento del ciclo de la decisión, una mejora en la comprensión del escenario...

El espacio, con el apoyo de lo que se conoce como *tecnologías de la información y la comunicación* (TIC), incrementa el potencial disruptivo de cualquier acción. Y es que, al estar el conjunto altamente tecnificado y sincronizado, los efectos se harían sentir de forma inmediata, consiguiendo una de las claves de la ventaja operativa: el factor sorpresa. En este sentido, podemos afirmar que el espacio exterior es, por su naturaleza a la vez esencial y vulnerable, un objetivo de alto valor.

Además, el hecho de compartir una tecnología esencial para la defensa no es una cuestión menor. Por un lado, expresa la con-

¹⁹ ROSALES, Osvaldo. «Las claves del conflicto económico China-Estados Unidos». *Flacso*, agosto 2018. <http://www.flacsochile.org/slider/las-claves-del-conflicto-economico-china-estados-unidos/>

²⁰ SÁNCHEZ, Carlos. «La geopolítica del 5G se estrena con Huawei: la guerra del siglo XXI». *El Confidencial*, 21/5/2019. https://www.elconfidencial.com/economia/2019-05-21/geopolitica-5g-huawei-veto-google_2012074/

currencia de intereses vitales o necesidades convergentes en una relación muchas veces más de interés común que de confianza, lo que nos conduce a un principio de confianza forzado.

Y, por otro —y en relación con la dimensión forzada—, va a generar dependencia sistémica al hacer que otras tecnologías, estructuras logísticas, diseños y desarrollos, etc., se apoyen en ella aunque solo sea por necesidad de converger en unos estándares mínimos comunes, convirtiéndose en la piedra angular del conjunto. Esto lo hace vulnerable frente al otro, pues le priva de control y le hace dependiente; y también supone, a su vez, la renuncia al propio desarrollo de capacidades, por poco rentables.

La decisión sobre la utilización de una determinada tecnología crítica o disruptiva se transforma de este modo en una decisión estratégica, en la medida en que supone toda una comunión con el país del que esta procede, extendiéndose y afectando a otros ámbitos relacionados con el sistema y excluyendo a terceros. Es esta una elección política llamada a ser congruente con otras decisiones, lo que propicia la conformación de bloques autónomos y comunitariamente soberanos. La tecnología alcanza de este modo a la política y, de ahí, a la geopolítica.

A modo de ejemplo gráfico, el impacto del uso del espacio en la geopolítica internacional²¹ queda perfectamente reflejado en los sistemas de posicionamiento auspiciados por los líderes geopolíticos: GPS por parte norteamericana, el más antiguo; el Galileo a nivel europeo, el único declarado formalmente civil, a pesar de disponer de un servicio público regulado, más próximo a la seguridad y defensa que a un uso mayoritario; el GLONASS ruso; o el Beidou chino, cuya tercera generación acaba de entrar en servicio global, al lanzar en 2020 su último satélite.

Estamos ante unos modelos de competición/colaboración que se mide en términos de capacidad tecnológica²², vocación de servicio público y calidad, pero con un gran impacto y consecuencias geopolíticas, al tratarse de una capacidad de posicionamiento, navegación y tiempo de la que van a depender en un muy alto porcentaje el resto de las tecnologías.

²¹ RUIZ DOMÍNGUEZ, Fernando. «Neo-Geoestrategia sin GNSS». *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, julio 2014.

²² SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime Luis, «Proyectos piloto Galileo-PRS: la evolución y estado actual de los proyectos piloto Galileo-PRS, a bordo del Buque de Investigación Operativa “Hespérides”». Ponencia para el VI Congreso de I+D para la Defensa.

El Acuerdo Artemisa y la Ruta de la Seda en el Espacio suponen dos claros exponentes de cómo la tecnología se anticipa y adelanta al futuro que también admiten una lectura geopolítica. Ambos suponen a su vez la expresión preclara, un hito precursor, de la marcha hacia una nueva bipolaridad que convierte al presente en una época de transición y reequilibrio geopolítico.

Relevancia del espacio exterior como teatro de operaciones

El siglo XXI es un tiempo de complejidad, diversificación, cambio continuo y fragmentación, pero también de interrelación o, si se prefiere, de hiperconectividad. Un tiempo en el que los intereses económicos, de información y de seguridad están cada vez más entrelazados, de modo que la prosperidad económica se encuentra progresivamente más ligada a la seguridad nacional, tal y como se refleja en la Estrategia de Seguridad Nacional de 2017.

El espacio exterior, pese a su limitada visibilidad, es relevante tanto desde la perspectiva de seguridad como en clave militar. Ya el Tratado de Lisboa estableció un principio ineludible de relación entre el uso de capacidades existentes en los Estados miembros —incluido el espacio— y la política común de seguridad.

Esta idea fue recientemente apuntillada por las palabras del alto representante de la UE para Asuntos Exteriores, Josep Borrell, cuando dijo que «la economía global depende en un 60 % del espacio, directa o indirectamente», lo que a su juicio obliga a darle la protección que le resulta debida²³. Además, se estima que, por cada dólar invertido en la exploración espacial, este se traduce en un beneficio económico de 10 dólares, razón por la que las empresas están tomando el relevo en muchos aspectos al protagonismo de los Estados. Hay fuentes que cifran nada menos que hasta en el 11 % el PIB de la UE que se encuentra asociado al uso del sistema Galileo. Más allá de unas cifras siempre discutibles, su relevancia en la mayor parte de los órdenes de nuestra vida está fuera de toda duda.

En línea con esto, en plena crisis económica, el sector espacial experimentó un efecto contrario al resto, un relevante crecimiento que es fruto de las expectativas de alta rentabilidad con que cuenta. Merece referirse, en el caso de España, que el resto de

²³ ALBISU, Javier. «Europa quiere que su dimensión “geopolítica” alcance al espacio exterior», 21/1/2020, 16:37.

sectores en riesgo encontraron en el espacio un sector refugio que evitó, en gran medida, el desmembramiento del tejido industrial de alta cualificación tecnológica²⁴.

Desde la crisis, y de resultados de la misma, entramos en lo que ha venido a llamarse la *cuarta era espacial* o *era de la democratización del espacio*, en la que a las ventajas ya descritas se ha unido una pérdida absoluta de prudencia en la inversión para el uso del espacio, razón que, sumada al cambio de paradigma en cuanto a la antes omnipresente inversión pública, hace que cada vez más empresas emprendedoras, con unos modelos de negocio afines a los de las grandes tecnológicas (surgidas de incubadoras o del espíritu de Silicon Valley), vean en el espacio un nuevo pozo de oportunidades.

Las inversiones para afrontar los enormes retos tecnológicos derivados de los objetivos cuasi faraónicos que señala la era espacial hacen surgir la necesidad de compartir esfuerzos mediante modelos de colaboración público-privados. En estos, las empresas del sector están tomando el relevo al protagonismo de los Estados, principalmente en lo que se refiere a la oferta de servicios a los ciudadanos. Esto, obviamente, desde la óptica del beneficio, una filosofía diferente del periodo anterior, cuando la actividad era completamente respaldada o controlada por los Gobiernos. Como ejemplo, el pasado 31 de mayo de 2020, la nave *Crew Dragon*, una nave creada por la empresa privada para transportar astronautas, alcanzó la Estación Espacial Internacional.

Así, compañías como SpaceX, Bigelow, Virgin Galactic, Deep Space Industries, muchas de ellas vinculadas a los vuelos suborbitales²⁵, responden a estas nuevas oportunidades de negocio que albergan la posibilidad de cuantiosos beneficios en el largo plazo —como cualquier opción de descubrimiento—. Estas son pioneras en segmentos como el transporte en el espacio, el turismo espacial o la explotación de recursos de diversos cuerpos estelares o asteroides²⁶.

²⁴ SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime Luis. «Retirado el "safety car" la carrera espacial continúa». *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*, n.º 848, noviembre 2015, p. 978.

²⁵ SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime Luis; DÍEZ-BREZMES. «Utilización de vehículos suborbitales tripulados en el ámbito militar». Congreso Nacional de i+D de la Defensa, octubre 2017.

²⁶ PEREIRA, Mario. «Marcos internacionales relevantes para la extracción y uso de recursos espaciales». *Revista Global Affaire Journal. Center for Global Affairs & Strategic Studies*. Facultad de Derecho-Relaciones Internacionales. Universidad de Navarra, n.º 2, marzo 2020, pp. 41-55.

La naturaleza pionera imprime carácter y permite además diseñar este ámbito a la medida de la empresa. Esta fija las reglas y estándares mínimos necesarios, que otros han de seguir, lo que les otorga una ventaja sobre quienes vienen detrás al modelar el sector según su interés y medida.

Este fenómeno de superpoblación de actividades espaciales y objetos preocupa enormemente a Gobiernos y organizaciones internacionales —como es el caso de UNCOPUOS—, que pretenden mantener no solo un uso pacífico, sino racional del espacio. Esta última organización, en sus últimos diarios de sesiones, deja patente la preocupación por la referida superpoblación y las derivadas que supone en términos de seguridad.

Además, el sector espacial es estratégico, dada su aportación en materia de ciencia y tecnología, capacidad industrial, retorno económico y, con todo ello, además, poder militar. Su carácter avanzado lo convierte, así, en una de las puntas de lanza de la transformación productiva de las economías nacionales.

La industria espacial global mueve un negocio de 325 000 millones de dólares²⁷, «y suele distinguir entre el segmento espacio, *Upstream* (satélites y lanzadores), y el *Downstream*, que se refiere a la explotación terrestre de sus aplicaciones. Como referencia, el *Upstream* mueve anualmente sobre 25 000 millones (orden de magnitud), y el *Downstream*, 300 000 millones, de los cuales TV directa y navegación suponen aproximadamente 90 000 millones..., mientras la actividad institucional 80 000 millones, comunicaciones 30 000 millones y el resto son equipos de tierra»²⁸.

Consecuentemente, cualquier suceso en el espacio exterior podría, así, tener por ello enormes consecuencias económicas y sociales, a las que se sumarían los referidos a la seguridad propiamente dicha. La inutilización de la infraestructura espacial afectaría a los sistemas dependientes y se trasladaría a la superficie terrestre, generando graves daños por sistémicos.

En esta línea, Donald Rumsfeld ya hablaba en 2001 de la eventualidad de un «Pearl Harbour en el espacio». Por tanto, resul-

²⁷ RODRIGO, Víctor. «Luces y sombras del sector espacial: así está influyendo la pandemia». *El Mundo*, 22/11/2020.

<https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2020/11/22/5fb645a5fc6c83fa-058b45a5.html>

²⁸ RODRIGO, Víctor, *op. cit.*

ta un ámbito que necesariamente debe encontrarse protegido, pues, como ya recordaba la Estrategia Nacional de Seguridad Espacial norteamericana de 2010, el espacio es algo «crecientemente congestionado, disputado y competitivo». El presidente Macron iba más lejos cuando afirmaba: «El espacio se ha convertido en un ámbito de confrontación».

Además, como recuerda la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional, el ámbito aeroespacial posee una serie de características diferenciadoras que acentúan su vulnerabilidad. Estas serían su condición intrínseca de *global common*, la elevada tecnificación de la práctica totalidad de su infraestructura y la alta posibilidad de eventos en cadena derivados de la gran interconectividad. Tal cosa, como se ha dicho, trasladaría inevitablemente cualquier suceso ocurrido en su ámbito hasta la superficie terrestre.

Merece destacarse la ubicación de las instalaciones espaciales en un medio particularmente hostil, lejano y aislado, que hace difícil tanto el exacto conocimiento del entorno²⁹ y sus circunstancias como la resolución de los problemas surgidos allí, por pequeños y simples que estos sean, idea que enlaza con el concepto de «fricción» de Clausewitz. Interesan, pues, sistemas robustos y resilientes.

El espacio, junto al ciberespacio, potencia extraordinariamente el alcance y velocidad de los sistemas, enlazando cualquier parte del mundo con la combinación de satélites y redes informáticas, de modo que se conforma un auténtico neurosistema. Estamos ante una tecnología base diseñada para potenciar otros ámbitos con los que se integra, haciéndola cuasiuniversal³⁰.

A la inversa, tal cosa convierte al espacio en el talón de Aquiles, en el eslabón débil de la cadena, por más que acreciente su valor. La dependencia tecnológica de las sociedades alcanza en este particular dominio su zenit.

Tal y como sostiene la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional: «El sector aeroespacial está altamente tecnificado e intrínsecamente vinculado al dominio cibernético y constituye un objetivo de alto valor estratégico. Cuenta con un gran componen-

²⁹ SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime Luis. «Hacia una estrategia de seguridad aeroespacial». Ponencia para el III Congreso ADESYD, noviembre 2016.

³⁰ SÁNCHEZ DE LARA, Juan P. «La defensa del espacio: un desafío de cooperación multinacional entre fuerzas aéreas». *Revista de aeronáutica y astronáutica*, n.º 891, marzo 2020, p. 207.

te tecnológico de avanzados sistemas de información y telecomunicaciones, aislados o integrados en redes, que se distribuyen globalmente y dan servicio a un complejo entramado de centros de seguimiento y control, radares, comunicaciones digitales de voz y datos, aeronaves y sus sistemas a bordo, y por diversas instalaciones aeroportuarias».

Para entender la complejidad y el alto grado de exposición cibernética del neurosistema, se puede referir que incorpora plataformas espaciales o estaciones de control y seguimiento de satélites, entre otras. Todos ellos interconectados con el componente terrestre —tanto a nivel de control como de usuario— a través de: centros de operaciones para vigilancia espacial, centros de comunicaciones y de procesado de datos espaciales, centros de recepción de telemetría e imágenes, centros de gestión de seguridad de sistemas espaciales, centros de gestión de servicios espaciales, centros de procesado de tiempos..., entre tantos otros ejemplos.

Una relevancia que resulta cada vez más difícil de ocultar —lo pionero tiende a ser noticia— le ha dotado de una nueva visibilidad y un renovado interés que le ha trasladado a espacios lúdicos como el cine, que ha visto aparecer películas como *Interstellar* o *Gravity*³¹, a los que debemos agradecer la difusión que han supuesto respecto de los riesgos, por ejemplo, relativos a la «basura orbital». Mientras, los noticieros, como hacían al principio, vuelen a retransmitir en directo los hitos espaciales.

Aunque es difícil saber con precisión cuántos fragmentos de este tipo hay, el modelo estadístico de la ESA³² nos dice que, a día de hoy, existen unas 5400 piezas de basura espacial de más de un metro de longitud, 34 000 de entre 10 cm y un metro, 900 000 de entre uno y 10 cm, y más de 130 millones de piezas de desechos de entre un mm y un cm. Un auténtico campo de minas espacial. A ellos se suman otros objetos. De los cerca de 5000 satélites que orbitan alrededor de la Tierra, en 2017 había 1738 satélites operativos, y, de ellos, como decíamos, un 75 % pueden ser militares, o gubernamentales, para ser más exactos.

Como ya se ha mencionado, el cambio de *space-players*, para incorporar a los que se identifican como NewSpace, está suponiendo un escenario difícil de predecir, con volúmenes de entre

³¹ GÓMEZ-ELVIRA, Javier, *op. cit.*, pp. 14-21.

³² http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/10/Distribution_of_space_debris_around_Earth

15000 y 55000 satélites, en su mayoría lanzados por actores comerciales y que son el resultado de la puesta en servicio de megaconstelaciones formadas por cientos o incluso miles de satélites, muchas veces para telecomunicaciones³³.

Esta proliferación se explica por la difusión de la tecnología satelital, no solo entre los países occidentales, China o Rusia, sino también a países como Brasil (desde 2003 ha lanzado más de 20), Argentina, Irán, Corea del Norte, Bolivia, Kenia, Ghana..., hasta unos sesenta países, que se mueven en un espacio tan insuficientemente reglado que su única regulación reconocida es la relativa al uso de frecuencias por parte de la UIT,³⁴ lo que obliga dispongan de bandera.

Nos encontramos en lo que ha venido a ser denominado la «democratización del espacio», que se caracteriza por la proliferación, además, de pequeñas agencias espaciales. Hay ya trece países con agencia espacial, mientras naciones como Portugal, Emiratos Árabes o Luxemburgo están buscando su propio espacio en esta actividad. Esta primera podría protagonizar una auténtica revolución al convertir una pequeña área del Atlántico en uno de los puestos espaciales más activos del mundo, según fuentes del *MIT Review*. Países como Nicaragua, el tercero más pobre de América, han creado una «Secretaría Nacional para asuntos del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes».

Ello, asociado a la connatural discreción de la actividad espacial, hace posible que organizaciones criminales, e incluso Estados afines a actividades terroristas, puedan dotarse a medio plazo de capacidad de acceso al espacio —más allá de ataques cibernéticos a las infraestructuras terrestres— y hacer inoperativo este.

Además, desde 2019, son once los países —y dos de ellos dentro de las trece nuevas agencias espaciales mencionadas— los que cuentan con capacidad de lanzamiento: China, Estados Unidos, India, Irán, Israel, Japón, Rusia, Corea del Norte y del Sur, Nueva Zelanda, Kenia y la Agencia Espacial Europea (desde la Guayana Francesa). Mientras, potencias regionales como Emiratos Árabes Unidos, Tukumekistan, Nueva Zelanda y Filipinas manifiestan tam-

³³ GIMÉNEZ CHUECA, Iván. «La militarización del espacio, ¿hacia una carrera de armas en la atmósfera? Libertad de acción más capacidad y por tanto más que perder». *Esglobal*, 28 julio 2020. <https://www.esglobal.org/la-militarizacion-del-espacio-hacia-una-carrera-de-armas-en-la-atmosfera/>

³⁴ VÁZQUEZ CARNEIRO, Ignacio Juan. «La última frontera: el espacio exterior». <https://codigopublico.com/a-fondo/la-ultima-frontera-el-espacio-exterior/>

bién ambiciones espaciales. Estamos ante un escenario internacional de una multipolaridad imperfecta, mucho más complejo de lo que lo fue la Guerra Fría.

Y ello a pesar de que acceder al espacio puede resultar aún particularmente oneroso también en términos logísticos, al precisar combustibles no convencionales de mayor poder energético; o las tecnologías híbridas, que combinarán estos con la propulsión eléctrica, que reducirán la masa de la plataforma espacial. Pero el combustible, en cualquier caso, constituye aún aproximadamente el 85 % del peso del cohete.

No obstante, las alternativas de lanzamiento que existen hoy día hacen que los precios hayan caído sensiblemente: hace veinte años, poner en órbita un kilo de carga útil costaba unos 18000 dólares, al depender de costosas e infrecuentes misiones espaciales. Hoy resulta algo más asequible: en los regímenes orbitales inferiores, los precios han caído en torno a unos 2500 dólares, con una expectativa de reducción hasta los 200 dólares por kilo.

Aparte de estos parámetros, para poder constituirse como Estado o entidad de lanzamiento se requiere de una avanzada tecnología para el desarrollo no solo de los diferentes sistemas propulsores, sino de cuantiosas inversiones en infraestructuras —como centros de lanzamiento, estaciones de seguimiento de misión distribuidas por la geografía terrestre, en función de las exigencias del tipo de misión—, sin olvidar que la responsabilidad ineludible de los Estados de lanzamiento en ocasiones requiere de largas negociaciones políticas. Por eso pocos países han logrado una autonomía completa en el desarrollo de un programa espacial³⁵.

Siguiendo esta tendencia, es previsible que en el futuro próximo la tecnología abarate estos costes, reduzca aún más el tamaño de los satélites y potencie sus capacidades para interactuar con otros, de modo que lleguen a constituirse redes completas, que a su vez sean interoperables con otras similares en el *neuroespacio*.

Es más que probable que —dentro de la tendencia a la «democratización del espacio» y siempre que se disponga de frecuencias de control suficientes— la corriente actual lleve al lanzamiento de constelaciones de satélites, cuyo mantenimiento contemple un nivel de reposición elevado de unos satélites poco costosos, lo que abaratará aún más los costes del acceso, diversificando

³⁵ CALVO ALBERO, José Luis, *op. cit.*, pp. 54-57.

funciones, y con ello reducir riesgos. De esta manera aumentaría adicionalmente la resiliencia de los sistemas asociados.

La idea inmediata es lanzar muchos satélites más baratos, pequeños y maniobreros —los *CubeSats* ocuparán sin duda un lugar relevante, cuando sus estándares permitan su empleo masivo para fines comerciales—, de modo que se amortice el daño por eventuales pérdidas siguiendo un principio mercantil de porcentaje estimado de bajas.

En este contexto, las distintas potencias espaciales han promulgado diferentes estrategias de seguridad e incluso dedicado ramas de sus propias Fuerzas Armadas al ámbito espacial. Este ha sido calificado como un dominio operacional más por la OTAN y que se suma a los tradicionales: terrestre, naval y aéreo, así como a otros novedosos y transversales, como el ciberespacio —de especial relevancia en todos los demás ámbitos operacionales— o el cognitivo. El poder espacial militar se presenta como imprescindible para una seguridad auténticamente multidimensional.

Esto ha provocado una revisión conceptual —y, por ello, la carrera espacial se reedita con nuevos titulares—, ya que deja de ser solo una pugna simbólica por posicionar una bandera en un cuerpo celeste. Supone un nuevo horizonte en el que los términos de conquista son sustituidos por su componente económico y de beneficio en la colonización de un espacio que ha dejado de ser lejano por inaccesible.

Por ello se requieren nuevos esfuerzos en cuatro elementos tecnológicos clave: lanzadores más eficientes, tanto en potencia como en rentabilidad; retomar los alunizajes; el dominio del despliegue y acceso regular a las estaciones espaciales; y la exploración del espacio profundo para emprender la colonización de otros planetas. Estos tramos o carreras espaciales, por sí mismos, están íntimamente relacionados con aspectos como la expansión, el derecho internacional, el dominio de un nuevo medio operacional y, en definitiva, con la geopolítica.

Espacio exterior y geopolítica

Refiere Henry Kissinger en su libro *China* el caso del memorándum Crowe. Este, elaborado en 1907 por un diplomático británico, el cual consideraba inevitable el enfrentamiento entre Alemania y el Reino Unido, prejuzgando de este modo las intenciones de aquel país tras una etapa de competencia financiera, industrial y

comercial —en 1896 se publica en el Reino Unido el libro *Made in Germany*, de Ernest E. Williams, una primera señal de alerta— y que pasó a considerarse en política un enfrentamiento entre el proteccionismo y el librecambismo en clave colonial y de carrera de armamentos.

Esto suponía una reedición de lo que Graham Allison denominaba «la trampa de Tucídides» —el ascenso de un país (Esparta) promovía la desconfianza de la potencia superada entonces (Atenas) y con ello el conflicto (guerra del Peloponeso)—, esto es, se trataba de una profecía autocumplida. Como recuerda el conocido como *teorema de Thomas*, «*si las personas definen las situaciones como reales, estas son reales en sus consecuencias*».

Esto mismo puede pasar con la astropolítica, según el relevante y conocido trabajo de Friedman que, en 2006, premonizaba un espacio convertido en un teatro primordial para las operaciones militares, a pesar de su provocador encuadre en el contexto global de un «mundo plano»³⁶.

La alteración de los balances geopolíticos incorpora riesgos innegables. El unilateralismo norteamericano es una actitud que responde a ello, especialmente relevante en la era Trump, y que se manifiesta en decisiones tan cuestionables como la retirada en mayo de 2020 del Tratado de Cielos Abiertos³⁷ —un tratado multilateral auspiciado por la OSCE y suscrito por 32 países— y que supone un paso más en la ruptura del régimen de estabilidad estratégica resultado del progresivo abandono de los acuerdos nucleares suscritos en las postrimerías de la Guerra Fría; situación que ciertamente costará recuperar al presidente Biden, pues a este abandono le ha seguido el de Rusia.

La globalización conduce al mundo a un equilibrio más multipolar como paso previo a una nueva bipolaridad. En este sentido, el desmontaje de la arquitectura de seguridad de la Guerra Fría puede interpretarse como resultado del cambio en el balance de poderes fruto de la emergencia de un nuevo orden, y de la aparición de nuevos actores. Tiene lógica.

³⁶ FRIEDMAN, Thomas L., *La Tierra es plana. Breve historia del mundo globalizado del siglo XXI*. Madrid: Martínez Roca.

³⁷ PÉREZ GIL, Luis V. «La retirada de los Estados Unidos del Tratado de cielos abiertos». <https://ullderechointernacional.blogspot.com/2020/06/la-retirada-de-los-estados-unidos-del.html>

Estados Unidos trata de evitar el colapso de una *imperial overstretch* ('sobrecarga del imperio'). Ha visto esta realidad evidenciada con la crisis sanitaria del COVID-19. Esta tendencia no la inició el presidente Trump con su *America First*³⁸. Es más, la política de *America First* se refiere al plazo con que se definen los intereses, que se acorta, y no tanto a estos que con toda lógica son —y siempre lo han sido— acordes a cada nación; el largo plazo solo los hacía menos visibles y, además, paradójicamente, más enjundiosos. Poder real y visibilidad están en relación inversa.

Pero si volvemos al orden previo a la crisis sanitaria de 2020, cuatro décadas de coevolución chino-norteamericana explican la situación actual en el ámbito tecnológico e industrial. China, por su mano de obra barata, se ha transformado en la «gran factoría» no solo de Estados Unidos, sino del mundo; mientras, la compra de deuda americana por parte del país asiático suple la falta de ahorro privado estadounidense y aporta un cierto equilibrio al sistema. Un proceso progresivo y de mutuo beneficio que arranca en 1972 y que no se ha detenido, salvo algún paréntesis puntual.

El binomio formado entre ambas naciones no se puede romper súbitamente sin grandes pérdidas para todos —incluido el conjunto de la sociedad internacional—, aunque China fuera la más perjudicada. Por eso su enfrentamiento no es solo económico, sino fundamentalmente tecnológico, ya que la tecnología y la innovación determinan el futuro y permiten el cambio de paradigma sin violencia física. La actual primacía de Estados Unidos en el ámbito espacial hace que el desafío chino en este ámbito se torne en un desafío al orden establecido y una demanda revisionista concurrente con la estrategia de «ascenso pacífico» seguida por el país asiático. Esto lamina las instituciones internacionales, que se ven estresadas, y el marco reglado que ha logrado crearse.

Pero Estados Unidos ha contemplado con impotencia la pérdida de su poder relativo en términos globales: 38 % del PIB mundial en 1970, 32 % en 2000, 28 % en 2008 y 22 % en 2018. Es más, medida en paridad de poder de compra, China es desde 2018 la economía más grande del mundo (17 % del PIB mundial), seguida de EE. UU. (15,8 %) y de la zona euro tomada en conjunto e incluyendo al Reino Unido (11,9 %). Mantener su primacía a nivel espacial se torna crítico.

³⁸ SAHAGÚN, Felipe. «Introducción». En: *Panorama estratégico 2019*. Instituto Español de Estudios Estratégicos.

Con todo, China, tras un largo periodo de crecimiento, ha visibilizado su posición real y está desafiando a Estados Unidos no solo en el plano económico sino también en el militar (con su rearme y sus reclamaciones de aguas territoriales), en el diplomático (con su propuesta de Ruta de la Seda, de modo equivalente o recíproco al plan Marshall) o en el específico tecnológico (ha sido capaz de crear un ciberespacio propio y potenciando a las industrias de este signo, de modo que pueden competir a nivel global, en casi todas las tecnologías disruptivas, especialmente en áreas como la inteligencia artificial y el *big data*).

En contestación el presidente Trump, no solo se comprometía en 2019 a que su país volvería a la Luna antes de cinco años, sino a ir a Marte para 2030. Así, el proyecto espacial, no por casualidad, vuelve a la agenda política. Las potencias revisionistas utilizan el valor simbólico del espacio como forma de escenificar su nuevo estatus geopolítico, mientras se dotan de recursos y capacidades militares; los desafíos en el espacio son en realidad desafíos al orden establecido, a lo que se suman los eventuales e impredecibles beneficios que pueden obtenerse de este.

Merece tenerse en cuenta que, si China aborda el reto como un esfuerzo del Estado en exclusiva, EE.UU. ha recurrido a fórmulas de colaboración público-privada. Este es el espíritu que subyace en SpaceX, y en concreto en la propuesta de *democratización del espacio* de Elon Musk. Así, el sector privado atiende la necesidad del Gobierno de los EE.UU. de garantizar el acceso inmediato a este medio, retomar los vuelos espaciales tripulados y marchar juntos en el proceso de colonización asociado a lo que se conoce como la «cuarta era espacial». Es, dicho sea de paso, el modelo seguido para conquistar el *Lejano Oeste*: la combinación de directrices políticas y una acción empresarial cuantiosa, coordinada y eficiente.

En esta línea, el Acuerdo Artemisa, aprobado por la NASA en 2020, supone un conjunto práctico de principios para guiar la cooperación de exploración espacial entre las naciones que participen en los planes de exploración lunar del siglo XXI de la agencia según un programa. Con ello, la NASA pretende el estudio detallado de la superficie y subsuelo de la Luna, acelerando los planes adelantados por el presidente Trump para enviar astronautas en 2024, y establecer una exploración lunar sostenible en 2028. Para acceder al programa hay que suscribir el acuerdo. Este ha sido suscrito por Estados Unidos, Australia, Canadá, Italia, Japón, Luxemburgo, Emiratos y Reino Unido, a los que se han sumado Ucrania y Brasil.

Y, por descontado, Europa no se quiere quedar fuera de la «cuarta era espacial». Desde el Tratado de Lisboa, en 2015, los Estados miembros de la Unión Europea convinieron en la necesidad de impulsar el sector espacial de la Unión, y dotarle de un entorno de seguridad apropiado, siendo este el hito que determina la unión de los conceptos de la defensa y el espacio a nivel europeo. Es este un dominio con el que se puede fortalecer el vínculo transatlántico.

Se han firmado acuerdos entre la NASA y la Agencia Espacial Europea para explorar la Luna, y se están efectuando aproximaciones indirectas de la Comisión Europea a la comunidad espacial a través de su Programa Espacio. Y ello en base a los objetivos establecidos en su documento de política espacial.

Las ediciones de la Conferencia Anual de Política Espacial, celebradas anualmente desde 2010, vieron en la conferencia de enero de 2020 un cambio de registro que obedece a la necesidad de proteger la actividad espacial. Hasta entonces, el término acuñado para expresar esta necesidad fue *seguridad*, con el que se evitaba entrar en el terreno propiamente militar.

Pero en la Comisión Europea, impulsora del Programa Espacio de la UE, se aprecia ya el esperado guiño al concepto de defensa también en lo relativo al espacio. Y es que en el concepto de seguridad y defensa, cuyas interpretaciones son aún muy diversas y es básico, se está gestionando como una política común y de cooperación estructurada, esto es, como un estadio de cooperación aún lejano a su unificación.

Así, cuando en Europa se impulse la transición de las políticas de defensa basadas en la cooperación estructurada (PESCO) hacia una *Defensa Unificada de la Unión Europea (DUEU)*, se podrán revisar muchos de los reglamentos suscritos en clave de cooperación para dar paso a un marco regulatorio unificado que garantice su aplicación a otras políticas asociadas, como es el caso de la regulación espacial, más allá de la actual regulación del Programa Espacio de la UE.

En el caso de la OTAN, la situación es algo diferente. Los marcos de cooperación de la Alianza sí disponen de un corpus regulatorio. Este se materializa en otros muchos sectores asociados, que adaptan sus regulaciones y estándares a lo convenido en esta.

No obstante, el sector espacial ha sido hasta muy recientemente una política más de la Alianza, por lo que esta ha preferido

mantener la distancia y respetar los marcos regulatorios fijados por cada nación aliada. Las aproximaciones que la OTAN ha venido haciendo respecto del uso del espacio han sido sobre la base de las capacidades de las naciones, con la única excepción de la política de la defensa contra misiles balísticos (BMD), origen de los actuales análisis de las amenazas provenientes del espacio.

El reconocimiento del espacio como un nuevo dominio operacional, en principio impulsado desde EE.UU. y secundado por la Alianza, sumado a esta preocupación de la Unión Europea por la protección de sus activos y capacidades espaciales, suponen un punto de inflexión. De esta manera se evidencia la necesidad de vincular la defensa al espacio, trasponiendo y reforzando de este modo el vínculo trasatlántico al nivel espacial.

Todos estos movimientos se han trasladado a las organizaciones internacionales. Dentro de la Oficina de NNUU para Asuntos sobre el Espacio Exterior (UNOOSA)³⁹ y en el seno del Comité para el Uso Pacífico del Espacio de Naciones Unidas (UNCOPUOS), con 92 naciones adscritas, y al que la Comisión Europea se ha sumado como observador, también se deja ver la preocupación por el incremento de objetos espaciales. Esto, además de los riesgos derivados, y a los que ya se ha aludido, posibilita que se pueda producir un enmascaramiento de las actividades contrarias a su uso pacífico.

Esta preocupación está generando también diferentes corrientes sobre la forma de abordarla. Algunos propugnan un uso más extensivo de los bienes y recursos que se pueden obtener, no solo del uso del espacio, sino incluso de los recursos naturales de sus cuerpos celestes, cuyo resultado es un movimiento hacia la «conquista del espacio», imponiéndose para ello una serie de regulaciones duras y restrictivas que limitan en la práctica su acceso a unos pocos Estados.

En este sentido, sus rivales geopolíticos entienden Artemisa como una suerte de apropiación de la Luna —que se presenta como primer cuerpo celeste a conquistar—, a la vez que un intento de Estados Unidos por pactar las reglas internacionales con un «pequeño grupo de aliados» para imponérselas posteriormente al resto de naciones.

³⁹ Organización de las Naciones Unidas. *UNOOSA Annual Report 2018*. Organización de las Naciones Unidas, 2018.

Y es que el *Libro Blanco de la Defensa* chino define el espacio como la cima de «la competición estratégica internacional». El «sueño espacial» es parte de su pretensión de conseguir un «gran rejuvenecimiento de la nación»⁴⁰. Por ello está realizando importantes esfuerzos para modernizar sus capacidades espaciales —a veces con procedimientos muy controvertidos; así, entre otras muchas cosas, se acusa al país desde espionaje industrial hasta de la toma de control encubierta de empresas tecnológicas—, desarrollando, entre otros elementos, su propio sistema de posicionamiento global, un programa de exploración a la cara desconocida de la Luna o el envío al espacio de un satélite de iluminación conocido como «Luna artificial»⁴¹.

Es lo que se conoce como *Space Silk Road*,⁴² una nueva «Ruta de la Seda con sede en el espacio» que conecta su programa espacial con sus ambiciones geopolíticas, bajo la actual impunidad de la expansión comercial, que termine llevando la ruta hasta Marte. Se pretende la creación de una zona económica entre la Tierra y la Luna para 2050, que algunos expertos consideran generaría 10 000 millones de dólares anuales⁴³. También el sistema Beidou es clave en la progresiva expansión del OBOR (*One Belt, One Road*, una denominación de la Ruta de la Seda) hasta alcanzar el nivel global y que se combina con otras actuaciones políticas financieras desarrolladas a nivel terrestre. Esta profundización puede llegar a generar una dependencia tecnológica⁴⁴.

En este sentido, la Organización de Cooperación Espacial Asia-Pacífico (APSCO), creada en 2008 y con sede en Pekín, incluye como miembros a China, Bangladesh, Irán, Mongolia, Pakistán, Perú, Tailandia, Turquía e Indonesia, con México como observador. Y, además, ha expandido sus estaciones de seguimiento terrestre

⁴⁰ Congreso de los Estados Unidos. *2019 Report to Congress of the U.S.-China Economic and Security review Commission*. One hundred sixteenth Congress, First session, November 2019. <https://www.uscc.gov/sites/default/files/2019-11/2019%20Annual%20Report%20to%20Congress.pdf>

⁴¹ VÁZQUEZ CARNEIRO, Ignacio Juan, *op. cit.*

⁴² Página oficial de la Belt and Road Initiative: <https://www.beltroad-initiative.com/space-silk-road/>

⁴³ En julio, la empresa privada i-Space (también conocida en inglés como Beijing Interstellar Glory Space Technology) lanzó un cohete portador en la primera misión orbital exitosa de la industria espacial comercial china. El 8 de diciembre de 2018, China lanzó una nave, *Chang'e-4*, y aterrizó con éxito su vehículo lunar en el otro lado de la Luna el 3 de enero.

⁴⁴ Congreso de los Estados Unidos. *2019 Report...*, *op. cit. f*

a Namibia, Kenia, Pakistán, Brasil, Argentina, Chile e, incluso, Australia y Suecia⁴⁵.

En esta línea, entre otras actuaciones —y con particular éxito en Iberoamérica y África—, ha apoyado la vocación espacial argentina (lo que le ha dado una importante entrada en el Cono Sur) y Namibia, financiando con 302 millones de dólares el programa satélite de Bolivia o apoyando el satélite venezolano y desplegando los efectos de sus actuaciones en este ámbito hasta México⁴⁶.

En fin, observando la inversión actual dentro de esta nueva competición geopolítica, en primer lugar figura Estados Unidos con más de 48000 millones de dólares, conforme a los datos de la anterior Administración; seguido de la Unión Europea, cuyo Programa Espacio rondará los 16000 millones de euros, a los que se pueden sumar una cifra adicional de 14000 M€⁴⁷; a la que sigue China con una inversión en torno a los 8500 M\$; Rusia con unos 3000 M\$; Japón con 1780 M\$; e India con 1600 ME⁴⁸.

Rusia, con todo el potencial geopolítico que le da disponer de una superficie equivalente al 25% de las tierras emergidas, es heredera de las capacidades espaciales de la Unión Soviética y aún conserva su poder en este ámbito. Pero tiene un PIB equivalente al de Italia, una parte significativa del mismo obtenido con la venta de materias primas (hidrocarburos), con lo que, a medio plazo, si no logra recuperar el impulso económico e industrial, y pese al legado de la Guerra Fría, se quedará irremediabilmente atrás.

China, de hecho, y como se ha visto, ya ha adelantado a Rusia en número de satélites operativos en órbita. También vale la pena destacar el desarrollo que ha mostrado China en estos últimos

⁴⁵ SATO, Taro. «The Case for US-Japan Space Cooperation in the Indo-Pacific». *The Diplomat*, 16/6/2020.

<https://thediplomat.com/2020/06/the-case-for-us-japan-space-cooperation-in-the-indo-pacific/>

⁴⁶ VALDIVIA CERDA, Victoria. «Hipótesis de conflicto en el espacio ultraterrestre. De la metageopolítica a la inteligencia». ANEPE, Centro de Investigación y Estudios Estratégicos, cuaderno de trabajo n.º3, 2020.

<https://anepe.cl/wp-content/uploads/2020/12/Cuaderno-de-Trabajo-N%C2%B03-2020.pdf>

⁴⁷ El presupuesto inicial del Programa espacio es en torno a 16.000 M€, aunque existen planes para su incremento de en torno a 14000 M€, lo que situaría la inversión total de la UE, entorno a los 30.000 M€.

⁴⁸ MARTÍNEZ CORTÉS, José M. «Perspectiva de la universidad y la industria». *Revista de aeronáutica y astronáutica*, núm. 891, marzo 2020, p. 199.

diez años, entre ellos su estación espacial entre 2011 y 2018; y actualmente trabajando en su nueva estación, en su vector de lanzamiento *Long March 5B* y el lanzamiento de sondas a la Luna y Marte. Además, tiene sus propios planes para construir una estación de investigación científica en el polo Sur de la Luna, explorar esta en una década y, como hemos visto, establecer una «zona económica espacial» entre la Tierra y la Luna en 2050,⁴⁹ 100 años después de la proclamación de la República Popular China.

En este contexto, el régimen inferior del espacio exterior está sugiriendo un fenómeno de superpoblación de objetos orbitales mientras aumenta la actividad y diversidad de uso. Los diferentes regímenes orbitales concentran la actividad principal en torno a tres rangos de altitud de vuelo de los satélites, lo que otorga a cada uno de ellos unas características específicas que los hace más útiles para unas capacidades que los otros dos.

Así, los satélites que operan en las órbitas bajas (LEO), entre los 150 y los 2000 kilómetros, se ocupan tradicionalmente de misiones relativas a la observación de la Tierra, vuelos tripulados o actividad suborbital, entre otros. Hoy día, la proliferación de los pequeños satélites, si bien ocupan la franja inferior de este régimen orbital LEO, están siendo empleados también para comunicaciones, observación, apoyo a la navegación, ensayos de constelaciones y una amplia diversidad de usos más cercanos a la ciencia que a la explotación comercial o institucional. A la densidad de satélites y trayectorias en estas órbitas se suma que estos se desplazan a velocidades próximas a los 27 000 km/h, lo que nos aporta una idea vertiginosa de su actividad y que le da el sobrenombre de «bóolidos».

Las órbitas medias (MEO) están establecidas entre los 2000 y los 20 000, en ocasiones superiores, y son idóneas para el despliegue de constelaciones de telecomunicaciones y navegación, así como las estaciones espaciales. Las trayectorias en este segmento son algo menos dinámicas que las de las propias orbitas LEO; esto permite una adecuada organización de su uso, en el que es menos probable su utilización fuera del registro internacional de objetos orbitales. El recorrido de los satélites en este régimen orbital es más estable, característica fundamental para los sis-

⁴⁹ ROJO, Ángel «La carrera espacial por el control del dominio donde se desarrollará la nueva guerra.» <https://www.zona-militar.com/2020/07/16/la-carrera-espacial-por-el-control-del-dominio-donde-se-desarrollara-la-nueva-guerra/>

temas de posicionamiento, navegación y tiempo, así como más adecuado para las plataformas espaciales habitadas.

Dentro de este régimen, las órbitas más altas aportan una mayor amplitud de observación y una mayor cobertura de sus sistemas; mientras las órbitas más bajas proporcionan una proximidad idónea para sistemas meteorológicos y de comunicaciones⁵⁰.

El cinturón geoestacionario, por su parte, merece un tratamiento diferenciado por encontrarse muy saturado. Se ubica a 35786,55 kilómetros de la superficie de la Tierra, sobre su línea ecuatorial, y tiene un ancho de 150 km, un espesor de 30 km y un periodo orbital de 23 horas, 56 minutos y 4 segundos, es decir, el mismo periodo de rotación de la Tierra, por lo que se denomina *órbita geosincrónica*.

Así, un satélite geoestacionario puede observar constantemente una amplia zona de la Tierra y, simultáneamente, ser visible en todo momento desde cualquier punto de esta región, evitando tener que reorientar las antenas rastreadoras, como hay que hacerlo con los otros tipos de satélites en órbitas diferentes a esta, lo cual la hace especialmente útil para comunicaciones y televisión por satélite y difusión de contenidos⁵¹.

Para completar la información respecto del uso pacífico y regulado del espacio, es importante aproximarnos al recurso órbita-espectro, concepto que nos aporta simultáneamente un componente de soberanía y derecho de uso, único en la regulación de la actividad espacial, pero que le otorga el carácter estratégico de su concesión.

En primer lugar, debemos saber que todo satélite registrado para su operación en una órbita GEO lo hace en una posición orbital concreta, otorgada por la UIT, y a la que asocia todo el ciclo de vida de su actividad espacial. Y, por otro lado, debe disponer de la autorización de la Unión Internacional de Frecuencias para poder operar en una gama de frecuencias determinadas, dentro del espectro aplicable para cada banda de frecuencias.

⁵⁰ ÁLVAREZ CALDERÓN, Carlos Enrique; BENAVIDES GONZÁLEZ, Eliot Gerardo; RAMÍREZ PEDRAZ, Yesid Eduardo. «CAPÍTULO II. Geopolítica del espacio exterior: dominio estratégico del siglo XXI para la Seguridad y Defensa». En: VV.AA. *Mirando hacia las estrellas: una constante necesidad humana: el espacio exterior: una oportunidad infinita para Colombia*. Vol. 1.

<https://esdeguelibros.edu.co/index.php/editorial/catalog/book/51>

⁵¹ ÁLVAREZ CALDERÓN, Carlos Enrique *et al.*, *op. cit.*

Ambos conceptos, órbita y espectro, deben ser declarados para cada satélite al único organismo internacional reconocido para ello, la UIT, y esta concede su uso y posición. Los dos conceptos suponen un «bien estratégico» del Gobierno que lo otorga. Dicho de otro modo, suponen la prueba de que el satélite está declarado por un Gobierno, y reconocido por todos los demás para este uso.

Llegados a este punto, y puesto que la geopolítica se agota en la Tierra, conviene hablar de un concepto que ha venido a denominarse «astropolítica» y que supone la traslación de su lógica al espacio. La idea la formuló George Harry Stine a finales del siglo xx, mientras Everett C. Dolman la definió como el estudio de las relaciones entre los ámbitos del espacio exterior, la tecnología y la política. La astroestrategia sería para Dolman la identificación de los puntos terrestres y exteriores de interés, cuyo control puede proporcionar el dominio militar y político del espacio o, al menos, puede proporcionar seguridad contra la dominación de un Estado oponente⁵².

Para este último autor, la zona que va desde la superficie de la Tierra a la órbita geosincrónica es de particular relevancia, de modo que «el Estado que ocupa o controla de modo más efectivo esas posiciones puede asegurarse para sí mismo la dominación del comercio espacial y, en última instancia, la política terrestre». Dolman da un especial carácter estratégico al espacio que va de la Tierra a la órbita geoestacionaria, pues «no solo garantiza un control a largo plazo del acceso al espacio de más allá, sino que aporta una ventaja a corto plazo sobre el campo de batalla terrestre». Tal cosa resulta el equivalente al concepto *tierra corazón* del modelo geopolítico de Mackinder de modo que «quien controla la baja órbita terrestre controla el espacio cercano a la Tierra. Quien controla el espacio cercano a la Tierra domina la Tierra. Quien domina la Tierra determina el destino de la humanidad»⁵³.

Así, el control de esta región se convierte en una suerte de estrecho geoestratégico, pues no solo garantiza el control a largo plazo de los confines exteriores del espacio, sino que proporciona una ventaja estratégica en el campo de batalla terrestre⁵⁴. Ello convierte a estos espacios en un teatro primordial para cualquier

⁵² CASTRO TORRES, José Ignacio. «La astropolítica en un mundo pospandémico». *Instituto Español de Estudios Estratégicos*. DIEEEA 17/2020, 20 de mayo de 2020.

⁵³ CASTRO TORRES, José Ignacio, *op. cit.*

⁵⁴ CASTRO TORRES, José Ignacio, *op. cit.*

futuro enfrentamiento que se produzca, dado que es precisamente en el dominio de estos espacios, y la libertad de acción que confieren, donde residen los fundamentos de la hegemonía internacional que las potencias revisionistas desafían. Consecuentemente, el acceso a los mismos puede plantearse como una primera batalla, lo que ha dado lugar a las estrategias A2/AD *antiaccess* de denegación de acceso, una estrategia característica de la parte más débil⁵⁵.

El problema de la astropolítica es el mismo que el de la geopolítica en tanto que ciencia del mapa y el poder: los mapas solo son representaciones de la realidad, simplificaciones, y no esta misma. La simplificación es peligrosa, hace evidente lo que no lo es; de este modo permite despreciar cuestiones importantes y por ello sus errores se hacen de bulto. Además, como resultado del carácter pretendidamente científico de sus propuestas, las decisiones políticas pueden dejar de ser opciones estratégicas para presentarse como imperativos irrefutables, exigencias, puros determinismos. El empleo de lenguaje militar asociado al cientifismo determinista hacía de las opciones geopolíticas elementos de conflicto.

En cualquier caso, y parafraseando al almirante Dudley Knox, dados los paralelismos ya citados entre el espacio exterior y los mares, decir que «la más alta confirmación del estratega espacial es el calado de su comprensión... de la realidad de que... todo esfuerzo en el espacio debe dirigirse a obtener un efecto en la Tierra». Consecuentemente, en la relación dialéctica que se establece entre geopolítica y astropolítica, es la primera la que acaba por imperar.

El espacio exterior como factor polemológico

El espacio exterior es considerado un *global common* —junto con otras áreas como el ciberespacio, el espacio marítimo o el espacio aéreo, que, además, se encuentran interconectados entre sí—, esto es, un espacio que no forma parte de ningún Estado y sobre el que, por tanto, ningún Estado dispone de derechos soberanos, más allá de los pocos otorgados por la UIT. Y todo ello en un tiempo en que se está produciendo una reordenación de los

⁵⁵ KUTT NEBRERA, Alexander. «La importancia de dominar los *global commons* en el siglo XXI». *Instituto Español de Estudios Estratégicos*. DIEEEEM 29/2012, 12 de noviembre de 2015.

distintos poderes internacionales, creándose fuerzas específicas espaciales mientras se debate en Naciones Unidas sobre aspectos relativos a la seguridad con mayor fuerza que nunca.

En fin, el desarrollo del Estado vino paralelo a la toma de control del territorio que servía a su definición. Completado este, siguió el mar territorial hasta los sucesivos límites del alcance de las armas de cada época; los límites del Estado son aquellos hasta los que es posible hacer llegar su poder. Y una vez aparecidos los ingenios aéreos, también el espacio ubicado por encima del territorio.

La adquisición del espacio exterior cuando existen medios para ello es una prolongación de la lógica anterior. Así, cabe deducir que, cuando la importancia del uso del espacio crezca, su control se hará tan necesario como en su día lo fue el control naval o el control aéreo. Consecuentemente, las disputas se intensificarán paralelamente a la proliferación de actividades de defensa y protección de la explotación del espacio, tanto para preservar a la sociedad de sus amenazas como para fines propiamente militares⁵⁶.

La primera cuestión surge por la indefinición del medio considerado. Se trata de un espacio físico potencialmente infinito, sin límites a partir de la superficie terrestre. El espacio aéreo y el exterior no son elementos separados ni física ni funcionalmente. Hay una continuidad entre ambos; y, además, se encuentran ampliamente tecnificados, lo que obliga a contemplar su seguridad de forma unificada y coherente, como lo es su propia naturaleza.

No obstante, cuando se habla de seguridad aeroespacial, es la aerotermodinámica la que prevalece; los motores y alas que posibilitan el vuelo. En el espacio, una vez en órbita y superada la gravedad terrestre, es la inercia; algo totalmente diferente y cuyo efecto precisa de tecnologías igualmente diferentes. Será este punto el que lo haga concebir como un dominio distinto, y por ello sus operaciones —junto con las aéreas— nos enfrenten inevitablemente a operaciones multidominio.

Así, el tráfico aéreo tiene en el terreno de lo práctico un límite superior que no se distingue claramente. Ni la Conferencia de París en 1919 ni la Convención de Chicago de 1949 lo definieron. No obstante, si atendemos a los principios de la física que rigen en el espacio, la línea de Kármán, a una altitud de 100 km, separa

⁵⁶ CANO GARCÍA, Ricardo, *op. cit.*

los comportamientos propios de la aerodinámica de los diferentes efectos que la gradual pérdida de atracción de la Tierra ejerce en los cuerpos que orbitan en el espacio ultraterrestre.

Como consecuencia de su importancia y la trascendencia de sus actividades, en 1976 siete países ecuatoriales suscribieron la Declaración de Bogotá, en la que reclamaron su soberanía sobre el cinturón geoestacionario⁵⁷, más allá incluso de la línea de Kármán. Esto no fue aceptado por la comunidad internacional, pues no se atiene a lo previsto por el Tratado del Espacio Exterior. Esto es un ejemplo de cómo la astropolítica tiene su reflejo en la geopolítica.

Las órbitas más bajas, dentro de las estables, ubican a los satélites por encima de los 160 kilómetros, si bien el régimen intermedio, entre la línea de Kármán y las órbitas estables más bajas está siendo hoy explorado por una serie de actores cuya actividad debe ser considerada espacial, al escapar de los efectos de la aerodinámica para pasar a otra suerte de «vuelo» en el que lo que prima es el componente inercial.

La delimitación es relevante para determinar si procede la aplicación de la normativa espacial o de la nacional. La cuestión no es menor, pues los marcos legales son sustancialmente distintos. Mientras que en el espacio aéreo rige el principio de soberanía nacional y uso flexible pero sujeto a control, por su parte el espacio exterior es de incumbencia de la humanidad.

Podría decirse que en los tratados internacionales hay una dificultad intencionada, una falta de definición convenida, sobre este particular que parece aún no haber encontrado el motivo o el momento para quedar resuelto definitivamente.

Peor aún,, y puesto que son innumerables las actividades terrestres que se encuentran intrínsecamente ligadas al uso del espacio, habría de discutirse si les resultan de aplicación las normas referidas a actividades espaciales; y cuáles de ellas.

A esto se suma la aparición de actores privados que, buscando negocio, tienen aspiraciones enfocadas más allá de la Tierra, y discuten —e incluso rechazan— la capacidad normativa de los

⁵⁷ Es a la distancia de 35719 km sobre el ecuador donde se obtiene la velocidad de rotación necesaria para obtener la velocidad orbital óptima para posicionar de modo geoestacionario un satélite, con el consiguiente ahorro de combustible, un factor económico bastante relevante.

Estados sobre el espacio exterior⁵⁸, pero de cuyo proceder son legalmente responsables los Estados de lanzamiento y/o los propietarios del activo espacial en órbita.

En fin, el mundo de la globalización se encuentra tan falto de un corpus regulatorio hoy —con la excepción del uso del binomio órbita-espectro regido por la UIT— como el Estado lo estaba en los albores del maquinismo en el siglo XIX. Esto, sin duda, favorece las políticas de poder, pues si tal cosa sucede sobre la superficie terrestre —en la que recurrir a cortes y tribunales competentes en los litigios entre Estados—, la cuestión se agrava en el espacio exterior, cada vez más dominado por la tecnología y en el que existe una carencia de control real de las actividades.

Si Hegel decía que no hay pretor que juzgue en el medio internacional, menos lo hay en el espacio exterior, donde todavía estas relaciones no se han consolidado suficientemente en términos de derecho. En este medio no hay propiamente leyes internacionales tanto como convenciones y, todavía menos, autoridades con legitimidad para juzgar. Muchas veces, cada caso y situación deben subsumirse en un marco jurídico diferente, pues este puede construirse desde distintas referencias nacionales, lo que dificulta el arbitraje cuando concurren en el caso una pluralidad de países. Además, recordando a Hannah Arendt, «¿acaso no tenía razón Hobbes cuando dijo: “acuerdos sin espada son sólo palabras”?»⁵⁹. El *Corpus Iuris Spatialis* es, consecuentemente, endeble.

El Tratado del Espacio Exterior de 1967, el eje de este necesario *corpus iuris*, se asienta sobre los siguientes pilares: su naturaleza de *global common*; los fines pacíficos que condicionan su uso, prohibiéndose expresamente el despliegue de armas de destrucción masiva, las pruebas y demostraciones de armamento, la realización de maniobras militares o el establecimiento de instalaciones militares; la responsabilidad de los Estados respecto de las actividades que les son propias en el espacio y el mantenimiento de la propiedad soberana sobre los objetos que sitúan en él.

Después de la conclusión de los tratados espaciales en los años sesenta y setenta —cuando se resolvió la carrera espacial y se fijó su regulación en el binomio órbita-espectro—, la competición

⁵⁸ 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.

⁵⁹ ARENDT, Hannah (2005). *Sobre la violencia*. Madrid: Anaya, p. 12.

paso a ser un juego de unos pocos Estados. Estos, además, dejaron de estar tan dispuestos a adoptar más obligaciones vinculantes para regular su actividad espacial, lo que favorecía y favorece sus políticas de poder. A día de hoy, por ejemplo, y como ya se ha dicho, algo tan relevante como el lanzamiento de satélites comerciales y privados está muy insuficientemente regulado desde la perspectiva internacional pese a su creciente importancia.

Añádase a ello que, tal y como señala Thomas Friedman en su libro *Gracias por llegar tarde*, la tecnología necesita entre diez y quince años para ser comprendida y redactar normativas para proteger eficazmente a la sociedad; pero las técnicas se ven superadas en un plazo de entre cinco y siete años, con lo que el potencial polemológico de la situación es notable.

Y es que, como puede apreciarse, existen muchos vacíos legales resultado de una ambigüedad y una legislación insuficiente, que ha sido ampliamente sobrepasada por el desarrollo tecnológico y su lógica. Es más, uno de los objetivos explícitos de la estrategia aeroespacial norteamericana es dar forma a un nuevo entorno estratégico que sustituya a la carencia de regulación, creándose un corpus más basado en el derecho de uso que en un derecho espacial específico. De esta manera se condicionan las normas de comportamiento en el espacio, que podrían fijarse *a la carta* y en beneficio de los principales actores globales.

Hay, así, una pugna por influir sobre el marco normativo, esto es, por establecer sus bases y los estándares con los que se va desarrollar esta, cuando no existe una organización global que pueda hacerlo.

Y ello podría dar sentido a la vieja idea de Maquiavelo: «No puede haber buenas leyes donde no hay buenas armas». Parece, así, que el corpus legislativo solo puede desplegarse mediante acuerdos *ad hoc* negociados entre Estados y organismos supranacionales. Esto, obviamente, favorece la prevalencia de los más fuertes⁶⁰ y obliga a los Estados a emprender su particular carrera por tomar posición.

La cuestión de la «militarización» del espacio ultraterrestre trae de vuelta a los programas de control de armas, que se han convertido en una necesidad cada vez más perentoria a la luz del ca-

⁶⁰ FERREIRA-SNYMA, A. «Selected legal challenges relating to the military use of outer space, with specific reference to article IV of the outer space treaty». *Potchestroom Electronic Law*, 2015. <http://d.doi.org/10.4314/pej.v.18i3.02>

rácter expansivo de las nuevas arquitecturas de seguridad. Estos conjugan la vigilancia y seguimiento de objetos en órbita con la defensa de misiles balísticos, y cuentan con componentes basados en el espacio.

Podría afirmarse que en el espacio es muy difícil establecer una clara distinción entre actividades militares y no militares. El caso de las armas antisatélites empleadas es particularmente significativo, pues estas pueden quedar enmascaradas dentro de una ingente cantidad de nuevos dispositivos espaciales, permitiendo fácilmente su tipificación como de cualquier uso civil. Así se escondería formalmente su naturaleza de instalación militar permanente. Esta resulta, además, significativamente no pacífica y agresiva y, por ende, manifiestamente contraria, como hemos visto, a la literalidad del Tratado del Espacio Exterior.

Pero también la terminología empleada tiene sus dificultades. Así, «uso pacífico» no significa exactamente «no militar», sino más bien «no agresivo o beligerante». Además, el artículo 51 de la Carta de las Naciones Unidas garantiza el derecho de autodefensa, por lo que el uso de la fuerza, atendiendo a ello, no se encuentra completamente descartado⁶¹.

En este punto conviene diferenciar con claridad entre militarización y «armamentización» del espacio. El primero se refiere a la potencial utilización del espacio —dentro del *Corpus Iuris Spatialis*— con fines militares. Mientras el segundo se refiere al despliegue de armamento en el espacio, que puede resultar contrario al Tratado de la Luna o al Tratado del Espacio Exterior. Mención aparte, y para aún mayor confusión, merecen los sistemas de armamento terrestres con capacidad destructiva ultraterrestre como ejemplos de «armamentización» espacial.

Este extremo último supone una de las cuestiones críticas en el actual despliegue normativo de los incipientes Mandos Espaciales, tanto el Mando Espacial de los EE.UU. como el Mando Militar del Espacio de Francia, los cuales, para proteger sus plataformas espaciales de las nuevas amenazas, justifican el uso de sistemas terrestres para su neutralización.

Es más, a pesar del acuerdo generalizado sobre la prohibición de instalar armas permanentes en el espacio por contrario a de-

⁶¹ WOLFF, Johannes M. «'Peaceful uses' of outer space has permitted its militarization— does it also mean its weaponization?».

recho, podría discutirse incluso sobre lo que es o no es un arma espacial, sin esconderse siquiera bajo el fácil paraguas de una tecnología de doble uso. De hecho, toda la incertidumbre legal que rodea el uso del espacio se encuentra exacerbada además por la falta de algún mecanismo específico de control de armas⁶², algo que, por otra parte, en los dominios tradicionales lleva décadas ocurriendo y es parte de orden mundial. Lo regulado dentro del orden «mundial» tampoco se puede extrapolar directamente al espacio ultraterrestre.

Pocas cosas quedan claras en derecho cuando este se solapa o combina con la política. Los satélites, como las armas nucleares, son «armas políticas» en tanto que el poder político tiene la capacidad de verse directamente proyectado al hacer un uso igualmente directo de ellas.

Visto lo anterior y recordando además el aforismo jurídico «quien puede lo más, puede lo menos», estaría permitido el uso actual del espacio para fines militares, tales como la observación de la Tierra por satélite para fines militares —por más que discutible a pesar de su naturaleza no intrusiva—, pues no ha sido en ningún momento prohibido.

Tampoco estarían prohibidas las operaciones militares desarrolladas en el medio terrestre pero utilizando medios espaciales, en tanto que además son aceptadas como práctica común por la comunidad internacional. La ya aludida Revolución de los Asuntos Militares se asienta sobre el uso de la tecnología espacial directamente para el mando y control de las operaciones militares; y, con ello, para la designación de objetivos e incluso el guiado de armas que no se ubiquen en él mismo.

Lo que sí estaría prohibido serían operaciones espaciales de marcado signo violento, esto es, el empleo bélico del espacio y en el espacio. Y eso aun con matizaciones.

En otro orden de cosas, la democratización en el acceso a la tecnología espacial que ha traído consigo el fenómeno del NewSpace, con sus beneficios, también incorpora riesgos y un potencial polemológico al permitirse el acceso al espacio a un número significativo de nuevos actores, tanto gubernamentales como privados, que prevén la realización de un amplio espectro de actividades. Ello es así por alterar el *statu quo*.

⁶² FERREIRA-SNYMA, A., *op. cit.*

Algunas de ellas incorporan un riesgo potencial de ser alegales —es claro que la legalidad tiene un desarrollo limitado en el espacio— o peligrosas; y estas no son del gusto de los Estados, siendo, pese a ello, pero conforme a los tratados actuales, responsables de esta actividad los Estados de lanzamiento o los que avalen este tipo de actividad.

El aumento en el número de satélites y la presencia de constelaciones con fines comerciales genera ya problemas en la asignación de órbitas —especialmente crítico en el caso de la dinámica orbital en el rango inferior del régimen LEO, que se encuentran muy congestionadas— y de radiofrecuencia, cuyo recurso, el espectro, es también escaso para el despliegue masivo que se avecina. Y ello tiene un efecto adicional al contribuir a enmascarar el emplazamiento de las plataformas antisatélites.

Esta superpoblación de objetos que se plantea entre los nuevos actores globales, principalmente del NewSpace, si bien secundados por despliegues similares en órbitas del régimen MEO, requiere, en términos físicos, de una compleja y sofisticada tecnología. Pero también del consenso internacional y hasta de una agencia reguladora, cuya labor vaya mucho más allá del binomio órbita-espectro fijado por la UIT; y, por supuesto, de una normativa más desarrollada para tal fin⁶³.

Otra cuestión es la referida al acceso a los recursos espaciales; la viabilidad y rentabilidad de su obtención explica el creciente interés por los viajes espaciales. Existe, pues, una expectativa razonable de altos beneficios que alienta la faceta mercantilista de la carrera espacial. Las actividades empresariales toman su sitio junto a las gubernamentales, superando a estas, en términos económicos, fundamentalmente en lo relativo a la explotación del uso del espacio en beneficio de las TIC.

Pero hoy se discute respecto de antiguos asuntos, nuevos para este contexto, que emergen como opciones; más en concreto, la posibilidad de explorar las materias primas de alto valor presentes en algunos cuerpos celestes. Y es que los asteroides pueden contener hierro, níquel, platino, cobalto, oro, plata, cobre, manganeso, titanio y uranio, así como tierras raras; son materias primas de un alto interés comercial. Estos nuevos *filones espaciales*,

⁶³ PÉREZ GÓMEZ, Eliseo. «Las fuerzas aéreas y el espacio: desafíos, papel a desempeñar. Oportunidades para la cooperación internacional». *Revista de aeronáutica y astronáutica*, núm. 891, marzo 2020, p. 205.

además, cobijan una variedad de isótopos radiactivos poco comunes, como el helio-3, que se cree existe en grandes cantidades en la Luna y que puede ser utilizado como combustible de alta potencia⁶⁴. En línea con tal realidad, la nave *OSIRIS-REX* se está aproximando al asteroide Bennu para tomar una muestra de su superficie, que traerá a la Tierra en 2023.

No viene mal recordar, por su oportunidad en este contexto de indefinición, incertidumbre y lucha por los recursos, el conocido y demoledor testimonio del general de brigada Smedley Butler en su trabajo *La guerra es una estafa*, que, en la primera mitad del siglo xx y respecto a las relaciones entre las actividades económicas privadas y la guerra, sostenía: «... en 1914 afirmé la seguridad de los intereses petroleros en México, Tampico en particular. Contribuí a transformar a Cuba en un país donde la gente del National City Bank podía obtener tranquilamente los beneficios. Participé en la "limpieza" de Nicaragua de 1902 a 1912, por cuenta de la firma bancaria internacional Brown Brothers Harriman. En 1916, por cuenta de los grandes azucareros norteamericanos, aporté a la República Dominicana la "civilización". En 1923 "enderecé" los asuntos en Honduras en interés de las compañías fruteras norteamericanas. En 1927, en China, afiancé los intereses de la Standard Oil. El problema es que cuando el dólar americano gana apenas el seis por ciento, aquí se ponen impacientes y van al extranjero para ganarse el ciento por ciento. La bandera sigue al dólar y los soldados siguen a la bandera».

En fin, como fácilmente puede entenderse, la posesión de los bienes espaciales tiene un notable potencial conflictivo. Así, el Acuerdo que Gobierna las Actividades de los Estados en la Luna y otros Cuerpos Celestes, o Tratado de la Luna, cuya pretensión es transferir la jurisdicción de todos los cuerpos celestes a la comunidad internacional, solo lo han firmado 22 naciones y lo han ratificado 18, pero ninguna de ellas es una gran potencia espacial. En 2020, en una orden ejecutiva del presidente Trump, también referida a los recursos espaciales, afirmaba que los Estados Unidos «no ven el espacio exterior como propiedad común» y considera al Tratado de la Luna un «un fallido intento de restringir la libre empresa».

⁶⁴ BLASCO, Emili J. «Carrera por los recursos espaciales: de la minería al control de rutas». *Revista Global Affaire Journal. Center for Global Affairs & Strategic Studies*. Facultad de Derecho-Relaciones Internacionales. Universidad de Navarra, n.º 2, marzo 2020, pp. 34-39.

Hay estudios que cifran la necesidad de establecer una base permanente en la Luna desde la que extraer recursos y operar superando los costos, hasta la fecha insuperables, de superar el esfuerzo que supone la gravedad de la Tierra, mientras se utiliza como combustible el helio-3 obtenido de su subsuelo. Merece reseñarse el memorándum de entendimiento entre la Agencia Espacial Europea, la NASA, Roscosmos, JAXA y CSA, actuales socios de la Estación Espacial Internacional (ISS), con el objetivo de poner en marcha el primer asentamiento humano en la órbita lunar, proyecto conocido como Gateway.

Otros, entre los que contamos al visionario impulsor del NewSpace y CEO de SpaceX, Elon Musk, van incluso más allá y predicen un planeta Marte no solo colonizado, sino también en el que sea posible la vida en condiciones similares a como lo es en la Tierra tras un proceso de *terraforming*. Las expectativas son insondables y los presupuestos que las materializan, faraónicos. Pero también su potencial beneficio y, por ende, el alto interés político en tales actividades.

En esta línea de decisiones unilaterales de los Gobiernos —fuera de los Tratados y Acuerdos suscritos hasta el momento—, merece la pena también referir a la llamada Ley SPACE (Spurring Private Aerospace Competitiveness and Entrepreneurship) norteamericana —publicada en 2015 bajo la Administración Obama— y la Ley sobre la Explotación y Utilización de los Recursos Espaciales (LEURE) luxemburguesa en 2017, que, aprovechando el momento de reactivación de la actividad espacial, una vez superada la gran crisis económica de finales del siglo xx, e identificado el sector espacial como uno de los de mayor índice de rentabilidad, se escudaron en algunas indefiniciones de los foros de la ONU y, sin afirmar su soberanía, otorgan figurativamente a las regulaciones nacionales derechos sobre bienes obtenidos en el espacio. En la misma dirección se pronunciarán otros países⁶⁵. El problema es que el corpus espacial no puede ser resultado de la suma de regulaciones nacionales transpuesta a este ámbito, por los muchos conflictos que de ello se derivarían.

De esta manera se corre el riesgo de alinear, cuando no arrastrar, a los intereses estratégicos con los privados, prestando un apoyo figurado —esto es, dentro de un marco jurídico inexistente visto desde otra perspectiva— a empresas y corporaciones, y favoreciendo con su participación la carrera mercantil del espacio. Los

⁶⁵ PEREIRA, Mario, *op. cit.*, pp. 41-55.

Estados, como retorno, obtienen gran parte del capital financiero que tales proyectos precisan. El resultado está poniendo a disposición de ciertos actores no necesariamente institucionales un poder que normalmente pertenecería al Estado, además de un cierto control sobre las agendas políticas.

En esta línea, podemos hablar incluso trasponiendo la añeja idea de «poder marítimo» de un «poder espacial» que sería la capacidad de crear, desarrollar, explotar y defender los intereses espaciales de un país, tanto en paz como en guerra. Corresponde a la influencia (política, económica o militar) que puede ejercer un país, en o desde el espacio, en los acontecimientos que afectan a sus intereses, donde quiera que estos se encuentren.

Sería así su capacidad para desarrollar y conservar sus intereses espaciales. Esto requeriría de elementos como su conciencia espacial, situación geográfica, configuración física, capacidades civiles y militares (el equivalente al «poder naval», la componente militar del «poder marítimo»), industria espacial, infraestructuras o potencial económico. Y tendría su reflejo sobre la geopolítica terrestre.

Usos militares del espacio

El espacio proporciona discreción y libertad de acción. Ejercer su control efectivo supondrá ejercer el «dominio del espectro completo de medios», lo cual implica disponer de la capacidad de libertad de acción, pero también capacidad para negar su uso a otros actores. En las palabras del presidente Trump: «Para defender EE. UU., no basta con tener presencia en el espacio, sino que debemos tener el dominio del espacio».

No obstante, este «control total» no es factible para ningún actor individual. Sin embargo, y al igual que en el espacio marítimo y en los otros *global commons*, es necesario alcanzar un control suficiente para garantizar la libertad de acción⁶⁶.

Es más, tratar de alcanzar el control total muy probablemente daría lugar a una carrera armamentista que lo desestabilizaría y tendría el consiguiente reflejo geopolítico. La dificultad de lograr un adecuado control espacial radica, como hemos visto entre otros factores, en la profusión de satélites comerciales. Su importancia se incrementará debido a la congestión de órbitas⁶⁷.

⁶⁶ MARTÍNEZ CORTÉS, José M., «Las fuerzas...», *op. cit.*, pp. 184-198.

⁶⁷ PÉREZ GIL, Luis V., *op. cit.*, pp. 24-31.

El control espacial a su vez implica su vigilancia, protección y la capacidad de negación. La vigilancia del espacio trae consigo la detección, identificación y el seguimiento de miles de objetos en el espacio. Los satélites eran —y son— la clave de bóveda de elaborados sistemas de alerta temprana para el despliegue o lanzamiento de armas nucleares terrestres. Así, y dada su naturaleza pasiva, discreta y no intrusiva, las labores de inteligencia que se desarrollan desde ellos se plantean como cruciales.

Es más, y en atención a ello, sería lógico que un ataque nuclear se viera precedido de otro contra este tipo de sistemas para anular su capacidad de alerta temprana, si bien este principio resulta de por sí un dilema, pues, con esa anulación, se está a la vez alertando de la intención de efectuar tal ataque. Y este debería presumir un ataque total y, acertado o no, dar una respuesta acorde.

En cuanto a la protección, el hecho de disponer de medios que garanticen la eventual neutralización de amenazas constituye una exigencia para asegurar la libertad de acceso al espacio y permitir la actuación en él. Cualquier solución pasa necesariamente por un análisis de las potenciales agresiones; este debe permitir que los satélites resulten más difíciles de localizar, sean más robustos y resilientes ante potenciales ataques, impidan aproximaciones hostiles de otros satélites a su entorno o puedan ser objeto de *targeting* e incluso destruidos por armas ASAT.

Cualquiera que sea la opción elegida, al dotar de más medios de protección estamos aumentando la masa del satélite. Supone un reto tecnológico que incrementa la complejidad del sistema y que además puede mermar su capacidad operativa. Disminuir el valor estratégico de cada satélite, por su parte, requiere un mayor número de ellos para hacer una misma función e, inevitablemente, de una mayor inversión. De nuevo, la seguridad y defensa supone un sobrecoste.

El tercer componente del control espacial es la denegación del uso del espacio, que se sustancia en la capacidad de veto a ciertos sistemas espaciales, e incluso de ciertos satélites comerciales. Esta negación del espacio, al menos en las órbitas bajas, es relativamente fácil de lograr⁶⁸.

Podemos igualmente analizar estas actuaciones desde la perspectiva de la dualidad del control ofensivo/defensivo; y se po-

⁶⁸ CANO GARCÍA, Ricardo, *op. cit.*

drían desarrollar los conceptos de control ofensivo y un control defensivo del espacio. Ambos son necesarios para, por una parte, asegurar el acceso y libertad de acción; y, simultáneamente, degradar o denegar el uso de las capacidades espaciales de eventuales adversarios, desestimulando por esta vía su proceder⁶⁹.

De hecho, Estados Unidos, cuyo conocimiento de la situación espacial se puede considerar el más completo del planeta⁷⁰, ha impulsado los acuerdos con otras naciones relativas a esta actividad, y desde 2015 está haciendo mucho énfasis en el «desarrollo del control ofensivo del espacio y estrategias y capacidades de defensa activa». «El control ofensivo del espacio» es una referencia clara a los medios para mitigar las amenazas espaciales, tales como las armas ASAT.

«La defensa activa», o protección de la actividad espacial activa, supone un terreno de mayor incertidumbre. Como diría Hyten⁷¹, «debemos tener capacidades ofensivas y defensivas para responder... El único factor limitante es que no haya escombros». Esto último plantea, como veremos, riesgos adicionales.

Por ello, conviene seguir elaborando un entramado jurídico ilegalizando este tipo de acciones, aunque aceptando simultáneamente, eso sí, en nombre del realismo que la seguridad demanda, la falta de garantías de que tan relevante norma se cumpla y la facilidad para poder soslayarlas. Nada asegura hoy que una nación que disponga de la capacidad de acceder al espacio respete estas normas, llegado un cierto momento.

Es más, desde la óptica de las Fuerzas Armadas, la aplicación de la fuerza en el espacio está evolucionando de modo parecido a como históricamente lo hizo la aviación. Así, actualmente, las actividades espaciales se centran sobre todo en comunicaciones e inteligencia (de modo equivalente a los globos aerostáticos de observación en el siglo XIX, por ejemplo), pero, igual que sucedió con la aviación, están evolucionando ahora hacia la aplicación de la fuerza, primero contra la superficie y, después, en el contexto del medio espacial. Y este es el extremo que atemorizaba a Hyten.

⁶⁹ MARTÍNEZ CORTÉS, José M., «Las fuerzas...», *op. cit.*, pp. 184-198.

⁷⁰ SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime L. *et al.* «Horizonte ISDEFE: Espacio. Análisis del marco institucional y de las principales líneas de desarrollo e investigación actuales en el área Vigilancia y Seguimiento espaciales (SST)». IV Congreso I+D de la Defensa.

⁷¹ *ScientificAmerican*. «Laguerraenelespaciopuedaestasmáscercaquenunca». <https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/la-guerra-en-el-espacio-puede-estar-mas-cerca-que-nunca/>

En este sentido, las grandes potencias espaciales trabajan en nuevas generaciones de armas antisatélites (ASAT) basadas tanto en la superficie terrestre como en el espacio. Esta generación de armas —cuya demostración más reciente permite afirmar que podrían estar plenamente operativas para algunas potencias hacia el año 2025— forzará un cambio en la filosofía de uso del espacio.

Tal cosa traerá como consecuencia una modificación en los conceptos de operación y los procedimientos de los ejércitos de todos los Gobiernos, produciendo en el caso de EE.UU. un nuevo *modus operandi* que produce modificaciones en la estructura de la fuerza aérea, ejército llamado a ser, por su naturaleza, el principal actor en este medio⁷². Y es que, desde el espacio, recordémoslo una vez más, se prestan relevantes servicios a la sociedad: telecomunicaciones, situación, meteorología, reconocimiento, inteligencia, además de los propiamente militares, que deben ser protegidos.

De hecho, uno de los motivos por los que la NASA y la Fuerza Espacial de los Estados Unidos (USSF) han renovado el acuerdo que aquella organización tenía con el antiguo Mando Espacial Estratégico de la Fuerza Aérea, es conseguir la necesaria libertad de acción en el espacio. El mismo comandante de la Fuerza Espacial, Gen Jhon «Jay» Ratmon, emplea a menudo el argumento de la necesaria cooperación civil y militar, dado que con «un dominio espacial seguro, estable y accesible se sustenta la seguridad, la prosperidad y los logros científicos de nuestra nación»; y continúa afirmando que con ello «asegurará el uso pacífico del espacio, gratis para cualquiera que busque expandir su comprensión del universo». Desde el punto de vista específicamente militar, esta afirmación es la plasmación de la eterna misión de las Fuerzas Armadas de cualquier nación, adaptada, eso sí, a este nuevo medio.

Consecuentemente, los servicios basados en el espacio pueden ser transparentes o invisibles para el usuario final, pero impregnan casi todos los aspectos de las operaciones conjuntas y combinadas. Por ello, el dominio espacial debe considerarse tan rutinario como los demás dominios operativos y debe incluirse en los procesos de planeamiento militar, así como en la elaboración de los objetivos y líneas de acción de las campañas conjuntas. Del mismo modo, debería considerarse y, en caso necesario in-

⁷² CANO GARCÍA, Ricardo, *op. cit.*

tegrarse en la planificación de capacidades, el necesario apoyo a las operaciones espaciales de otros dominios⁷³.

Por tanto, y atendiendo a su vulnerabilidad y a la relevancia del espectro de funciones, el espacio se convierte en un objetivo de interés militar cuyo control confiere una ventaja global. Su lejanía y el que no se pierdan vidas humanas en los conflictos no pueden difuminar la extraordinaria gravedad de cualquier posible acción, al conferir un menor simbolismo a esta en tanto que no explícitamente sangrienta.

No obstante, la falta de letalidad de las acciones dentro del «dominio-espacio» las instala en lo que ha venido a ser denominado la «zona gris». Y es que, si por un lado el nivel de daños estructurales por un ataque al conjunto de los sistemas espaciales puede ser muy alto, se puede provocar una degradación significativa de las capacidades del oponente y, simultáneamente, un severo daño económico.

Por otro lado, el número de víctimas humanas directas resultado de la acción es nulo o muy bajo, pues esta se realiza en un medio inhabitado y puede ser fruto de una acción proyectada sin intervención directa (por ejemplo, un arma ciberdirigida). Ello dificulta la legitimidad de la respuesta fuera de la proporcionalidad física directa que puede entenderse como represalia.

Además, es difícil conocer exactamente la situación de un conflicto en el espacio exterior hasta que los efectos se presenten en los sistemas de vigilancia y seguimiento de objetos. La «niebla de la guerra» en este medio es mucho más tupida que sobre la superficie terrestre: Y las formas que pueden tomar eventuales ataques resultan mucho más silentes que en el caso de un ataque físico ordinario: *jamming*, ciberataques, uso de láseres desde tierra u otros satélites, interferencias en el sistema GPS (Noruega acusó a Rusia de ello durante unas maniobras a finales de 2018), aproximaciones con sistemas de denegación, entre otros.

Las armas cibernéticas o los ciberataques suponen en el ámbito aeroespacial una actividad de máxima rentabilidad. Es más, se puede atacar tanto a las infraestructuras críticas espaciales como —en sentido descendente— desde plataformas espaciales, atacar infraestructuras críticas de la superficie terrestre y, a través de estas, incluso inutilizar el conjunto del sistema que apoyan.

⁷³ MARTÍNEZ CORTÉS, José M., «Las fuerzas...», *op. cit.*, pp. 184-198.

Además, existe, como ya se ha señalado, una clara incertidumbre en cuanto a lo sucedido; y con ello una evidente dificultad para saber si se trata o no de un fallo del mismo o si realmente es un acto intencionado; y más aún con vistas a su atribución.

Estas circunstancias sitúan, a priori, estas acciones en un ámbito más propio del contexto de «guerra política» o, peor aún, como un paso preliminar, y hasta cierto punto razonable, además de la amenaza que encarna, de un eventual conflicto armado⁷⁴.

Con la componente espacial presente, las operaciones militares, ya sean secuenciales o integrales, están llamadas a ser operaciones multidominio. Así, puede suceder que vencer en el espacio no suponga vencer; pero lo que está claro es que ser derrotado en el espacio supone perder⁷⁵. Y eso reclama un esfuerzo de previsión acorde. Y es, de hecho, lo que ha movido a la OTAN a declarar el espacio como un nuevo dominio operacional.

La respuesta que puede darse desde un Estado de derecho ante un reto de semejante naturaleza es compleja. Esta, además, habría de implementarse sobre quien proclama su inocencia y niega los hechos. Es más, aunque todo apunte o se intuya una actuación culposa, resulta tecnológicamente muy dificultoso aportar pruebas concluyentes de tal autoría. Y todo ello cuando el uso de las capacidades ofensivas de un Estado democrático está sometido a la legislación internacional y sujeto a control nacional e internacional.

Por ello, los analistas menos beligerantes —o afines al *soft law scenario*— defienden que los países no están interesados en este tipo de actuaciones ante la eventualidad de perder sus propios satélites como represalia. Además, el uso de medidas «cinéticas» de destrucción podría generar relevantes cantidades de basura espacial —uno de los grandes problemas actuales del espacio, pues contamina las órbitas y puede generar graves daños— e iniciar una reacción en cadena, una suerte de «derby de demolición», y con ello dar origen al temido efecto Kessler⁷⁶, que haga hasta inútil lanzar más satélites. La presencia de basura espacial

⁷⁴ CANO GARCÍA, Ricardo, *op. cit.*

⁷⁵ MARTÍNEZ CORTÉS, José M., «Perspectiva...», *op. cit.*, p. 199.

⁷⁶ Hoy conocido como *síndrome de Kessler*, la teoría postulaba que el espacio sobre la Tierra algún día podría llegar a estar tan contaminado, tanto con satélites activos como con los detritos de exploraciones espaciales pasadas, que podría hacer que los esfuerzos espaciales futuros sean más difíciles, si no imposibles.

no solo dañaría a los satélites, sino que haría inexplorables los espacios satelitales.

Así, al igual que sucedió en la Segunda Guerra Mundial, en la que ninguno de los países empleó armas químicas, poniéndose de acuerdo dentro de la dialéctica que es la guerra, algo similar sucede con los ataques a los satélites. Y es que se conformaría una dinámica extrema *lose-lose* por la vulnerabilidad de los satélites, de modo que este daño se transmitiría a todas las cadenas en tierra. Esto no quita —y conviene subrayarlo nuevamente— que pudiera aparecer un tercer agente con interés por el caos derivado de algo así.

Pero también la existencia de organizaciones terroristas y criminales, de terceros sin intereses espaciales actualmente y que podrían dotarse de estas capacidades —al menos a nivel ciber— hace adecuado especular estratégicamente sobre esta eventualidad.

Al mismo tiempo y en esta lógica implícita, tampoco se dispone de ningún instrumento jurídico que se refiera al uso del espacio —como sucede con el binomio órbita-espectro— y que sirva, como se ha visto, para imponer una estricta y verificable prohibición de armas en la «niebla densa del uso ilícito del espacio». Estos tratados tienen márgenes que permiten a los Estados poderosos eludir su aplicación o, por el contrario, tratar de imponerla, dependiendo de sus intereses.

Es cierto que cada vez son más las voces en el Comité para el Uso Pacífico del Espacio, tal y como se recoge en el resumen de sesiones del año 2018, que, pese a sus dificultades, mencionan la necesidad de mecanismos de control en este ámbito.

Tampoco parece suficiente disponer de un código de buenas prácticas en el espacio, como el que la UE propone en línea intelectual con los Documentos de Viena sobre Medidas de Confianza y Seguridad, por más que vaya en la dirección adecuada. Ello requeriría más transparencia y construcción de confianza entre las naciones con capacidad espacial, en un sector gobernado por la tecnología y la industria. Por ello, esta opción se ve rechazada por las potencias revisionistas, que, en el supuesto de aceptarla, perderían un elemento que les permite resolver la desventaja con la que se mueven en el ámbito espacial.

Este, no obstante, sería un primer paso hacia unos acuerdos cada vez más urgentes y perentorios. Tal y como proclama la Estrate-

gia de Seguridad Aeroespacial Nacional, para hacer frente a retos de tal magnitud y coordinar una presencia creciente es esencial la cooperación internacional en todas las áreas, de modo que se asegure la interconectividad, interoperabilidad y desarrollar acuerdos técnicos para intercambiar, cuando menos, información de vigilancia espacial.

Este acuerdo no se ha alcanzado aún por las dificultades técnicas que implica, pues, partiendo de la indefinición del catálogo real de amenazas⁷⁷, cuyo ejemplo más gráfico lo representan las armas antisatélite —algo, como se ha visto, nada fácil de catalogar—, debería incluir, entre otras, las armas antisatélites instaladas en tierra, como las que China probó en 2007. No viene mal recordar, *nolens volens*, que el desencuentro entre China y Estados Unidos, precisamente, se fue activando desde el momento de aquella primera prueba, lo que de esta manera puede decirse que supuso un hito en las relaciones entre ambas potencias espaciales.

En fin, mucho se especula sobre pruebas e investigación en materia ASAT —incluyendo pruebas de misiles— realizadas por potencias revisionistas como Rusia o China. Incluso India, que rivaliza con China como la gran potencia de Asia-Pacífico, ha realizado pruebas exitosas de este tipo de armas en 2019, incorporándose a tan selecto club.

Además, Estados Unidos —que sí ha apoyado el código de conducta antes citado, y que, como hemos visto, desactivaría la menor capacidad en este ámbito de los Estados revisionistas— dispone de una notable ventaja en el tablero espacial, que este tipo de tratados restringiría, sin conferirle ninguna ventaja real frente a actores que podrían limitarse a su mero cumplimiento formal.

Este país, a la vista de esta situación, desclasificó en 2013 su Programa de Conciencia Situacional del Espacio Geosíncrono (GSSAP en inglés), capaz de monitorizar órbitas altas de la Tierra y hasta de relacionarse con otros satélites para inspeccionarlos de cerca. Tal gesto se podría interpretar también como una suerte de aviso a navegantes, en previsión de eventuales ataques contra sus instalaciones espaciales⁷⁸.

⁷⁷ «Europe, Space and Defence. From "Space for Defence to Defence of Space"». *ESPI full report 72*, febrero 2020. <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports>

⁷⁸ *ScientificAmerican*. «Laguerraenelespaciopuedeestarmáscercaquenunca». <https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/la-guerra-en-el-espacio-puede-estar-mas-cerca-que-nunca/>

Por su parte, el ya aludido comandante de la Fuerza Espacial de EE.UU. señaló la necesidad de la cooperación internacional para disponer de una auténtica y completa Conciencia Situacional (SSA), tal y como se puede deducir del resultado de los ejercicios conjuntos-combinados de SSA, impulsados por la USAF y ahora por la USSF, en los que cada vez cobran más sentidos las soluciones de Conciencia Espacial «federadas».

Es más, y por señalar la dualidad implícita de toda la tecnología, se puede referir que EE. UU. podría utilizar los sistemas de defensa de misiles balísticos, sus aviones espaciales de largo alcance X-37B e incluso el referido programa GSSAP como armas para la guerra espacial⁷⁹. Y es que, básicamente, la tecnología empleada en algunas ocasiones procede de experiencias en el terreno espacial, de régimen suborbital, y en otras muchas es plenamente dual, y de aplicación tanto a regímenes aéreos como a regímenes orbitales.

No obstante, y en esa dialéctica intrínseca al enfrentamiento, una de las vías para reducir el riesgo ante el empleo de las armas ASAT a corto-medio plazo, como señala el coronel Calvo Albero, podría ser la progresiva miniaturización de los satélites, lo cual podría convertir los esfuerzos por destruirlos, no solo tecnológicamente muy complejos, sino probablemente antieconómico. En algunos casos ni siquiera hace falta un lanzamiento espacial, y los microsátélites pueden ser lanzados desde un caza a gran altura, como sucede con el programa español Pilum. Además, aunque un sistema ASAT pudiese interferir, destruir o retirar la mayor parte de una flota de microsátélites, probablemente su reposición pudiera ser un gasto asumible⁸⁰.

En fin, en la cumbre de la OTAN de 2018, esta organización acordó desarrollar la «Política Espacial de la Alianza». La Alianza Atlántica considera expresamente que el uso de las capacidades espaciales es imprescindible para las funciones de mando y control de las operaciones y como apoyo en la toma de decisiones, por lo que es esencial en la política defensiva y de disuasión. En palabras de su secretario general, «el espacio es parte de nuestra vida diaria. Puede aprovecharse con fines pacíficos, pero también agresivamente. Los satélites pueden ser bloqueados, pirateados o atacados. Las armas antisatélite pueden inutilizar comunicaciones y servicios de los que depende nuestra sociedad».

⁷⁹ *Scientific American*, op. cit.

⁸⁰ CALVO ALBERO, José Luis, op. cit., pp. 54-57.

El efecto más reciente en el desarrollo de la referida Política Espacial de la OTAN fue su declaración a finales de 2019 como un nuevo dominio operacional. El impacto de tal declaración en las principales naciones aliadas con capacidades espaciales —y muy especialmente en EE.UU. y Francia— ha supuesto la reafirmación de los programas de establecimiento por sus respectivos mandos espaciales, así como el impulso a las capacidades de protección de activos y neutralización de amenazas de la mayor parte de los países del TOP-10 del dominio espacial.

En 1947, la Fuerza Aérea de Estados Unidos se liberó del Ejército de Tierra para convertirse en un ejército independiente y dotado de una lógica propia, tras haber tecnificado el espacio aéreo. Lo mismo sucede hoy con la Fuerza Espacial: la confirmación del espacio como un dominio operacional ha supuesto el espaldarazo definitivo a la creación de un servicio independiente, el sexto, por más que se sirva de los medios y procedimientos previos del Mando Estratégico (USSTRATCOM) y del apoyo e infraestructura fundacional.

Así, en 2018 Estados Unidos creó la Space Force como una sexta rama de las Fuerzas Armadas. Esto va más allá de lo que fue el Mando Unificado Espacial, creado en 1985 e integrado en 2002 como un mando componente en el Mando Estratégico. Su propósito es *organizar, entrenar y equipar a las fuerzas espaciales para proteger los intereses estadounidenses y de sus aliados en el espacio y para proporcionar capacidades espaciales a otras ramas militares estadounidenses*. Y su foco se centrará en las operaciones espaciales.

Para EE.UU. es así, y formalmente, un eje más de las operaciones militares. Este se encuentra dotado de unos 15000 efectivos y un presupuesto de 15400 millones de dólares para 2021. Previamente, en 2017 publicó su Estrategia de Seguridad Nacional, donde el espacio ocupaba un lugar relevante; y posteriormente, en 2020, una Estrategia Nacional de Seguridad para el Espacio, que es una renovación de la anterior edición de 2010, en la que, coherentemente, este sexto ejército se presenta como centro de gravedad del dominio espacial y se le dota de una mayor voluntad de permanencia.

Moscú y Pekín mostraron su intención de vetar el proyecto, en el foro de UNNOSA (la Oficina ONU de Asuntos Espaciales), argumentando que en el caso de implementarse contravenía lo establecido en el Tratado sobre el uso pacífico del espacio ultra-

terrestre firmado en 1967 y también suscrito por EE.UU., pues este prohíbe el empleo de armas de destrucción masiva desde el espacio, lo que se traduce como su militarización. Rusia, además, como país que mantenía la exclusividad de vuelos tripulados en el contexto de la Estación Espacial Internacional (ISS) presionó con la negativa de renovar un contrato con la NASA para el traslado de astronautas de EE.UU. a la Estación Espacial Internacional⁸¹.

Se sabe que este país, por su parte, ha tenido una fuerza espacial en los periodos que van de 1992 a 1997 y de 2001 a 2011, pero ahora este mando es parte de las Fuerzas Aeroespaciales Rusas, o VKS, que incluyen las aéreas. Así mismo, China tiene un departamento de Sistemas Espaciales en sus Fuerzas Armadas, y una Fuerza de Apoyo Estratégico con estos fines⁸².

En Europa, Francia había anunciado en 2019 la creación del Mando Espacial dentro de la Fuerza Aérea con la idea de transformar esta. Inicialmente se pretendía que este reemplazase al mando espacial conjunto, y asignar unos 700 millones de euros hasta 2025, que se sumaban a los 2600 ya concedidos. Esto permitía que se pudieran introducir paso a paso las funcionalidades necesarias para afrontar las nuevas amenazas⁸³.

La realidad superó estas expectativas, pues la ministra de las Fuerzas Armadas, Mme. Parly, con el apoyo del presidente de la República Francesa, Emmanuel Macron, decidió en 2019 la creación de un Mando Militar del Espacio, dentro de la estructura del Estado Mayor del Ejército del Aire, ejército que en el año 2020 ha sido redominado como Ejército del Aire y del Espacio, dentro del cual el CDE (Comand de l'Espace, en acrónimo francés) tiene una nueva y relevante posición. Así, el apoyo directo de la ministra Parly y un ambicioso plan de implantación llevarán al CDE a disponer de los referidos 700 M€ suplementarios de aquí al año 2025. Ello servirá para reforzar los medios de vigilancia y dotar de capacidades de autodefensa a las actividades en y desde el espacio; todo dentro de los 3600 M€ previstos en la Ley de Programación Militar para la Defensa Espacial.

En el caso de España, para el Ejército del Aire, la ministra de Defensa, Margarita Robles, ya ha abierto la puerta a un proceder si-

⁸¹ RENGEL, Carmen. «Las grandes potencias pelean por el control militar del espacio». *Huffingtonpost*, 29/8/2019. https://www.huffingtonpost.es/entry/las-grandes-potencias-pelean-por-el-control-militar-del-espacio_es_5d6638efe4b022fbce335ee

⁸² VÁZQUEZ CARNEIRO, Ignacio Juan, *op. cit.*

⁸³ MARTÍNEZ CORTÉS, José M., «Las fuerzas...», *op. cit.*, pp. 184-198.

milar. No obstante, para poder ir más allá de lo nominal, y seguir los ejemplos de los casos norteamericano y francés ya vistos, las nuevas funciones asignadas a las Fuerzas Armadas, respecto de este nuevo orden en el uso de las capacidades espaciales, deberían acompañarse presupuestariamente con un plan integral que soportase este inevitable cambio, al que el nuevo dominio operacional nos aboca.

Referir que en 2018 el jefe de Estado Mayor del Ejército del Aire aprobó la directiva para implantar la capacidad de vigilancia espacial en este ejército, en este caso dando el paso necesario con la creación del Centro de Operaciones de Vigilancia Espacial (COVE). Mientras, el Departamento de Seguridad Nacional ha aprobado también la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional con el objetivo de proteger las infraestructuras españolas en el espacio aéreo y ultraterrestre, así como el Consejo Nacional de Seguridad Aeroespacial, con el objetivo de garantizar la seguridad del espacio aéreo terrestre y ultraterrestre.

Su labor se centrará principalmente en la libertad de acción y protección ante denegaciones de empleo de las actuales capacidades espaciales nacionales, hoy día empleadas tanto para la observación terrestre como para las comunicaciones —esta última en proceso de renovación a partir del año 2024 por una nueva generación SATCOM—, y todo ello dentro de un marco de obtención basado en la colaboración público-privada con la operadora de servicios estratégicos para la seguridad y defensa, HISDESAT, propietaria de los activos espaciales, los satélites y sus estaciones de seguimiento y control, de las referidas capacidades⁸⁴.

El Ejército del Aire cuenta para tales cometidos con el Centro de Operaciones de Vigilancia Espacial (COVE), cuyo objetivo es predecir los riesgos espaciales que puedan afectar a España y ponerlo en conocimiento de la cadena de decisión para reducir al máximo sus efectos. El COVE es responsable de la vigilancia de la situación espacial y proporciona servicios en apoyo al resto de operaciones que llevan a cabo las Fuerzas Armadas. Dentro del despliegue de sensores de que se vale y valdrá el COVE para sus cometidos, la última aportación, desde el entorno de la cooperación interministerial que se mantiene con otros organismos, es el radar *S3TSR*, situado en Morón de la Frontera.

⁸⁴ Plan Director de Capacidades Espaciales. DGAM. Ministerio de Defensa, 2015.

Además, el COVE ha dispuesto del uso de un primer radar demostrador que implantó la Agencia Espacial Europea (ESA) en la estación radionaval de Santorcaz (Madrid), para el seguimiento y detección de objetos en órbitas bajas (200 a 2000 kilómetros), y tiene acceso a los datos que proporcionan los telescopios de diversos organismos y entidades privadas y científicas en Puertollano (Ciudad Real), Montsec (Lérida), el Teide (Tenerife) y San Fernando (Cádiz)⁸⁵.

Conclusiones

El espacio exterior es una realidad en la vida cotidiana de las sociedades. Pese a la discreción con la que su actividad se desarrolla y a su carácter transparente para el usuario, condiciona una parte significativa de la actividad económica de nuestras sociedades.

De origen político-militar, su conquista se gestó durante la Guerra Fría, como parte de la competición estratégica entre las superpotencias. El esfuerzo económico resultado de esta rivalidad sentó las bases del actual estadio de desarrollo tecnológico.

Igualmente, el conocimiento es poder. Y estando gran parte del conocimiento disponible en la red, la clave se sitúa en su explotación, en la tecnología que lo hace posible. Y el espacio exterior es una pieza clave de la arquitectura de este sistema. La matriz se basa en las TIC y va a generar un escenario geopolítico inédito⁸⁶.

El espacio así concebido, y en su fusión con el mundo ciber, se transforma en neuroespacio. Ello se debe a la elevada tecnificación de la práctica totalidad de la infraestructura asociada. Ello también tiene como consecuencia que una acción ofensiva pueda afectar al conjunto como resultado de los efectos en cadena. Los satélites son objetos muy vulnerables y también de alto valor.

Las operaciones militares del siglo XXI son operaciones multidominio, en las que el espacio se plantea como esencial. Y es clave

⁸⁵ BLANCO, Marta. «España busca su sitio en el espacio». *La Razón*, 14/4/2020. <https://www.larazon.es/espana/20200414/5qlq2it7vngwxfef7asxzoc2ki.html>

⁸⁶ GIRARDI, Enzo. «Geopolítica de la Inteligencia Artificial. Capitalismo de vigilancia, democracias algorítmicas y un horizonte de Estados tecno-colonizados». *El Correo de la diáspora latinoamericana*. <http://www.elcorreo.eu.org/Geopolitica-de-la-inteligencia-artificialCapitalismo-de-vigilancia-democracias-algoritmicas-y-un-horizonte-de-Estados-tecno-colonizados?lang=fr>

para el desarrollo de la Revolución de los Asuntos Militares, pues permite la vigilancia, seguimiento y control, así como el apoyo al resto de operaciones y actuaciones en la Tierra. Todas las operaciones militares occidentales posteriores a la Guerra Fría se han servido del espacio, mucho antes de considerarlo un dominio operacional. Y hoy, ser derrotado en este dominio es ser derrotado en términos absolutos.

El espacio, ligado desde sus orígenes a las armas nucleares, se instala, por su lejanía y poca visibilidad, en lo que ha sido denominado como «zona gris», y hace posible un enfrentamiento discreto en este dominio en un momento de reordenación geopolítica. El carácter no sangriento de una acción en este ámbito encubre su naturaleza extremadamente dañina, dificultando la respuesta y haciendo difícil probar la atribución concreta de un eventual ataque.

En fin, estamos asistiendo a un proceso de cambios en el orden internacional en el que aparecen nuevos actores y amenazas, mientras la vuelta de la competencia entre Estados está tomando formas no demasiado convencionales.

Así, China utiliza el espacio para revisar su estatus como potencia. Su presencia en este es paralela, también como potencia descubridora, en ambos espacios polares simultáneamente. El programa Chang'e —nombre de una diosa de la Luna en la mitología china— de exploración robótica ha lanzado cinco módulos con los que se ha posado por primera vez en la cara oculta de la Luna o traído muestras de este astro (capacidad de la que hasta ahora solo habían dispuesto Rusia y EE.UU.). China es el tercer país que logra tener un programa tripulado, India será el cuarto país previsiblemente en 2021. El objetivo inicial es preparar la llegada de sus nacionales a la Luna.

El Tratado del Espacio Exterior de 1967 es la pieza fundamental del marco jurídico. Este —que tuvo entre sus fuentes de inspiración el Tratado Antártico de 1959, auspiciado por el presidente Eisenhower y que consiguió dejar este continente fuera de la Guerra Fría— no ha sido capaz de ser la fuente para un desarrollo regulatorio adecuado. El marco legislativo, que desde 1983 no ha experimentado modificaciones relevantes, es insuficiente para los cambios que está experimentando el espacio exterior.

La base más sólida del sistema jurídico que hoy regula el funcionamiento de este *global common* es el binomio órbita-espectro,

cuyo control lo ejerce la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La aparición de lo que ha venido a ser denominado *NewSpace*, representación gráfica de la también llamada *cuarta era espacial* o *era de la globalización*, o *democratización del espacio*, con un gran incremento en el número de actores globales, en su mayoría comerciales, y la posibilidad de ingentes beneficios, ha venido a desbordarlo definitivamente.

Así, el número de satélites operativos se está incrementando; por ello se precisan normas, infraestructuras y organismos que atiendan legítimamente a la regulación de su conjunto. Por ejemplo, la regulación internacional referida a lanzamientos está dirigida a agentes gubernamentales y no tanto a actores comerciales y privados, que de esta manera precisan que su actividad se encuentre respaldada por un Estado. Las nuevas operaciones espaciales también requieren de un nuevo marco estratégico-operacional, que es suplido mediante normativas nacionales que, a la postre, pueden suponer una confrontación entre los intervinientes, toda vez que estos legitiman su proceder en sus propias fuentes nacionales.

El ecosistema espacial no dispone de modelo de gestión del tráfico espacial (STM, en acrónimo sajón), semejante al ATM (sistema de gestión del tráfico aéreo), pero muy diferente tanto en términos legislativos como en la inexistencia de organismos que centralicen la gestión, más allá de las competencias de la UIT. Y es que, al aumentar el número de satélites, se produce un incremento en el riesgo de que se produzcan conflictos, riesgo que se verá acrecentado por la vulnerabilidad de estos objetos y una cada vez mayor presencia de basura espacial.

Ello obliga a redoblar esfuerzos para disponer de un marco regulatorio o, cuando menos, una serie de acuerdos que eleven el nivel de compromiso de los Gobiernos, hoy parapetados tras la ambigüedad legal de los Tratados de Naciones Unidas. Una normativa insuficiente es la excusa perfecta para hacer lícito el proceso de militarización del espacio.

Por ello es prioritario lanzar un proceso de negociación multilateral, ya *ex novo*, ya teniendo como base acuerdos *ad hoc* —como los Acuerdos Artemisa— y desde este punto promover su expansión. El principio de realidad no puede ignorarse y, por el momento, el peso de Occidente es el mayor en el espacio. Pero para lograr un acuerdo global es preciso fomentar antes la confianza y transparencia en las actividades espaciales.

La pugna es, así, metapolítica, esto es, por fijar el marco en que se va a desarrollar el proceso. El derecho es una herramienta de la que se abusa en unos enfrentamientos que, recordémoslo, no son jurídicos sino políticos. La política es la que da paso al derecho internacional.

El problema son los precedentes. Históricamente, los regímenes de control de armas han reflejado de facto las relaciones de poder existentes, lo que dificulta su revisión. Los acuerdos de control de armas de la Guerra Fría entre las superpotencias eran acuerdos entre iguales, como sucede con muchos acuerdos multilaterales. Sin embargo, algunos otros regímenes de control de armas, especialmente los referidos a la no proliferación, han incluido restricciones sobre las partes más débiles que los convierten en desiguales. Lo contrario no se ha visto⁸⁷.

En fin, como sostenía Konrad Adenauer, «todos vivimos bajo el mismo cielo, pero ninguno tiene el mismo horizonte». Cuando, a través de complejas redes de mando, control y comunicaciones, los jefes de Estado pueden volver a situarse a la cabeza de sus ejércitos —como en España hiciera por última vez Carlos V en la batalla de Mülhberg, momento inmortalizado en el célebre cuadro de Tiziano—, el carácter cíclico y recurrente de la historia parece haberse completado de nuevo al devolver la guerra del siglo XXI a las formas propias del siglo XVI; eso sí, de la mano del nuevo teatro de operaciones: el dominio operacional del espacio exterior.

Bibliografía

ALBISU, Javier. «Europa quiere que su dimensión “geopolítica” alcance al espacio exterior», 21/1/2020, 16:37.

ÁLVAREZ CALDERÓN, Carlos Enrique; BENAVIDES GONZÁLEZ, Eliot Gerardo; RAMÍREZ PEDRAZ, Yesid Eduardo. «CAPÍTULO II. Geopolítica del espacio exterior: dominio estratégico del siglo XXI para la Seguridad y Defensa». En: VV.AA. *Mirando hacia las estrellas: una constante necesidad humana: el espacio exterior: una oportunidad infinita para Colombia*. Vol. 1. <https://esdeguelibros.edu.co/index.php/editorial/catalog/book/51>

ARENDT, Hannah (2005). *Sobre la violencia*. Madrid: Anaya.

⁸⁷ PIKE, John. «The military uses of outer space». *SIPRI Yearbook 2002*. Stockholm International Research Institute (SIPRI). www.sipri.org/yearbook/2002/11

- ARON, Raymond (1963). *Guerra y paz entre las naciones*. Madrid: Revista de Occidente.
- BAGUEHOT, Walter (1956). *Physic and Politics*. Boston: Beacon Press.
- BAUMAN, Zygmunt (2002). *Modernidad líquida*. Buenos Aires: FCE.
- BEJERANO, Pablo G. «La inteligencia artificial, ingrediente de la geopolítica». <https://blogthinkbig.com/inteligencia-artificial-ingrediente-geopolitica>
- BLANCO, Marta. «España busca su sitio en el espacio». *La Razón*, 14/4/2020. <https://www.larazon.es/espana/20200414/5qlq2it7vngwxfef7asxzoc2ki.html>
- BLASCO, Emili J. «Carrera por los recursos espaciales: de la minería al control de rutas». *Revista Global Affaire Journal. Center for Global Affairs & Strategic Studies*. Facultad de Derecho-Relaciones Internacionales. Universidad de Navarra, n.º 2, marzo 2020, pp. 34-39.
- CALVO ALBERO, José Luis. «El espacio exterior como ámbito estratégico». *Revista Española de Defensa*, febrero 2020, núm. 369, pp. 54-57. <https://www.defensa.gob.es/Galerias/gabinete/red/2020/02/p-54-57-red-369-espacio.pdf>
- CANO GARCÍA, Ricardo. «Uso militar del espacio. El espacio como nuevo ámbito de batalla». *Nippon.com*, 10/12/2018. <https://www.nippon.com/es/in-depth/a06101/>
- Congreso de los Estados Unidos. *2019 Report to Congress of the U.S.-China Economic and Security review Commission*. One hundred sixteenth Congress. First session. November 2019. <https://www.uscc.gov/sites/default/files/2019-1-1/2019%20Annual%20Report%20to%20Congress.pdf>
- CASTRO TORRES, José Ignacio. «La astropolítica en un mundo pospandémico». *Instituto Español de Estudios Estratégicos*. DIEEEA 17/2020, 20 de mayo de 2020.
- «Europe, Space and Defence. From "Space for Defence to Defence of Space"». *ESPI full report 72*, febrero 2020. <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports>
- FERREIRA-SNYMA, A. «Selected legal challenges relating to the military use of outer space, with specific reference to article IV of the outer space treaty». *Potchestroom Electronic Law*, 2015. <http://d.doi.org/10.4314/pelj.v.18i3.02>
- FRIEDMAN, Thomas L. *La Tierra es plana. Breve historia del mundo globalizado del siglo XXI*. Madrid: Martínez Roca.

- GILLI, Andrea. «Preparing for “NATO-mation” the Atlantic Alliance towards the age of artificial intelligence». *Colegio de Defensa de la OTAN*. NDC policy brief n.º 4, febrero 2019.
- GIMÉNEZ CHUECA, Iván. «La militarización del espacio, ¿hacia una carrera de armas en la atmósfera? Libertad de acción más capacidad y por tanto más que perder». *Esglobal*, 28 julio 2020. <https://www.esglobal.org/la-militarizacion-del-espacio-hacia-una-carrera-de-armas-en-la-atmosfera/>
- GIRARDI, Enzo. «Geopolítica de la Inteligencia Artificial. Capitalismo de vigilancia, democracias algorítmicas y un horizonte de Estados tecno-colonizados». *El Correo de la diaspora latinoamericana*. <http://www.elcorreo.eu.org/Geopolitica-de-la-inteligencia-artificialCapitalismo-de-vigilancia-democracias-algoritmicas-y-un-horizonte-de-Estados-tecno-colonizados?lang=fr>
- GÓMEZ-ELVIRA, Javier. «Vuelta a la exploración del espacio». *Revista Global Affaire Journal. Center for Global Affairs & Strategic Studies*. Facultad de Derecho-Relaciones Internacionales. Universidad de Navarra, n.º 2, marzo 2020, pp. 14-21.
http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/10/Distribution_of_space_debris_around_Earth
- HOWARD, Michael (1987). *Las causas de los conflictos y otros ensayos*. Madrid: Ediciones Ejército.
- KUTT NEBRERA, Alexander. «La importancia de dominar los *global commons* en el siglo XXI». *Instituto Español de Estudios Estratégicos*. DIEEEM 29/2012, 12 de noviembre de 2015.
- MARTÍNEZ CORTÉS, José M. «Las fuerzas aéreas y el espacio: un desafío de cooperación internacional». *Revista de aeronáutica y astronáutica*, núm. 891, marzo 2020, pp.184- 198.
- «Perspectiva de la universidad y la industria». *Revista de aeronáutica y astronáutica*, núm. 891, marzo 2020.
- MONTES PALACIO, Manuel. «CubeSats hacia los planetas». *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*, diciembre 2020, pp. 990-993.
- Página oficial de la Belt and Road Initiative: <https://www.beltroad-initiative.com/space-silk-road/>
- 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.

PEREIRA, Mario. «Marcos internacionales relevantes para la extracción y uso de recursos espaciales». *Revista Global Affaire Journal. Center for Global Affairs & Strategic Studies*. Facultad de Derecho-Relaciones Internacionales. Universidad de Navarra, n.º 2, marzo 2020, pp. 41-55.

PÉREZ GIL, Luis V. «La militarización del espacio: el desarrollo de satélites inspectores por EE.UU. y Rusia». *Revista Global Affaire Journal. Center for Global Affairs & Strategic Studies*. Facultad de Derecho-Relaciones Internacionales. Universidad de Navarra, nº 2, marzo 2020.

—«La retirada de los Estados Unidos del Tratado de cielos abiertos». <https://ullderechointernacional.blogspot.com/2020/06/la-retirada-de-los-estados-unidos-del.html>

PÉREZ GÓMEZ, Eliseo. «Las fuerzas aéreas y el espacio: desafíos, papel a desempeñar. Oportunidades para la cooperación internacional». *Revista de aeronáutica y astronáutica*, núm. 891, marzo 2020, p. 205.

PIKE, John. «The military uses of outer space». *SIPRI Yearbook 2002*. Stockholm International Research Institute (SIPRI). www.sipri.org/yearbook/2002/11

Plan Director de Capacidades Espaciales. DGAM. Ministerio de Defensa, 2015.

RENGEL, Carmen. «Las grandes potencias pelean por el control militar del espacio». *Huffingtonpost*, 29/8/2019. https://www.huffingtonpost.es/entry/las-grandes-potencias-pelean-por-el-control-militar-del-espacio_es_5d6638efe4b022fbceb335ee

RODRIGO, Victor. «Luces y sombras del sector espacial: así está influyendo la pandemia». *El Mundo*, 22.11.2020. <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2020/11/22/5fb645a5fc6c83fa058b45a5.html>

ROJO, Ángel. «La carrera espacial por el control del dominio donde se desarrollará la nueva guerra».

<https://www.zona-militar.com/2020/07/16/la-carrera-espacial-por-el-control-del-dominio-donde-se-desarrolla-la-nueva-guerra/>

ROSALES, Osvaldo. «Las claves del conflicto económico China-Estados Unidos». *Flacso*, agosto 2018. <http://www.flacsochile.org/slider/las-claves-del-conflicto-economico-china-estados-unidos>

RUIZ DOMÍNGUEZ, Fernando. «Neo-Geoestrategia sin GNSS». *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, julio 2014.

- Scientific American*. «La guerra en el espacio puede estar más cerca que nunca». <https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/la-guerra-en-el-espacio-puede-estar-mas-cerca-que-nunca/>
- SAHAGÚN, Felipe. «Introducción». En: *Panorama estratégico 2019*. Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- SÁNCHEZ, Carlos. «La geopolítica del 5G se estrena con Huawei: la guerra del siglo XXI». *Diario El Confidencial*, 21/5/2019. https://www.elconfidencial.com/economia/2019-05-21/geopolitica-5g-huawei-veto-google_2012074/
- SÁNCHEZ DE LARA, Juan P. «La defensa del espacio: un desafío de cooperación multinacional entre fuerzas aéreas». *Revista de aeronáutica y astronáutica*, n.º 891, marzo 2020, p. 207.
- SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime Luis. DÍEZ-BREZMES. «Utilización de vehículos suborbitales tripulados en el ámbito militar». Congreso Nacional de i+D de la Defensa, octubre 2017.
- SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime Luis, «Proyectos piloto Galileo-PRS: la evolución y estado actual de los proyectos piloto Galileo-PRS, a bordo del Buque de Investigación Operativa "Hespérides"». Ponencia para el VI Congreso de I+D para la Defensa.
- «Retirado el "safety car" la carrera espacial continúa». *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*, n.º 848, noviembre 2015, p. 978.
 - «Hacia una estrategia de seguridad aeroespacial». Ponencia para el III Congreso ADESUD, noviembre 2016.
- SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime Luis; DÍEZ-BREZMES. «Utilización de vehículos suborbitales tripulados en el ámbito militar». Congreso Nacional de i+D de la Defensa, octubre 2017.
- SÁNCHEZ MAYORGA, Jaime Luis *et al.* «Horizonte ISDEFE: Espacio. Análisis del marco institucional y de las principales líneas de desarrollo e investigación actuales en el área Vigilancia y Seguimiento espaciales (SST)». IV Congreso I+D de la Defensa.
- SATO, Taro. «The Case for US-Japan Space Cooperation in the Indo-Pacific». *The Diplomat*, 16/6/2020. <https://thediplomat.com/2020/06/the-case-for-us-japan-space-cooperation-in-the-indo-pacific/>
- VALDIVIA CERDA, Victoria. «Hipótesis de conflicto en el espacio ultraterrestre. De la metageopolítica a la inteligencia». ANEPE, Centro de Investigación y Estudios Estratégicos, cuaderno de trabajo n.º3, 2020. <https://anepe.cl/wp-content/uploads/2020/12/Cuaderno-de-Trabajo-N%C2%B03-2020.pdf>

VANCE, A. (2016). *Elon Musk: el empresario que anticipa el futuro*. Península.

VÁZQUEZ CARNEIRO, Ignacio Juan. «La última frontera: el espacio exterior». <https://codigopublico.com/a-fondo/la-ultima-frontera-el-espacio-exterior/>

WOLFF, Johannes M. «'Peaceful uses' of outer space has permitted its militarization— does it also mean its weaponization?».

Capítulo quinto

La regulación de las actividades espaciales como estrategia de seguridad y crecimiento nacional

Elisa Celia González Ferreiro¹

«La ley no ha sido establecida por el ingenio de los hombres, ni por el mandamiento de los pueblos, sino que es algo eterno que rige el Universo con la sabiduría del imperar y del prohibir»

Marco Tulio Cicerón

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad, basándonos en los beneficios, riesgos y amenazas que presenta la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional de 2019, el estudio detenido de las disposiciones del Tratado del Espacio de 1967, así como aquellas directrices encaminadas a mantener la seguridad de las actividades espaciales de los Estados y sus nacionales. Asimismo, se analizarán determinadas legislaciones nacionales a fin de señalar que aspectos de las actividades espaciales deben regularse, ya que internacionalmente son consideradas como ultrapeligrosas, pero que al mismo tiempo son una fuente importante de crecimiento nacional. En este sentido, se ve necesaria la aprobación de una ley sobre actividades espaciales en España y la conveniencia de una Agencia Espacial Nacional, tomando como base la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional de 2019.

¹ Doctora en Derecho por la Universidad Complutense de Madrid, Presidenta de la Asociación Española de Derecho Aeronáutico y Espacial, Copresidenta de la Sección de Derecho Aeronáutico y Espacial del Ilustre Colegio de Abogados de Madrid, vicepresidenta de la Asociación Foro Internacional de la Mujer en Seguridad, Defensa y Emergencias, y directora del Observatorio Jurídico Aeroespacial AEDAE GIESA-BIOLAW.

Palabras clave

Estrategia, regulación, actividades espaciales, seguridad, agencia espacial.

Regulating space activities such as national security and growth strategy

Abstract

The purpose of this work is, based on the benefits, risks and threats presented by the 2019 National Aerospace Security Strategy, the careful study of the provisions of the 1967 Space Treaty as well as those guidelines aimed at maintaining the security of the space activities of States and their nationals. Certain national laws will also be analysed to indicate that aspects of space activities should be regulated, as they are internationally regarded as ultra-hazardous, but at the same time an important source of national growth. In this sense it is necessary to approve a Law on Space Activities in Spain and the desirability of a National Space Agency based on the National Aerospace Security Strategy of 2019.

Keywords

Strategy, Regulation, Space Activities, Safety, Security, Space Agency.

Introducción a la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional

El 26 de abril de 2019 se publicó en España la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional², previamente aprobada por el Consejo de Seguridad Nacional, con el fin de desarrollar las previsiones de la Estrategia de Seguridad Nacional³ de 2017 en el ámbito de la seguridad del espacio aéreo y del espacio ultraterrestre.

Como paso previo al análisis de la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional de 2019 en relación a las actividades llevadas a cabo en el espacio ultraterrestre, hemos de comprender en primer lugar el significado y alcance del concepto de seguridad nacional. En este sentido, la Ley de Seguridad Nacional 36/2015, de 28 de septiembre, dispone que «se entenderá por Seguridad Nacional la acción del Estado dirigida a proteger la libertad, los derechos y bienestar de los ciudadanos, a garantizar la defensa de España y sus principios y valores constitucionales, así como a contribuir junto a nuestros socios y aliados a la seguridad internacional en el cumplimiento de los compromisos adquiridos». El concepto de seguridad nacional viene inspirado por una serie de principios como la política de Estado, la cultura de seguridad nacional, la cooperación con las comunidades autónomas, la colaboración privada, los componentes fundamentales, así como los ámbitos de especial interés y sus obligaciones.

Respecto a la Política de Seguridad Nacional, esta tiene carácter público y, bajo la responsabilidad del presidente del Gobierno, participan las distintas administraciones públicas (estatal, autonómica y local), los órganos constitucionales, el sector privado y la sociedad civil, a fin de actuar eficiente y conjuntamente frente a los desafíos y amenazas que puedan surgir y sean lesivos para la sociedad en su conjunto. Al marco de referencia en el que se desarrolla la Política de Seguridad Nacional se le denomina *Estrategia de Seguridad Nacional*, que «contiene el análisis del entorno estratégico, concreta los riesgos y amenazas que afectan a la seguridad de España, define las líneas de acción estratégicas en cada ámbito de actuación y promueve la optimización de los

² 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 n.º 103, de 30 de abril de 2019.

³ Real Decreto 1008/2017, de 1 de diciembre, por el que se aprueba la Estrategia de Seguridad Nacional 2017, BOE n.º 309, de 21 de diciembre de 2017.

recursos existentes». En este sentido, se vio imprescindible el establecimiento de una cultura de seguridad nacional con el fin de aumentar el conocimiento por parte de la sociedad respecto de aquellas medidas necesarias para hacer frente a los riesgos y amenazas, y que se traducen en la aplicación de los principios de anticipación, prevención, análisis, reacción, resistencia y recuperación.

La Ley de Seguridad Nacional de 2015 fue el resultado de la necesidad por parte de los agentes de la seguridad nacional integrados en las administraciones públicas, por el sector privado y por la sociedad en general, de contar con un marco de actuación resiliente en el Sistema de Seguridad Nacional sin necesidad de poner en práctica, salvo si fuera absolutamente necesario, las potestades de los estados de alarma y excepción. La participación y colaboración de las comunidades autónomas, incluidas Ceuta y Melilla, con el Estado resulta primordial y se llevará a cabo mediante la Conferencia Sectorial para Asuntos de la Seguridad Nacional, sin interferir en las competencias del Consejo de Seguridad Nacional⁴.

No obstante, las administraciones públicas estarán obligadas a establecer mecanismos de coordinación e intercambio de información cuando detecten posibles riesgos y amenazas en relación con ámbitos de especial interés de la seguridad nacional, esto es, «aquellos que requieren una atención específica por resultar básicos para preservar los derechos y libertades, así como el bienestar de los ciudadanos, y para garantizar el suministro de los servicios y recursos esenciales. A los efectos de esta ley, serán, entre otros, la ciberseguridad, la seguridad económica y financiera, la seguridad marítima, la seguridad del espacio aéreo y ultraterrestre, la seguridad energética, la seguridad sanitaria y la preservación del medio ambiente». Por tanto, la seguridad del espacio ultraterrestre es un ámbito de especial interés para la seguridad nacional, y dentro de aquel, además, operan objetos espaciales, que por su naturaleza pueden originar, o padecer, riesgos y posibles amenazas, aunque, por otro lado, ejemplifican innumerables ventajas, entre las que podemos citar el servicio a la sociedad en su conjunto, pudiendo ofrecer recursos de primera necesidad o de carácter estratégico.

⁴ Sobre las funciones y composición del Consejo de Seguridad Nacional, véase el artículo 21 de la Ley 36/2015, de 28 de septiembre, de Seguridad Nacional. BOE n.º 233, de 29 de septiembre de 2015.

La primera Estrategia Española de Seguridad se aprobó en 2011, cristalizándose el 31 de mayo de 2013 en lo que conocemos como *Estrategia de Seguridad Nacional. Un proyecto compartido*, ofreciendo una visión integral frente a los desafíos que limitan o agreden la libertad, los derechos y bienestar de los ciudadanos, tanto desde un punto de vista nacional como transnacional y en el que «es esencial promover la participación del ciudadano y la colaboración público-privada, así como de toda la Administración en los ámbitos de su competencia, en tanto que los riesgos y amenazas actuales no son estancos y no se les puede dar respuestas aisladas. Garantizar la seguridad es una responsabilidad del Gobierno, pero es también una tarea de todos»⁵.

La Estrategia de Seguridad Nacional (ESN 2013) identificaba como amenazas y riesgos los conflictos armados, el terrorismo, el crimen organizado, la inseguridad económica y financiera, la vulnerabilidad energética, la proliferación de armas de destrucción masiva, las ciberamenazas, los flujos migratorios no controlados y, por último, las emergencias y catástrofes. La ESN 2013 fue sustituida en su totalidad por la Estrategia de Seguridad Nacional de 2017 (ESN 2017).

La Estrategia de Seguridad Nacional de 2017 (ESN 2017), a través de sus seis capítulos⁶, analizaba el nuevo entorno de seguri-

⁵ https://www.lamoncloa.gob.es/documents/seguridad_1406connavegacionfinalaccesiblebpdf.pdf

⁶ Real Decreto 1008/2017, de 1 de diciembre, por el que se aprueba la Estrategia de Seguridad Nacional 2017, BOE n.º 309, de 21 de diciembre de 2017. «El primer Capítulo, "Una Seguridad Nacional para la España de hoy", desarrolla la visión de Seguridad Nacional de España a partir de su condición de democracia, su particular perfil geoestratégico y su vocación global. El segundo capítulo, "Dinámicas de transformación de la seguridad global", analiza el entorno de seguridad global con un énfasis en los procesos de cambio y tendencias que se han hecho más marcadas desde la publicación de la anterior Estrategia. La Estrategia en su tercer capítulo, "España en el mundo: un país con vocación global", presenta una visión de España como país preocupado por cuanto acontece en todas las regiones geográficas. El cuarto capítulo de la Estrategia trata las "Amenazas y desafíos para la Seguridad Nacional". Se identifican, por una parte, las amenazas que comprometen o socavan la Seguridad Nacional y, por otra parte, los desafíos que, como retos y sin tener la entidad de amenaza, suscitan vulnerabilidad, provocan situaciones de inestabilidad o pueden propiciar el surgimiento de nuevas amenazas. El quinto capítulo de la Estrategia, "Objetivos generales y líneas de acción de la Seguridad Nacional", identifica cinco objetivos generales que orientan la acción del Estado en materia de Seguridad Nacional: avanzar en un modelo integral de gestión de crisis, promover una cultura de Seguridad Nacional, favorecer el buen uso de los espacios comunes globales, impulsar la dimensión de seguridad en el desarrollo tecnológico y fortalecer la proyección internacional de España. Son objetivos comunes a todos los ámbitos de la política de Seguridad Nacional y permiten de este modo su

dad y los desafíos y amenazas que presentaba, profundizando en algunos de los conceptos y líneas de acción ya definidos en 2013. De conformidad con la Ley de Seguridad Nacional, toda estrategia debe ser revisada y adaptada cada cierto tiempo, especialmente a la vista de amenazas que ya existían y se han hecho más prominentes, como el terrorismo o las ciberamenazas, o bien por la aparición de nuevos ámbitos de actuación como la seguridad frente a epidemias o pandemias y la seguridad del espacio aéreo y ultraterrestre. En este sentido, los espacios comunes globales como el espacio aéreo y el espacio ultraterrestre pueden convertirse fácilmente en escenarios de confrontación, ya que conectan el mundo permitiendo la libre circulación de personas y bienes, por tanto, se ve necesario un adecuado mecanismo de gestión de crisis que, basado en la cooperación internacional, encuentre su base en estructuras resilientes.

Hemos de tener en cuenta que el concepto de espacio común global es de naturaleza política, no jurídica. En puridad, el espacio ultraterrestre, incluida la Luna y otros cuerpos celestes, jurídicamente son catalogados como *res communis*, es decir, que existe libertad de exploración y utilización pero que en sí no pueden ser objeto de apropiación por reivindicación de soberanía, uso, ocupación ni de ninguna otra manera, de conformidad con el artículo II del Tratado del Espacio de 1967.

A fin de reforzar el Sistema de Seguridad Nacional, la ESN 2017 previó desarrollar el sistema de gestión de crisis y establecer un Plan integral de Cultura de Seguridad Nacional, el impulso a la aprobación de la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional y la constitución del Consejo Nacional de Seguridad Aeroespacial, así como la revisión de las estrategias sectoriales existentes (en materia de seguridad marítima, energía y ciberseguridad). También se consideró al Consejo de Seguridad Nacional como punto de contacto único en el ámbito de la seguridad de las redes y sistemas de información con las autoridades competentes de otros Estados miembros de la Unión Europea (UE).

La Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional (en lo sucesivo, «ESAN»), consta de cuatro capítulos, ofreciendo en primer lugar una visión integral de la seguridad aeroespacial para, posteriormente, esclarecer los conceptos de amenazas y desafíos, conti-

integración. En el último capítulo, “Sistema de Seguridad Nacional”, se establecen una serie de iniciativas para reforzar el Sistema de Seguridad Nacional y mejorar la coordinación y eficacia de la acción del Estado y la participación de la sociedad».

nuando con el establecimiento de los principios rectores, líneas de acción y medidas concretas y concluyendo con la seguridad aeroespacial en el Sistema de Seguridad Nacional, que determina la necesidad de contar con una estructura orgánica conformada por: el Consejo de Seguridad Nacional, como Comisión Delegada del Gobierno para la Seguridad Nacional y que asiste al presidente del Gobierno en la dirección de la Política de Seguridad Nacional; el Consejo Nacional de Seguridad Aeroespacial, que dará apoyo al Consejo de Seguridad Nacional para el cumplimiento de sus funciones, reflejando el espectro de los ámbitos de los departamentos, organismos y agencias de las administraciones públicas con competencias en materia de seguridad aeroespacial, así como la participación de otros actores relevantes del sector privado y especialistas, a fin de coordinar aquellas actuaciones que se deban abordar de forma conjunta con el fin de elevar los niveles de seguridad; y, por último, el Comité de Situación, que será convocado para cuando se produzca un desbordamiento de los límites de capacidad de respuesta.

Nuestro Ejército del Aire, consciente de los cambios en el entorno operativo y los avances tecnológicos, extiende su ámbito de responsabilidad al dominio aeroespacial, esto es, tanto al espacio aéreo como al espacio ultraterrestre⁷, donde hará frente a los nuevos retos, amenazas y oportunidades de conformidad con la ESAN de 2019. A esto debemos añadir la creación del Centro de Operaciones de Vigilancia Espacial (COVE)⁸, en la base de Torrejón de Ardoz, que, dependiendo de la Jefatura de Sistemas de Mando y Control del Ejército del Aire, tiene la capacidad de predecir los riesgos espaciales que puedan afectar a España y reducir al máximo sus efectos.

Aunque se ha optado por una visión integral de la seguridad aeroespacial, hemos de tener en cuenta que el espacio aéreo y el espacio ultraterrestre se basan en principios jurídicos fundamentalmente diferentes. Mientras que en el espacio aéreo rige el principio de soberanía nacional, en el espacio ultraterrestre, la

⁷ Real Decreto 296/2021, de 27 de abril, por el que se modifica el Reglamento de especialidades fundamentales de las Fuerzas Armadas, aprobado por el Real Decreto 711/2010, de 28 de mayo, en <https://boe.es/boe/dias/2021/04/28/pdfs/BOE-A-2021-6876.pdf>. El artículo 20 queda redactado del siguiente modo: «Artículo 20. Escala de oficiales. En la escala de oficiales del Cuerpo General del Ejército del Aire existirán las siguientes especialidades fundamentales: a) Vuelo. b) Defensa y Control Aeroespacial. c) Ciberespacio».

⁸ <https://www.defensa.gob.es/comun/slider/2019/12/041219-cove-ea.html>

Luna y otros cuerpos celestes, la soberanía nacional está explícitamente prohibida en virtud del Tratado del Espacio de 1967, también llamado *Carta Magna del Espacio*, y cuyas disposiciones han cristalizado en costumbre internacional. Nos llama la atención que la ESAN afirme que «el espacio ultraterrestre es patrimonio común de la humanidad», no siendo así, pues el espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes son de «incumbencia de toda la humanidad»⁹, pero no son patrimonio común de la humanidad, pues no existe un concepto generalmente admitido sobre su significado jurídico-positivo a nivel internacional, ni tampoco se pueden extrapolar *ipso facto* al derecho espacial otros principios y normas características de otros espacios como pueden ser los fondos marinos y oceánicos, su subsuelo (fuera de los límites de la jurisdicción nacional)¹⁰ y sus recursos, en el que los Estados aprobaron *ad hoc* fueran patrimonio común de la humanidad. En derecho internacional público del espacio, únicamente el Acuerdo sobre la Luna de 1979 dispone que nuestro satélite natural y sus recursos naturales son patrimonio común de la humanidad; sin embargo, no se ofrece una definición de este concepto y, además, el acuerdo únicamente cuenta con dieciocho Estados Partes, con lo que, de momento y hasta que no haya un consenso internacional a este respecto, el espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes no son patrimonio común de la humanidad sino «de incumbencia de toda la humanidad».

Aclarada esta cuestión, desde el punto de vista de la seguridad, la ESAN ha optado por aglutinar bajo el ámbito aeroespacial, al espacio aéreo y al espacio ultraterrestre, y ello basándose en que la regulación actual deja áreas de indefinición, como la delimitación del límite superior de la soberanía nacional del espacio aéreo, que en el futuro próximo puede ser una fuente de conflicto, al igual que el espacio ultraterrestre. La delimitación entre espacio aéreo y ultraterrestre corresponde a cada Estado; por ejemplo, Australia ha delimitado su espacio aéreo vertical a 100 km de altitud sobre el nivel del mar. En este sentido, y para evitar futuros conflictos, sería deseable que la comunidad internacional estableciera de común acuerdo la delimitación entre ambos es-

⁹ Véase el artículo I del 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. BOE n.º 30, de 4 de febrero de 1969.

¹⁰ Véase el artículo 133 del Instrumento de ratificación de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, hecho en Montego Bay el 10 de diciembre de 1982. BOE n.º 39, de 14 de febrero de 1997.

pacios, pero esta es una cuestión todavía pendiente en la que los Estados se muestran reticentes y que lleva tratándose en la Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Comisión sobre Utilización Pacífica del Espacio Ultraterrestre desde hace ya muchos años.

Esta Comisión, denominada COPUOS, es un órgano o conferencia permanente de negociación y de la que forman parte varios países, entre ellos España, y organizaciones internacionales, a fin de analizar el estado actual de la cooperación internacional, diseñar y dirigir los programas de cooperación técnica de la ONU en materia espacial, fomentar la investigación y la difusión internacional de información en este campo y, sobre todo, contribuir al desarrollo de la codificación del derecho internacional del espacio. Además de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos, órgano legislativo por excelencia, COPUOS cuenta también con una Subcomisión Científica y Técnica como foro internacional de intercambio, difusión y análisis de información referente a la investigación científica y a las tecnologías espaciales¹¹.

La seguridad aeroespacial nacional se basa en una serie de normas esenciales como la Ley Orgánica 5/2005, de Defensa Nacional¹², que además de regular la defensa nacional establece las bases de la organización militar; la Ley 36/2015, de Seguridad Nacional, a la que hemos hecho referencia al inicio de este trabajo; la Ley 8/2011, por la que se establecen medidas para la protección de infraestructuras críticas¹³, cuyo objeto es coordinar las actuaciones de las administraciones públicas y la implicación de los operadores de aquellas infraestructuras a fin de proteger a la población de ataques terroristas u otras amenazas lesivas; la Ley 21/2003, de Seguridad Aérea¹⁴, cuya finalidad principal es preservar la seguridad, el orden y la fluidez del tráfico y del transporte aéreos, de acuerdo con los principios y normas de derecho internacional reguladores de la aviación civil; y, por último, la Ley 48/1960, de Navegación Aérea, modificada por el Real Decreto Ley 26/2020, de 7 de julio¹⁵, de medidas de reactivación

¹¹ GONZÁLEZ FERREIRO, Elisa Celia; MORO AGUILAR, Rafael (2011). *Curso General sobre Derecho Espacial*. Madrid: IIDAEAC, Madrid, p. 37.

¹² Ley Orgánica 5/2005, de 17 de noviembre, de la Defensa Nacional. BOE n.º 276, de 18 de noviembre de 2005.

¹³ Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas. BOE n.º 102, de 29 de abril de 2011.

¹⁴ Ley 21/2003, de 7 de julio, de Seguridad Aérea. BOE n.º 162, de 8 de julio de 2003, cuya última actualización fue publicada el 19 de septiembre de 2020.

¹⁵ Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea. BOE n.º 176, de 23 de julio de 1960, cuya última actualización se publicó el 8 de julio de 2020.

económica para hacer frente al impacto del COVID-19 en los ámbitos de transportes y vivienda y en relación con las aeronaves no tripuladas.

En lo que respecta al ámbito de la aviación civil, los organismos que se ocupan de la seguridad son el Comité Nacional de Seguridad para la Aviación Civil, creado por Real Decreto 550/2006¹⁶, y la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, creada por Real Decreto 184/2008¹⁷.

En lo que afecta a la regulación del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes, contamos con una serie de instrumentos internacionales aprobados en el seno de las Naciones Unidas, liderados por el Tratado del Espacio de 1967 y los convenios que lo desarrollan y complementan. A estos debemos sumar otros acuerdos internacionales de naturaleza bilateral y multilateral.

Regulación internacional de las actividades espaciales

Desde mediados del siglo pasado, en que la extinta Unión Soviética emprendió sus actividades espaciales, el derecho internacional tomó conciencia de la necesidad que imperaba de regular las actividades que las grandes potencias espaciales llevaban a cabo en el espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes.

La carrera espacial fue una competencia entre Estados Unidos y la Unión Soviética que duró aproximadamente desde 1957 a 1975. Supuso el esfuerzo paralelo entre ambos países de explorar el espacio exterior con satélites artificiales y de quién sería el primero en conseguir que un ser humano pisara la Luna.

Ante la necesidad de regulación, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó, mediante su Resolución 1962 (XVIII), de 13 de diciembre de 1963, la «Declaración sobre los principios jurídicos que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre», que establece una serie de principios que se recogerán en el Tratado del Espacio de 1967, y que será complementado y desarrollado por los otros

¹⁶ Real Decreto 550/2006, de 5 de mayo, por el que se designa la autoridad competente responsable de la coordinación y seguimiento del Programa Nacional de Seguridad para la Aviación Civil y se determina la organización y funciones del Comité Nacional de Seguridad de la Aviación Civil. BOE n.º 113, de 12 de mayo de 2006.

¹⁷ Real Decreto 184/2008, de 8 de febrero, por el que se aprueba el Estatuto de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea. BOE n.º 39, de 14 de febrero de 2008.

cuatro instrumentos internacionales multilaterales elaborados por las Naciones Unidas.

- 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. Actualmente son partes ciento cinco Estados¹⁸.
- 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. Actualmente son partes noventa Estados¹⁹.
- 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. Actualmente son partes ochenta y seis Estados²⁰.
- 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. Actualmente son partes cincuenta y un Estados²¹.
- 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

¹⁸ <https://www.boe.es/boe/dias/1969/02/04/pdfs/A01675-01677.pdf>

¹⁹ <https://www.boe.es/boe/dias/2001/06/08/pdfs/A20264-20268.pdf>

²⁰ <https://www.boe.es/boe/dias/1980/05/02/pdfs/A09491-09494.pdf>

²¹ <https://www.boe.es/boe/dias/1979/01/29/pdfs/A02188-02190.pdf>

de julio de 1984 (no ratificado por España). Actualmente son partes dieciocho Estados²².

El Tratado del Espacio de 1967 establece una serie de disposiciones que son consideradas como costumbre internacional. Estas disposiciones vienen desarrolladas y complementadas por los acuerdos y convenios anteriormente citados, por tanto, procederemos a analizarlos conjuntamente.

Artículo I: Libertad de exploración y utilización

La libertad de exploración y utilización del espacio ultraterrestre (incluso la Luna y otros cuerpos celestes) incumbe a toda la humanidad; se llevará a cabo en condiciones de igualdad y de conformidad con el derecho internacional. Habrá libertad de acceso a todas las regiones de los cuerpos celestes y los Estados facilitarán la cooperación internacional, incluidas las investigaciones científicas que se lleven a cabo.

Artículo II: No apropiación nacional

El espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes, no podrán ser objeto de apropiación nacional por reivindicación de soberanía, uso u ocupación, ni de ninguna otra manera. Esto significa, entre otras cosas, que ni Estados, ni entidades privadas ni personas físicas pueden apropiarse del espacio ultraterrestre, de las órbitas o parte de la superficie o subsuperficie de un cuerpo celeste. Por tanto, queda prohibida la venta de parcelas en la Luna o en cualquier cuerpo celeste, y el hecho de que la bandera norteamericana esté anclada en la Luna es de carácter meramente simbólico. El artículo II del Tratado del Espacio de 1967 no prohíbe expresamente la extracción de recursos minerales en la Luna, como veremos más adelante.

Artículo III: Conformidad con el derecho internacional (paz y seguridad)

Las actividades de exploración y utilización del espacio ultraterrestre y cuerpos celestes se llevarán a cabo de conformidad con el derecho internacional a fin de mantener la paz y seguridad internacionales, así como de fomentar la cooperación y comprensión internacionales. Curiosamente, este artículo cita expresamente a la Carta de las Naciones Unidas, lo que nos lleva a considerar el artículo 51, donde se establece que «ninguna disposición de esta

²² GONZÁLEZ FERREIRO, Elisa Celia (2013). *Código Espacial: textos legislativos y complementarios*. Madrid, pp. 95-103.

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 la legítima defensa preventiva.

Artículo IV: Uso pacífico/desmilitarización parcial

En órbita alrededor de la Tierra se permiten armas convencionales, pero se prohíbe la colocación de objetos espaciales que porten armas nucleares o cualquier tipo de armas de destrucción en masa.

En el espacio ultraterrestre se prohíbe el emplazamiento de armas nucleares o de destrucción en masa. Por tanto, se permite la colocación de armas convencionales como de cualquier otro tipo de «arma» efectiva que no tenga la consideración de destrucción en masa.

En la Luna y otros cuerpos celestes (incluyendo sus órbitas) queda prohibida la colocación de armas nucleares y de destrucción en masa, así como ensayos con cualquier tipo de armas y maniobras militares, pero sí se permite la presencia de personal militar para investigaciones científicas o cualquier objetivo pacífico, no permitiéndose bases, instalaciones o fortificaciones militares.

Curiosamente, se prohíben los ensayos con cualquier tipo de arma, pero no prohíbe expresamente la simple tenencia de armas convencionales o que no sean catalogadas de destrucción en masa en bases o instalaciones civiles.

Respecto a los ensayos, resulta obligado hacer referencia al Tratado de Moscú, de 5 de agosto de 1963²³, mediante el cual los Estados Partes en el tratado, incluida España, se comprometen a no llevar a cabo explosiones de pruebas de armas nucleares (o cualquier otra explosión de naturaleza nuclear) en cualquier lugar bajo su jurisdicción o control «en la atmósfera; más allá de sus límites, incluyendo el espacio ultraterrestre...». El objetivo de este tratado, como el Tratado del Espacio, es impedir una carrera de armamentos, lo que supondría un grave peligro para la paz y seguridad mundiales.

Artículo V: Astronautas como enviados de la humanidad

Todos los astronautas son considerados «enviados de la humanidad»; sin embargo, el Tratado del Espacio no ofrece una defini-

²³ Tratado por el que se prohíben los ensayos con armas nucleares en la atmósfera, el espacio ultraterrestre y debajo del agua. BOE n.º 313, de 31 de diciembre de 1987.

ción de *astronauta* ni de *enviado de la humanidad*, entendiendo, por tanto, que *enviado de la humanidad* tiene un mero carácter representativo.

Lato sensu, a falta de una regulación *ad hoc*, consideramos como astronautas a todas aquellas personas que se encuentren en el espacio ultraterrestre, en un cuerpo celeste o a bordo de un vehículo espacial como simples pasajeros, miembros de la tripulación o personal, a fin de darles cobertura jurídica.

Stricto sensu: un astronauta, cosmonauta o taikonauta son aquellas personas que llevan a cabo actividades profesionales conectadas con la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, en el espacio mismo o en un cuerpo celeste, de acuerdo con los principios y normas del derecho internacional del espacio y de conformidad con las reglas de sus respectivas agencias espaciales.

El Tratado de 1967 dispone una serie de obligaciones para los Estados Partes:

1. En la Tierra deberán prestar toda la ayuda posible en caso de accidente, peligro o aterrizaje forzoso (en su territorio), en el de otro Estado parte o en alta mar. Tras el aterrizaje, los astronautas serán devueltos con seguridad y sin demora²⁴ al Estado de registro de su vehículo espacial.
2. En el espacio ultraterrestre y cuerpos celestes, los astronautas deberán prestarse ayuda mutua. Los Estados deberán informar a los demás Estados Partes y al secretario general de las Naciones Unidas sobre cualquier fenómeno que pueda constituir un peligro para la vida o salud de los astronautas.

El artículo V del Tratado del Espacio viene desarrollado por el Acuerdo sobre el Salvamento de 1968, que distingue entre el salvamento y devolución de astronautas y la restitución de objetos lanzados al espacio.

Respecto al salvamento y devolución de astronautas, nos encontramos con las mismas obligaciones que el art. V del Tratado de

²⁴ Van Bogaert encuentra tres excepciones a la devolución de un miembro de la tripulación a la autoridad de lanzamiento: 1) Cuando la salud del astronauta no le permita volar con prontitud y de un modo seguro, así el Estado en cuya jurisdicción se encuentra le facilitará el tratamiento médico necesario y mantendrá informado al Estado de registro de su vehículo espacial; 2) Cuando el astronauta o miembro de la tripulación tenga la nacionalidad del Estado bajo cuya jurisdicción se encuentra; 3) Cuando el miembro de la tripulación solicite asilo diplomático.

1967, a lo que se añade el deber de notificación a la autoridad de lanzamiento (responsable) y al secretario general de las Naciones Unidas, por parte del Estado que sepa o descubra que la tripulación de un vehículo espacial ha sufrido un daño o se encuentra en peligro donde quiera que se haya producido.

Consideramos que el salvamento de las personas que se encuentren a bordo de un objeto/vehículo espacial tripulado constituye una norma de derecho internacional consuetudinario aplicable a todos los Estados de la comunidad internacional, independientemente de que sean o no partes en el Acuerdo de 1968. Además, su incumplimiento constituiría una omisión del deber de socorro, punible por los códigos penales nacionales.

Respecto a la restitución de objetos lanzados al espacio, cuando estos hayan caído en alta mar y lugares no colocados bajo la jurisdicción de ningún Estado, el Estado Parte que sepa o descubra que un objeto/vehículo espacial, o partes componentes, han vuelto a la Tierra lo notificará a la autoridad de lanzamiento (el Estado u organización responsable del lanzamiento) y al secretario general de las Naciones Unidas.

Cuando el objeto espacial haya caído en territorio bajo la jurisdicción de un Estado, tendrá obligación de notificar este suceso a la autoridad de lanzamiento y al secretario general de las Naciones Unidas. El deber de recuperación del objeto espacial o partes componentes se llevará a cabo previa solicitud de la autoridad de lanzamiento. Los gastos realizados con el fin de recuperar el objeto espacial o partes componentes y restituirlas a la autoridad de lanzamiento del objeto espacial, correrán a cargo de esta.

Sin embargo, cuando los objetos o partes componentes sean de naturaleza peligrosa o nociva, el Estado que los haya encontrado, bien en territorio bajo su jurisdicción o en otro lugar, podrá notificarlo a la autoridad de lanzamiento (la notificación no es obligatoria).

Una vez notificado, el Estado responsable del lanzamiento deberá adoptar inmediatamente medidas eficaces para eliminar el posible peligro por daños, bajo la dirección y el control de la parte contratante que haya encontrado el objeto o partes componentes de naturaleza peligrosa o nociva.

Artículo VI: Responsabilidad internacional (*Responsability*)

Los Estados Partes en el Tratado serán responsables internacionalmente de las actividades nacionales que realicen en el espacio

ultraterrestre y los cuerpos celestes los organismos gubernamentales y las entidades no gubernamentales, que deberán ser autorizadas y fiscalizadas constantemente. Este deber de autorización y fiscalización se traduce en licencias que el Estado otorgará para asegurarse que las entidades no gubernamentales pueden 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 a los operadores privados, entre los cuales deberá encontrarse la suscripción de un seguro, tema que trataremos más adelante.

En cuanto a las organizaciones internacionales, la responsabilidad corresponderá a esta organización y a los Estados Partes que pertenecen a ella.

Hemos de tener en cuenta que las actividades espaciales son consideradas internacionalmente como ultrapeligrosas, por tanto, el Estado de lanzamiento siempre será el responsable último de los daños causados a otro Estado o sus nacionales, teniendo en cuenta que las actividades espaciales competen a la seguridad nacional de cada país, pues es necesario velar por la seguridad de las infraestructuras críticas y otros posibles riesgos y amenazas como cualquier ataque o neutralización de los satélites que resulten necesarios para obtener servicios esenciales (comunicaciones, información meteorológica, navegación, etc.), lo que tendría importantes consecuencias económicas, sociales y de seguridad.

Artículo VII: Responsabilidad por daños (*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 aclara que el término *lanzamiento* incluye todo intento de lanzamiento; es decir, aunque el lanzamiento de un objeto

espacial sea fallido, se considerará como tal a efectos jurídicos. Hubiera sido conveniente que el Convenio precisara qué se entiende por «lanzamiento»; sin embargo, podemos entender que este engloba el conjunto de operaciones necesarias para hacer despegar un objeto/vehículo espacial.

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. Frans von der Dunk aclara que «otros perjuicios a la salud» se hace extensivo a los daños mentales y físicos (daños morales). En este sentido, la Organización Mundial de la Salud define a esta última como «el estado de completo bienestar físico, mental y social». Respecto a los «perjuicios causados a bienes», Armel Kerrest concreta que deberá incluirse tanto el daño emergente (pérdida sufrida) como el lucro cesante (pérdida de ganancia o beneficio). En cuanto al daño medioambiental, debería quedar incluido en el concepto de daño, ya que puede producir efectos nocivos sobre la población²⁵.

Respecto al concepto de «objeto espacial», el Convenio no ofrece una definición como tal, únicamente indica que incluye las partes componentes de un objeto espacial, así como el vehículo propulsor y sus partes. La definición de objeto espacial debe darse *lato sensu*, ya que se agrupan bajo esta denominación una gran variedad de objetos de características técnicas muy diferentes y que se irán agudizando debido a los nuevos avances tecnológicos. Por este motivo, aportamos una definición desde el punto de vista ecléctico, es decir, complementamos la teoría de la finalidad —o enfoque funcional—, que es lo que tienen en común todos estos objetos (exploración y utilización del espacio ultraterrestre), con la teoría de la localización —o enfoque zonal— (que se desarrollan en el espacio ultraterrestre), descartándose de este modo todas aquellas instalaciones o estaciones terrenas de seguimiento que no procedería per se incluirlas dentro de la cate-

²⁵ El satélite *Cosmos 954*, debido a un fallo en el sistema, quedó fuera de control y se precipitó en 1978 sobre la atmósfera terrestre, cayendo sobre territorio canadiense. La suerte fue que no hubo pérdida de vidas humanas; sin embargo, como el satélite llevaba a bordo un reactor nuclear, el Gobierno de Canadá tuvo que costear todas las operaciones de recuperación y limpieza, además de cerciorarse de que este accidente no produciría posteriores consecuencias dañinas, como pudiera ser la existencia de plutonio en la cadena alimenticia. La reclamación se hizo independientemente de los medios que ofrecía el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972, a través de un Protocolo; Canadá recibió, a modo de compensación, tres millones de dólares canadienses.

goría de objetos espaciales. De este modo, entendemos que un objeto espacial es todo elemento creado por el hombre y que tiene como finalidad la exploración y utilización del y desde el espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes, bien sea manufacturado en la Tierra como en el espacio exterior²⁶.

A su vez, los objetos espaciales se distinguen en dos grandes categorías: la carga útil y los vehículos espaciales. La carga útil espacial es todo elemento material que puede ser transportado por un vehículo espacial, es decir, que por sí solo no podría llegar hasta el espacio exterior, ni moverse en este si no es mediante aquel; o que, manufacturado allí, no pudiera regresar por sus propios medios a la Tierra (por ejemplo, los satélites de cualquier tipo, aprovisionamientos, suministros, etc.). Por lo que respecta a los astronautas u hombres lanzados al espacio exterior, aunque necesiten un vehículo espacial para acceder a este y regresar de vuelta a la Tierra, evidentemente no constituyen carga útil, sino que conforman lo que se conoce como *tripulación*.

En lo tocante a los vehículos espaciales, o «vehículo propulsor y sus partes», como lo denominan el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972 (art. I.d) y el Convenio sobre el Registro de 1975 (art. I.b), entendemos que *vehículo espacial* es el medio de transporte espacial que, dotado de propulsión, sirve para trasladar objetos y/o personas de la Tierra al espacio ultraterrestre, o del espacio ultraterrestre a la Tierra, o bien de un punto a otro del espacio exterior, y a ese recorrido es lo que llamamos *vuelo espacial*²⁷. Desde el punto de vista jurídico, las características que tipifican al vehículo espacial son: ser objeto de derecho, ser un bien mueble *sui generis*, su carácter registrable, su naturaleza compuesta y su destino para la navegación aérea y más allá.

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.

Respecto a la responsabilidad por culpa, se aplicará respecto de los daños causados en el espacio ultraterrestre y los cuer-

²⁶ GONZÁLEZ FERREIRO, Elisa Celia (2007). *La Estación Espacial Internacional: Régimen Jurídico*, Madrid: IIDAEC, pp. 37 y ss.

²⁷ *Ibidem*, p. 48.

pos 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 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 causa 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 (leyes nacionales), a los nacionales de un país extranjero mientras participen en las operaciones del lanzamiento del objetos 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.

¿Quiénes pueden reclamar? El Estado que haya sufrido daños (o las personas físicas o jurídicas de su nacionalidad) podrá presentar a un Estado de lanzamiento una reclamación por tales daños. Si el Estado de la nacionalidad de las personas afectadas no ha presentado una reclamación, podrá hacerlo el Estado en cuyo territorio se ha producido el daño. En defecto de los dos anteriores, el Estado de residencia permanente de los afectados podrá presentar la reclamación ante el Estado de lanzamiento.

¿A través de qué cauces? Por vía diplomática al Estado de lanzamiento, en el plazo de un año desde que se produjo el daño o desde que se haya identificado al Estado de lanzamiento responsable. También puede presentarse ante los tribunales de justicia u órganos administrativos del Estado de lanzamiento. Si las negociaciones diplomáticas no prosperaron, el Convenio creó la figura de la Comisión de Reclamaciones, que estaría compuesta por tres miembros, elegidos por demandante, demandado y presidente, este último escogido por ambas partes. La Comisión tendrá su propio procedimiento, y su decisión será un laudo que será obligatorio si las partes están de acuerdo, si no, solo tendrá carácter de recomendación. Las costas se repartirán a partes iguales entre las partes, a menos que la Comisión de Reclamaciones establezca otra cosa. Como apunta Cesáreo Gutiérrez Espada, la Comisión de Reclamaciones es un órgano intermedio entre la conciliación y el arbitraje, parecido al arbitraje en su organización y a la conciliación en su resultado, puesto que el informe de la misma no es vinculante jurídicamente, salvo que las partes acuerden lo contrario. Cuando la decisión sea vinculante, equivaldrá a un tribunal arbitral *ad hoc*.

No obstante, en virtud del artículo 33 de la Carta de las Naciones Unidas, los medios de solución pacífica de controversias a los que pueden recurrir los Estados son: la negociación, la investigación de los hechos, la mediación, la conciliación, el arbitraje, el arreglo judicial, el recurso a organismos o acuerdos regionales u otros medios pacíficos en los que quedará englobada la fórmula de solución de controversias que establece el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972, es decir, la Comisión de Reclamaciones. En este sentido, cabe mencionar, además, como medio pacífico de controversias las Reglas Opcionales de Arbitraje de Controversias Relativas a las Actividades del Espacio Ultraterrestre de 2011, y que, a diferencia del convenio de 1972, permite dirimir disputas entre Estados, organizaciones internacionales y entidades privadas²⁸.

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 es en la moneda del Estado demandante, o, si este lo solicita, en la moneda del

²⁸ https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/3891/CONICET_Digital_Nro.5132_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Estado que deba pagar la indemnización. Pueden existir otras formas de indemnización previo acuerdo entre demandante y demandado.

Respecto a las organizaciones internacionales intergubernamentales: si una organización intergubernamental internacional es responsable de daños en virtud del Convenio sobre la Responsabilidad, esa organización 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 y 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 de 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.

Artículo VIII: Estado de registro. Jurisdicción y control

Cuando haya más de un Estado de lanzamiento, únicamente uno de ellos puede ser el Estado de registro del objeto espacial. El Estado de registro retendrá jurisdicción y control sobre el objeto lanzado al espacio ultraterrestre, así como el personal a bordo.

Por el mero hecho de que un objeto se encuentre en el espacio ultraterrestre o en un cuerpo celeste no varía el derecho de propiedad, aunque se haya manufacturado fuera de la Tierra. En la praxis se contempla la posibilidad de una transferencia voluntaria de la propiedad del objeto cuando este se encuentre en el espacio ultraterrestre o en un cuerpo celeste; el problema radica en que el Estado de lanzamiento siempre será responsable del objeto espacial, salvo que se modifique el Convenio sobre el Registro o se apruebe una resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas propuesta por COPUOS.

El artículo VIII del Tratado del Espacio viene desarrollado por el Convenio sobre el Registro de 1975.

Estado de registro es el Estado de lanzamiento en cuyo registro se inscribe un objeto espacial (registro nacional). El Convenio sobre el Registro no indica ningún criterio sobre el cual un Estado deba ser el de registro cuando existan dos o más Estados de lanzamiento; únicamente señala la conveniencia de que estos últimos celebren un acuerdo en virtud del cual se designe cuál de ellos sea el que deba registrar el objeto espacial lanzado y, por tanto, que ejerza la jurisdicción y control sobre el objeto espacial y el personal a bordo, si lo hubiere. No obstante, la transferencia de propiedad en órbita no implica necesariamente la transferencia de jurisdicción y control respecto a un Estado que no sea el de lanzamiento; en consecuencia, la adquisición de propiedad en órbita por un tercer Estado o sus nacionales resulta, en general, en una posición jurídica más débil porque el objeto espacial quedaría bajo la jurisdicción y control del Estado de lanzamiento originario, cuestión que podría dificultar la comercialización de objetos espaciales en el espacio.

El registro internacional es llevado por el secretario general de las Naciones Unidas, y se inscribirá la información proporcionada por el Estado de registro, que al menos debe incluir: el nombre del Estado o Estados de lanzamiento, una designación apropiada del objeto espacial o su número de registro, la fecha y territorio o lugar de lanzamiento, los parámetros orbitales básicos —incluso: período nodal (dado en minutos para los satélites que orbitan alrededor de la Tierra; intervalo de tiempo comprendido entre dos pasos consecutivos de un satélite por el nodo ascendente de su órbita), inclinación (medida con respecto al plano ecuatorial del planeta o del cuerpo desde el cual orbitan), apogeo (es el punto en una órbita elíptica alrededor de la Tierra en el que un cuerpo se encuentra más alejado del centro de este), perigeo (punto de la órbita elíptica que recorre un cuerpo natural o artificial alrededor de la Tierra, en el cual dicho cuerpo se halla más cerca de su centro)—, la función general del objeto espacial y cualquier otra información adicional, como la identificación del nuevo propietario del objetos espacial. Además, deberá informarse al secretario general de las Naciones Unidas, en cuanto sea posible, sobre aquellos objetos espaciales que ya no estén en órbita terrestre o hayan finalizado su vida operativa (desechos espaciales). En este sentido, el Real Decreto 278/1995, de 24 de febrero, por el que se crea el Registro español de objetos espaciales, dispone en su

artículo 7, parr. 3.º, la «obligación de registrar las modificaciones que experimentan los datos relativos a los objetos espaciales inscritos, y en particular los que hayan dejado de estar en órbita terrestre». Asunto sobre el que trataremos más adelante.

Artículo IX: Principio de cooperación y asistencia mutua

Due regard, o tener debidamente en cuenta los intereses de los demás Estados Partes en el Tratado. No contaminación nociva del medio ambiente terrestre, espacial ni en los cuerpos celestes.

Este artículo establece, en primer lugar, que en la «exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, los Estados Partes en el Tratado deberán guiarse por el principio de cooperación y la asistencia mutua... y deberán tener debidamente en cuenta los intereses correspondientes de los demás Estados Partes en el Tratado». En este sentido, 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, de 13 de diciembre de 1996, adoptada mediante Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas 51/122, de 4 de febrero de 1997²⁹, alude a que la cooperación internacional en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos se llevará a cabo de conformidad con el derecho internacional y con el Tratado del Espacio de 1967, debiéndose realizar en beneficio e interés de todos los Estados sin excepción, incumbiendo, por tanto, a toda la humanidad. Así, deberá promoverse una cooperación internacional sobre una base equitativa y mutuamente aceptable: cooperación gubernamental y no gubernamental, comercial y no comercial, mundial, multilateral y la cooperación internacional entre países de distintos niveles de desarrollo, habida cuenta de la necesidad de asistencia técnica y de asignación racional y eficiente de recursos financieros y técnicos.

Respecto a la «asistencia mutua», parece que se refiere tanto a la asistencia que los astronautas o miembros de la tripulación deban prestarse entre ellos cuando se encuentren en el espacio ultraterrestre o en un cuerpo celeste como a la asistencia por los Estados Partes en el salvamento y devolución de astronautas y la restitución de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, de conformidad con el Acuerdo sobre el Salvamento de 1968.

²⁹ <https://www.dipublico.org/doc/instrumentos/130.pdf>

En cuanto al principio de *due regard*, o tener debidamente en cuenta los intereses correspondientes a los demás Estados Partes en el Tratado, según apunta Sergio Marchisio, es un modo en que los Estados aseguran que el ejercicio de sus derechos y libertades en el espacio no interfiere con las operaciones espaciales, o bien que no compromete su seguridad. En este sentido, la libertad de utilizar el espacio ultraterrestre significa que un Estado está facultado para emprender sus actividades sin que suponga una amenaza para las actividades espaciales de otros Estados ni que tampoco implique ir en contra de los intereses de los demás Estados³⁰.

El artículo IX del Tratado del Espacio hace referencia a la no contaminación nociva del medioambiente. Sin embargo, quiero llamar la atención sobre el error de traducción en la versión española, donde se entiende que la contaminación únicamente afecta al medioambiente terrestre, y en las demás versiones se incluye el medioambiente espacial y el de los cuerpos celestes. Este error de traducción ya ha sido notificado a COPUOS.

Versión española: «Los Estados Parte en el Tratado harán los estudios e investigaciones del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes, y procederán a su exploración de forma que no se produzca una contaminación nociva ni cambios desfavorables en el medioambiente de la Tierra como consecuencia de la introducción en él de materias extraterrestres...».

En la versión inglesa, por ejemplo, leemos «States Parties in the Treaty shall pursue studies of Outer Space, including the Moon and other celestial bodies, and conduct exploration of them so as to avoid their harmful contamination and also adverse changes in the environment of the Earth, resulting from the introduction of extraterrestrial matter...».

Aclarado este punto, y en lo que respecta a la contaminación nociva y cambios desfavorables en el medioambiente de la Tierra

³⁰ MARCHISIO, Sergio. «Article IX», en: COCOSL 2009, pp. 174 -176. «El término *Due Regard* fue utilizado por primera vez en el Convenio de Chicago de 1944, artículo 3.d): *Los estados contratantes se comprometen a tener debidamente en cuenta la seguridad de la navegación de las aeronaves civiles, cuando establezcan reglamentos aplicables a sus aeronaves de Estado.* Y, posteriormente, en la Convención sobre el Derecho del Mar de 1982, artículo 87, par. 2: *Estas libertades serán ejercidas por todos los estados teniendo debidamente en cuenta los intereses de otros estados en su ejercicio de la libertad de alta mar, así como de los derechos previstos en esta Convención respecto a las actividades en la Zona.*».

como consecuencia de la introducción en él de materias extra-terrestres, se refiere a que, como consecuencia de estudios e investigaciones en el espacio exterior, se traigan muestras de otros planetas o cuerpos menores (asteroides y cometas) para su estudio científico en la Tierra y que, como consecuencia de ello, se derive una posible contaminación, debiendo adoptar a este respecto las medidas oportunas, *ad ex*, el Código Federal estadounidense que establece la autoridad, responsabilidad y política de la Agencia para proteger a la Tierra de cualquier contaminación perjudicial o adversa que pueda modificar el medioambiente con motivo del regreso de los miembros de la tripulación de un vehículo espacial u otra propiedad, tras el aterrizaje o estancia en el medio atmosférico de un cuerpo celeste³¹.

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 quedarían incluidas todas las actividades 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 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 cuidadosamente desarrolladas por un cuerpo internacional e independiente de científicos altamente cualificados 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 17 de junio de 2020, 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 Tierra³².

³¹ DOYLE, Stephen E. «Astronauts and Cosmonauts in International Cooperation. A View of the American Experience». *Proceedings IC*, Cologne, vol. 10, 1992, p. 53.

³² *COSPAR Policy on Planetary Protection. Prepared by the COSPAR Panel on Planetary Protection and approved by the COSPAR Bureau on 17 June 2020.* https://cospar-hq.cnes.fr/assets/uploads/2020/07/PPPolicyJune-2020_Final_Web.pdf

El 9 de diciembre de 2020, la Casa Blanca aprobó la Estrategia Nacional para la Protección Planetaria, en la cual se establece que los Estados Unidos deberían seguir liderando el desarrollo de directrices internacionalmente aceptadas para evitar la contaminación biológica dañina que equilibren adecuadamente los intereses del descubrimiento científico, la exploración humana y las actividades comerciales en el espacio, así como evitar la contaminación biológica dañina de la Tierra. La Estrategia establece tres objetivos generales correspondientes a la *forward contamination* (transferencia de vida y otras formas de contaminación de la Tierra a otro cuerpo celeste), *backward contamination* (introducción de organismos extraterrestres y otras formas de contaminación en la biosfera de la Tierra) y la coordinación del sector privado: evitar la contaminación nociva a futuro mediante el desarrollo e implementación de directrices basadas en la ciencia y evaluación de riesgos y la actualización del proceso de revisión interinstitucional de la carga útil; evitar la *backward contamination* mediante el desarrollo de un Programa de Retorno Restringido para proteger contra los efectos adversos en el medioambiente de la Tierra debido al posible retorno de la vida extraterrestre, e incorporar la perspectiva y las necesidades del sector privado solicitando retroalimentación y elaborando directrices sobre las actividades del sector privado con posibles implicaciones de protección planetaria³³.

Por último, el artículo IX del Tratado del Espacio establece la celebración de consultas internacionales cuando una actividad o experimento de un Estado en el espacio ultraterrestre pudiera crear obstáculos a uno o varios Estados Partes en el Tratado en relación a sus actividades de exploración y utilización, distinguiéndose, por tanto, dos supuestos: bien que un Estado considere que una actividad que sea llevada por él o sus nacionales pueda suponer un obstáculo a otro Estado, o sus nacionales; o bien que un Estado Parte considere que una actividad llevada a cabo por otro Estado Parte o sus nacionales pueda causarle/s un perjuicio.

En este contexto, el Consejo de la Unión Europea aprobó en sus conclusiones, el 8 de diciembre de 2008, el «Proyecto de la Unión Europea sobre un Código de Conducta para las Actividades Espaciales», que tendría aplicación tanto en las operaciones civiles como militares en el espacio ultraterrestre y que está basado en

³³ National Strategy for Planetary Protection. https://aerospace.org/sites/default/files/2021_01/Planetary%20Protection%20Strategy%2030Dec20.pdf

los principios de no interferencia perjudicial contra los objetos espaciales, libertad de acceso, exploración y utilización del espacio ultraterrestre y explotación de los objetos espaciales con fines pacíficos sin interferencias, respetando plenamente la seguridad y la integridad de los objetos espaciales en órbita, así como el establecimiento e implementación de procedimientos nacionales para minimizar la posibilidad de accidentes en el espacio, colisiones entre objetos espaciales o cualquier forma de interferencia perjudicial con el derecho de otros Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos. Además, el Proyecto de Código hace un llamamiento a los Estados para que se abstengan de recurrir a cualquier acción internacional que pueda directa o indirectamente dañar o destruir objetos en el espacio ultraterrestre³⁴.

Artículo X: Cooperación internacional (observación vuelo objetos espaciales)

El Tratado del Espacio de 1967 gira entorno a la cooperación internacional en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes. El artículo X entiende como parte de la cooperación la posibilidad de observar el vuelo de objetos espaciales lanzados por otros Estados, previa solicitud, en condiciones de igualdad y en virtud de un acuerdo entre las partes interesadas; es decir, no existe obligación jurídica de permitir esa observación.

El artículo X *ab initio* se aplicará únicamente a las relaciones entre los Estados Partes y no a las organizaciones internacionales intergubernamentales, pues para cumplir con la solicitud es necesario un determinado territorio, con el que no cuentan tales organizaciones.

Artículo XI: Deber de informar (actividades espaciales: naturaleza, localización y resultados)

La cooperación internacional incluye la conveniencia de informar, por parte de los Estados que lleven a cabo actividades espaciales, en la medida de lo posible y dentro de lo viable y factible, sobre la naturaleza, localización y resultados de dichas actividades al público, a la comunidad científica internacional y al secretario general de las Naciones Unidas, que deberá difundir eficazmente tal información una vez la haya recibido.

³⁴ *Draft. International Code of Conduct for Outer Space Activities, Version 31 March 2014.* https://eeas.europa.eu/sites/default/files/space_code_conduct_draft_vers_31-march-2014_en.pdf

La obligación general de informar del artículo XI encuentra una restricción en la frase «en la medida de lo posible y dentro de lo viable y factible», lo que queda a la decisión soberana de cada Estado, ya que nos podemos encontrar con tres tipos de restricciones en cuanto al deber de informar: consideraciones comerciales, como en los datos de observación de la Tierra, servicio de comunicaciones o navegación; protección de los derechos de propiedad intelectual, como la información técnica sobre el modo en que funciona o se construye un vehículo espacial, sistemas de propulsión o instalaciones de lanzamiento; y consideraciones estratégicas, como por ejemplo los datos de un sensor remoto utilizados con fines militares o para la tecnología empleada en sistemas de misiles para la defensa³⁵.

Respecto a la Agencia Espacial Europea, el artículo III del Convenio de la ESA³⁶ dispone que «los Estados Miembros y la Agencia facilitarán el intercambio de información técnica y científica relativa a los campos de la tecnología e investigación espacial y sus aplicaciones espaciales. *Un Estado Miembro no será requerido para comunicar cualquier información obtenida fuera de la Agencia si considera que dicha información puede ser contraria a los intereses de su propia seguridad o sus acuerdos con terceras partes, o las condiciones bajo las cuales dicha información ha sido obtenida*».

En este sentido, ponemos de relieve el Acuerdo sobre seguridad de la Agencia Espacial Europea aplicable a la exportación de las tecnologías desarrolladas por la Agencia fuera de Europa, hecho en París el 19 de agosto de 2002.

Artículo XII: Reciprocidad (visitas, estaciones y equipos en la Luna y otros cuerpos celestes) (Acuerdo sobre la Luna de 1979)

«Todas las estaciones, instalaciones, equipos y vehículos espaciales situados en la Luna y otros cuerpos celestes serán accesibles a los representantes de otros Estados Partes en el presente Tratado sobre la base de reciprocidad. Dichos representantes notificarán con antelación razonable su intención de hacer una visita, a fin de permitir celebrar las consultas que procedan y adoptar un máximo de precauciones para velar por la seguridad y evitar toda perturbación del funcionamiento normal de la instalación visitada».

³⁵ MAYENCE, Jean François; REUTER, Thomas. «Article XI», *COCOSL* 2009, pp. 197-198.

³⁶ <https://www.boe.es/boe/dias/1981/01/13/pdfs/A00708-00717.pdf>

El contenido de este artículo viene tratado más ampliamente en el artículo 15 del Acuerdo sobre la Luna de 1979. La base de reciprocidad supone una restricción a la accesibilidad de las instalaciones en sentido general (incluyendo estaciones, equipos y vehículos espaciales) frente a un tercer Estado que con anterioridad no permitió visitas a sus instalaciones, contraviniendo la disposición contenida en el artículo XII, pero que seguramente quedará impune. El término *representante* no viene definido, pero lo que se deduce es que debe, en primer lugar, notificar su intención de hacer una visita y, en segundo lugar, proceder a consultas para adoptar todas las precauciones que sean necesarias para no causar un perjuicio a la instalación visitada.

El término *precaución* viene directamente relacionado con el «Principio de Precaución» (*precautionary principle*), en el sentido general de que la visita pueda interferir adversamente con el medio de un cuerpo celeste como la contaminación; o en un sentido particular, el de la seguridad de la instalación visitada. Como apunta Lesly Jane Smith, el Principio de Precaución, según el derecho internacional general, establece que cuando exista duda ante la evidencia científica sobre cualquier amenaza potencial al medioambiente, deberán tomarse precauciones.

Respecto a las distintas definiciones del Principio de Precaución, encontramos casi siempre determinados elementos que van a ser comunes a todas ellas:

- El Principio de Precaución se aplicará cuando exista una incertidumbre científica considerable relativa a la causalidad, magnitud, probabilidad y naturaleza del daño.
- Es obligado un análisis científico, resulta insuficiente una mera especulación.
- Cuando la aplicación del Principio de Precaución no sea suficiente, se aplicará de inmediato el Principio de Prevención (nivel aceptable del riesgo).
- Cuando las actividades conduzcan a un daño moralmente inaceptable, pero incierto, se llevarán a cabo acciones para evitar o disminuir el posible daño.
- Por «daño moralmente inaceptable» se entiende aquel que perjudica a las personas o al medioambiente, es decir, aquel que supone una amenaza a la vida humana o a la salud de un modo serio o irreversible que pueda afectar a las generaciones

actuales o venideras, o bien que no se tengan en consideración los derechos humanos de los afectados.

- Respecto a «lo moralmente inaceptable», surge la responsabilidad ética sobre la libertad de elección en las acciones que se tomen, ya que la ignorancia culpable³⁷ es uno de los fundamentos éticos del Principio de Precaución.
- Hemos hecho referencia al Acuerdo sobre la Luna de 1979 pero no lo estudiaremos en profundidad pues únicamente forman parte dieciocho Estados de la Comunidad Internacional. Las disposiciones del Acuerdo de 1979 son prácticamente las mismas que las del Tratado del Espacio, pero con una salvedad importante, que reside en la problemática que presenta su artículo 11.
- «La Luna y sus recursos naturales son Patrimonio Común de la Humanidad»: el PCH no es un principio generalmente válido en derecho internacional, debe aplicarse a cada caso concreto y complementado por acuerdos internacionales.
- Ni la superficie ni la subsuperficie de la Luna ni ninguna de sus partes o recursos naturales podrán ser propiedad de ningún Estado, organización, entidad privada ni de personas físicas: sin embargo, se prevé el establecimiento de un futuro «Régimen jurídico Internacional» que rija la explotación de los recursos naturales en la Luna cuando esta explotación esté a punto de ser viable (de momento no se ha establecido este Régimen ni tenemos conocimiento de que se esté trabajando en él).
- El artículo 11 establece, además, que entre las principales finalidades del futuro régimen internacional figurará «una participación equitativa de todos los Estados Partes en los beneficios

³⁷ *The Precautionary Principle*. COMEST, March 2005, pp. 13 y ss. El concepto de ignorancia culpable puede ser utilizado en tres sentidos: 1) Para culpar a cualquier persona, empresa o Estado por el daño causado aun no sabiendo que dicho perjuicio fuera a suceder como resultado de su acción. Esto es debido a que las personas tienen una responsabilidad moral de hacer un esfuerzo para que sus decisiones no lleven a causar un daño, es decir, no se esforzaron en reducir su ignorancia. 2) El concepto de ignorancia culpable debe funcionar como un incentivo para una posterior investigación, tras la cual, al ser mayor el conocimiento, se podría decidir qué acción puede ser más beneficiosa. 3) En caso de resultar imposible adquirir mayores conocimientos sobre una determinada cuestión, mejor no actuar, aunque el daño resultante sea mayor; por ejemplo, no es lo mismo que un médico cause por su actuación directa el fallecimiento de un paciente, que le deje morir por no saber curarle.

obtenidos de esos recursos, teniendo especialmente en cuenta los intereses y necesidades de los países en desarrollo, así como los esfuerzos de los países que hayan contribuido directa o indirectamente a la explotación de la Luna»: ¿se atreverían a firmar un acuerdo internacional donde no se sabe cuáles van a ser las disposiciones del futuro régimen internacional sobre explotación de recursos naturales en la Luna, máxime si viene enlazado con el PCH del cual tampoco viene dado un concepto *ad hoc*? ¿Es justa la participación equitativa de todos los Estados partes en los beneficios obtenidos por la explotación de esos recursos cuando hay un Estado, organización o entidad privada que arriesga mucho capital? ¿Cómo se calibran las necesidades de los países en desarrollo? ¿Se trata en realidad de una tasa? Actualmente no existe voluntad de reformar el Acuerdo sobre la Luna en sintonía con un régimen internacional de explotación de recursos, por tanto, la solución que se está llevando a cabo es la explotación de recursos naturales de conformidad con el Tratado del Espacio, por ejemplo, la «Ley de Exploración y Utilización de los Recursos Espaciales»³⁸ y la «Asteroid Act»³⁹ de EE.UU., y la Ley de 20 de julio de 2017 sobre la exploración y utilización de los recursos del espacio de Luxemburgo⁴⁰.

Artículo XIII: Solución de controversias (artículo 33 Carta Naciones Unidas)

Las disposiciones del Tratado del Espacio se aplican a las actividades de exploración y utilización del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes que lleven a cabo los Estados Partes en el Tratado, tanto si se realizan por uno o varios Estados conjuntamente como si son llevadas a cabo mediante una organización internacional intergubernamental. Los Estados podrán resolver sus problemas prácticos con la organización a través de uno o más Estados miembros de dicha organización y que además sean parte en el Tratado del Espacio. El artículo 33 de la Carta de las Naciones Unidas, como hemos apuntado anteriormente, establece los distintos medios de solución pacífica de controversias. No obstante, el primer paso suele ser proceder a consultas ante una determinada controversia, y si estas no prosperan, las partes elegirán el medio que consideren más idóneo para solventarlas.

³⁸ <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/1508>

³⁹ <https://www.congress.gov/113/bills/hr5063/BILLS-113hr5063ih.pdf>

⁴⁰ <http://legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2017/07/20/a674/jo>

Los artículos XIV, XV, XVI y XVII corresponden a la firma, ratificación, entrada en vigor, enmiendas, retirada y Gobiernos depositarios, respectivamente. Respecto a las enmiendas, cualquier Estado Parte en el Tratado podrá proponer enmiendas que entrarán en vigor cuando hayan sido aceptadas por la mayoría de los Estados Partes en el Tratado y para cada Estado en la fecha en que las acepte; es decir, no entrarán en vigor para quienes no las acepten y ello, además, de conformidad con la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados de 1969⁴¹.

Derecho espacial en vías de formación

Desechos espaciales

El derecho internacional del espacio no proporciona una definición de *residuo/desecho espacial*, por tanto, su definición debe estar basada en sus características. Así, la doctrina establece una clasificación de conformidad con su procedencia:

- Residuos fragmentados: se forman por la ruptura en órbita de un objeto espacial, por ejemplo, por colisiones o explosiones accidentales relacionadas con fallos en el sistema de propulsión.
- Residuos operacionales: las etapas de los cohetes lanzadores, y también cuando los miembros de las tripulaciones abandonan intencionalmente o por accidente equipos y piezas utilizadas.
- Residuos microparticulados: partículas y gases que provienen de combustible sólido de los motores de los cohetes, de vehículos tripulados y de objetos en órbita.
- Cargas útiles inactivas: procedentes de anteriores misiones espaciales, como satélites, y que su vida orbital puede continuar durante muchos años.

Los países espacialmente activos coinciden en definir los desechos espaciales como «todos los objetos espaciales, incluidos sus fragmentos y los elementos de esos fragmentos, que están en órbita terrestre o que reingresan a la atmósfera y no son funcionales».

Esta definición viene recogida en los siguientes instrumentos: las Directrices de 2002 sobre Reducción de Desechos Espaciales del

⁴¹ <https://www.boe.es/boe/dias/1980/06/13/pdfs/A13099-13110.pdf>

IADC⁴², el Código de Conducta Europeo sobre Mitigación de Desechos Espaciales de 2004⁴³ y las Directrices de 2007 para la Reducción de Desechos Espaciales, elaboradas por la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de COPUOS (Comisión sobre Utilización Pacífica del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas)⁴⁴.

Directrices de 2002 sobre Reducción de Desechos Espaciales del IADC, de 2002

El IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee) es un foro integrado por las principales agencias espaciales para cooperar en la reducción de residuos espaciales en órbita. A través de sus directrices, aprobadas mediante consenso, ponen especial énfasis en la efectividad durante la planificación y el diseño de los objetos/vehículos espaciales:

1. Limitar la generación de residuos espaciales durante las operaciones normales. Los sistemas espaciales deben ser diseñados con el fin de no generar residuos durante su funcionamiento, y si es a largo plazo, que generen lo mínimo.
2. Reducir las potenciales roturas en órbita. Todos los sistemas espaciales deben ser diseñados y operados de tal modo que se prevengan explosiones accidentales o rupturas al final de la misión. No se deberán llevar a cabo destrucciones intencionales que generen residuos de larga duración; se sugiere conducir al objeto espacial a altitudes lo suficientemente bajas como para que sus fragmentos de desintegren lo más rápido posible.
3. Los objetos espaciales que se encuentren en la órbita geoes-tacionaria, al finalizar su misión, deberán ser removidos lo suficientemente lejos como para que no interfieran con los sistemas espaciales que siguen operativos en la órbita GEO. El sistema de propulsión debe ser diseñado para la pasivación, es decir, la eliminación de toda la energía acumulada en un sistema espacial, como quemar el exceso de combustible o la descarga de baterías.

⁴² https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/iadc_mitigation_guidelines_rev_1_sep07.pdf

⁴³ http://css.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/European_code_of_conduct_for_space_debris_mitigation.pdf

⁴⁴ https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2010/stspace/stspace49_0_html/COPUOS-GuidelinesS.pdf

4. Prevención de colisiones en órbita. Cuando se diseña un sistema espacial y se determina el perfil de su misión, debe establecerse un programa que estime y limite la colisión accidental con otros objetos conocidos durante su vida operativa, así como limitar la probabilidad de colisión con los residuos de tamaño más pequeño, teniendo en cuenta posibles maniobras de evitación y la coordinación para las ventanas de lanzamiento.

Código de Conducta Europeo sobre Mitigación de Desechos Espaciales, de 2004

La aplicación de este Código de Conducta (ECoC), elaborado por la Unión Europea, de carácter político y aplicable a las actividades espaciales, es voluntaria y debería ser aplicada por la Agencia Espacial Europea, por las agencias espaciales nacionales dentro de Europa y sus contratistas. También se recomienda su aplicación respecto de cualquier otro proyecto liderado por Europa, o por una entidad europea que actúe fuera de Europa, incluyendo a los operadores.

El Código de Conducta contiene disposiciones compatibles con las Directrices del IADC y más desarrolladas, a las que se les puede otorgar un efecto vinculante mediante instrumentos jurídicos suscritos entre las partes contratantes. Es intención que este Código sea aplicado a todos aquellos sistemas espaciales que estén en órbita alrededor de la Tierra, o que pretendan estarlo, incluyendo los vehículos de lanzamiento y sus partes componentes.

El Código no cubre la seguridad en la fase de lanzamiento, ya que existen reglas específicas para ello, como por ejemplo la Doctrina de la Salvaguardia del CNES (Lanzamientos desde el Centro Espacial de la Guayana) y que viene apoyada por su respectivo reglamento. El manual de la ESA sobre Reducción de Desechos Espaciales (ESA Space Debris Mitigation Handbook) de 2002 fue elaborado por un consorcio industrial y la Agencia Espacial Europea mediante contrato. Es un documento que proporciona información técnica en apoyo a las Directrices europeas sobre reducción de desechos espaciales para reducir el crecimiento de los residuos a un nivel aceptable para las próximas décadas.

Directrices de 2007 para para la Reducción de Desechos Espaciales, elaboradas por COPUOS

Las presentes directrices no son vinculantes en virtud del derecho internacional. Sin embargo, deberían tenerse en cuenta en la

planificación de las misiones y las fases de diseño, fabricación y funcionamiento (lanzamiento, misión y eliminación) de las naves espaciales y las etapas orbitales de los vehículos de lanzamiento:

- Directriz 1: Limitación de los desechos espaciales liberados durante el funcionamiento normal de los sistemas espaciales.
- Directriz 2: Minimización de las posibilidades de desintegración durante las fases operacionales.
- Directriz 3: Limitación de las probabilidades de colisión accidental en órbita.
- Directriz 4: Evitación de la destrucción intencional y otras actividades perjudiciales.
- Directriz 5: Minimización de las posibilidades de que se produzcan desintegraciones al final de las misiones como resultado de la energía almacenada.
- Directriz 6: Limitación de la presencia a largo plazo de naves espaciales y etapas orbitales de vehículos de lanzamiento en la región de la órbita terrestre baja (LEO) al final de la misión.
- Directriz 7: Limitación de la interferencia a largo plazo de las naves espaciales y las etapas orbitales de los vehículos de lanzamiento en la región de la órbita terrestre geosincrónica (GEO) al final de la misión.

En 2010, la delegación de la República Checa y otros Estados miembros propusieron la elaboración de un conjunto de principios basados en las Directrices sobre reducción de desechos espaciales y que serían aprobados mediante resolución especial de la Asamblea General de las Naciones Unidas; sin embargo, aún no se ha hecho.

El Subcomité de Sistemas y Operaciones Espaciales de la Organización Internacional de Normalización (ISO) ha elaborado una norma de alto nivel para la reducción de los desechos espaciales. Se trata de la Norma ISO 24113 (3.ª edición, julio de 2019): los requisitos contenidos en la norma están destinados a reducir el aumento de los desechos espaciales, asegurando que las naves espaciales y las etapas orbitales de los vehículos de lanzamiento se diseñen, exploten y eliminen de manera tal que se prevenga que generen desechos durante toda su vida útil en órbita. Los métodos y procesos que permitirán cumplir esos requisitos se presentarán en una serie de normas de aplicación de nivel menos alto. Las Directrices de la EUMETSAT tienen por objeto estable-

cer la política de la organización sobre la reducción de desechos espaciales que se inspiran en la Norma ISO 24113. Se establece una distinción entre los proyectos en curso, para los que se toma la norma ISO 24113 como referencia, y los proyectos futuros, para los que se propone que sea aplicable la ISO 24113. Las Directrices proponen también un «proceso de exención» y una «entidad autorizadora» en materia de desechos espaciales.

La Propuesta de Código de Conducta Internacional para la realización de actividades en el espacio ultraterrestre, aunque no es precisamente un mecanismo destinado para la protección medioambiental, sin embargo, dispone en su artículo 5 que los Estados pueden adoptar políticas y procedimientos internos para cumplir con las Directrices relativas a la mitigación de residuos espaciales (aún no en vigor).

Especial importancia revisten aquellos objetos espaciales que hayan finalizado su vida útil y lleven a bordo fuentes de energía nuclear. En este sentido, hemos de tener en cuenta los Principios pertinentes a la utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre, aprobados por la Asamblea General en su Resolución 47/68, de 14 de diciembre de 1992⁴⁵, que establece la aplicabilidad del derecho internacional, incluida la Carta de las Naciones Unidas y el Tratado del Espacio de 1967, así como reducir al mínimo la cantidad de material radioactivo en el espacio ultraterrestre, limitándose a aquellas misiones espaciales que no puedan funcionar razonablemente con fuentes de energía no nuclear. En cuanto a las misiones en órbitas cercanas a la Tierra, el objeto espacial deberá colocarse en órbitas suficientemente altas —evitar caída o colisión con otros objetos— o bien en órbitas más bajas pero que al final de su vida operativa se eleve a una órbita muy alta. En cuanto a la protección de las personas, la población y la biosfera de los peligros radiológicos, antes del lanzamiento el Estado deberá realizar una evaluación o análisis de riesgos exhaustivo del sistema de fuente de energía nuclear, a fin de proporcionar seguridad y protección radiológica. Cuando el Estado que haya lanzado un objeto espacial con fuentes de energía nuclear a bordo advierta que existe un riesgo inminente de reentrada descontrolada en la atmósfera terrestre, deberá notificarlo a los Estados interesados y al secretario general de las Naciones Unidas (medidas de precaución). El Estado de lanzamiento deberá prestar asistencia, si el Estado lesionado así

⁴⁵ <https://undocs.org/sp/A/RES/47/68>

se lo solicita, para determinar la zona de impacto y realizar las operaciones de recuperación y limpieza. La responsabilidad internacional del Estado e indemnización se determinarán conforme al derecho internacional y a los principios de justicia y equidad, a fin de reparar el daño como si no hubiese ocurrido.

En 2009 se aprobó el «Marco de seguridad relativo a las fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre»⁴⁶, que contiene una serie de directrices técnicas como complemento a los principios de 1992, elaborado por la Subcomisión Científico-Técnica de COPUOS y la OIEA, y que sirve de guía para que los Estados interesados lo desarrollen en sus legislaciones internas.

Actualmente se está llevando a cabo la misión espacial ExoMars, programa conjunto de exploración de Marte de la Agencia Espacial Europea con la Agencia Espacial Rusa Roscosmos. En el marco de ese programa se lanzó la sonda espacial *ExoMars-2016*, y está previsto el lanzamiento en 2022⁴⁷ de una plataforma de superficie rusa con un vehículo todoterreno europeo a bordo, ambos equipados con fuentes de energía nuclear en forma de fuentes de calor radioisotópicas. La seguridad de estas fuentes de energía se basa en los métodos que aplica la Federación de Rusia y que han sido elaborados de conformidad con las recomendaciones que figuran en el Marco de seguridad relativo a las fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre, y cumplen los principios y los criterios para la utilización segura de fuentes de energía nuclear que se enuncian en los Principios pertinentes a la utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre⁴⁸.

Defensa planetaria

Resulta necesario ofrecer un marco jurídico internacional ante un posible impacto de un asteroide sobre la Tierra.

La historia biológica y geológica de nuestro planeta se ha caracterizado por la evidencia de impactos, repetidos y devastadores, procedentes del espacio exterior. Se cree que, hace 65 millones de años, el impacto de un asteroide causó la extinción de los dinosaurios y del 60% de las especies que habitaban la Tierra. En 1908, la caída de un asteroide de 45 m de diámetro provocó una

⁴⁶ <https://undocs.org/sp/A/AC.105/934>

⁴⁷ <https://www.inta.es/ExoMarsRaman/es/mision-exomars/>

⁴⁸ Documento de trabajo preparado por la Federación de Rusia. <https://undocs.org/pdf?symbol=es/A/AC.105/C.1/L.388>

explosión de 3-5 megatones que arrasó 2000 km a la redonda la región siberiana de Tunguska.

La amenaza más inminente se producirá en el año 2036 cuando el asteroide Apophis (250-270 m de diámetro) pase cerca de la Tierra, lo que generaría una explosión de 500 megatones, ocasionando un gran número de víctimas. Es por este motivo que la ASE (Asociación de Exploradores del Espacio), cuerpo profesional de astronautas y cosmonautas de varios países, presentara en septiembre de 2008 un informe sobre la amenaza que suponía la caída de un asteroide sobre la Tierra.

De este modo, se hace un llamamiento a la comunidad internacional para que dé una respuesta global a este problema, es decir, la preparación, planificación y toma de decisiones ante un posible impacto. La ASE, con su propuesta, insta a las Naciones Unidas para que elaboren un Plan de Defensa Planetaria contra los asteroides.

Ante la interrogante de cuál debe ser el protocolo a seguir en el supuesto de que un asteroide fuera a impactar contra la Tierra, debemos tener en cuenta:

1. Todos los Estados de la comunidad internacional deben ser conscientes del peligro que implica para la humanidad la posibilidad de que un asteroide impacte contra la Tierra. Los asteroides, restos del sistema solar primitivo, son conocidos por sus siglas en inglés como *NEO* (*near earth orbit objects*) o como *PHO* (*potentially hazardous objects*, u 'objetos potencialmente peligrosos'), aquellos que conllevan un riesgo potencial de impactar contra la Tierra, es decir, cuya órbita lo acerca periódicamente hasta una distancia que se define como inferior a 7,5 millones de kilómetros con respecto a la Tierra.
2. Los Estados deben reconocer que la exploración y utilización del espacio ultraterrestre deberá efectuarse en bien de todos los pueblos, como el desarrollo y aplicación de la tecnología espacial necesarios para hacer frente a la amenaza causada por un posible impacto de un asteroide contra la Tierra, que podría causar graves daños a personas y cosas.
3. Los Estados deberán contribuir a una amplia cooperación internacional en lo que se refiere a los aspectos científicos y jurídicos, y de conformidad con el derecho internacional, en interés del mantenimiento de la seguridad internacional (se-

guridad efectiva a escala mundial que haga frente al posible efecto devastador que supondría la caída de un asteroide sobre la Tierra). El posible impacto de Apophis en el año 2036 hace que debamos proceder en primer lugar a la observación y rastreo de los NEO. La contribución más importante la proporciona la NASA, que financia cinco grupos de búsqueda que manejan nueve telescopios de observación de 1 m en toda la región suroccidental de los EE.UU. y uno en Australia. Además, EE.UU. realiza operaciones con dos radares planetarios: *Goldstone* (sur de California) y *Arecibo* (Puerto Rico). La Agencia Espacial Europea está desarrollando el telescopio *Flyeye*. Su diseño, inspirado en los ojos de algunos insectos, le proporcionará un campo de visión nocturno y mucho más amplio que los telescopios convencionales. Se espera que en 2022 esté operativo y sea el primero de una red completamente automatizada y cuyos datos se enviarán al Centro de Planetas Menores, a fin de observar las órbitas de los objetos cercanos a la Tierra y detectar su probabilidad de impacto.

4. Aquellos Estados que tienen una gran experiencia en actividades espaciales y conocimiento suficiente en los aspectos relativos a la exploración espacial deberán tomar todas las medidas necesarias para evitar un impacto de un asteroide sobre la Tierra, especialmente la detección temprana y seguimiento de asteroides cuyas órbitas puedan cruzar con la de la Tierra. Por tanto, es necesario establecer unas medidas de prevención como la puesta en marcha de una red de información, análisis y alerta, un grupo de operaciones y planificación de las misiones que proponga la manera más adecuada de desviar un asteroide, para posteriormente proceder a la toma de decisiones sobre la campaña de desviación.
5. Los Estados deberán esforzarse en proceder a una coordinación a nivel global que reduzca la posibilidad de impacto y, en caso que este se produzca, elaborar unas medidas adecuadas para la evacuación segura de personas, es decir, elaborar una estrategia tanto de reducción de riesgos o prevención, como una capacidad de reacción rápida en el supuesto de asteroides o cometas que se presenten como un peligro inmediato (recién descubiertos o no identificados), procediendo a la evacuación en la zona de impacto, destacando la necesidad de unos programas de fondos es-

tructurales y de cohesión, así como una estrategia de rehabilitación de los daños producidos por un objeto cercano a la Tierra (cometas y asteroides).

6. Los Estados que tengan un mayor conocimiento, por su desarrollo tecnológico, deberán poner en conocimiento de los demás Estados de la comunidad internacional, en el foro apropiado, la posibilidad de un eventual impacto de un asteroide o similar. La Unión Astronómica Internacional, junto con la Fundación Spaceguard, presentan informes relativos a los riesgos que presentan los OCT. El Centro de Planetas Menores y la Unión Astronómica Internacional han servido desde 1978 como punto de coordinación internacional de todas las mediciones astrométricas de asteroides, cometas y satélites obtenidas en el mundo. La IAF cuenta con un comité técnico para objetos cercanos a la Tierra, y COPUOS con el Equipo de Acción sobre Objetos Cercanos a la Tierra, al objeto de coordinar mejor las observaciones de los OCT, así como la presentación de un proyecto de procedimiento para hacer frente a las amenazas a nivel internacional. La amenaza más inmediata son los OCT con un diámetro igual o superior a 140 m y aquellos de naturaleza binaria, acompañados de lunas.

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 del Equipo de Acción sobre Objetos Cercanos a la Tierra, con el fin de ofrecer una respuesta internacional coordinada a la amenaza de impacto de objetos cercanos a la Tierra, 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 objetos cercanos a la Tierra potencialmente peligrosos. 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 impacto⁴⁹.

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 expertos legales como técnicos. Estos últimos

⁴⁹ https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2017/aac_105c_12017crp/aac_105c_12017crp_25_0_html/AC105_C1_2017_CRP25E.pdf

aclararán cualquier pregunta técnica de los primeros. 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 opiniones que se expresan en este documento conciernen a los expertos y de ningún modo representan la posición de agencias espaciales, Gobiernos o ministerios. Las conclusiones tratan de varias cuestiones, entre ellas del 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 proporcionado 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.

7. Una vez que los Estados hayan sido informados del posible impacto de un asteroide contra la Tierra, deberán valorar la situación de peligrosidad, informe que deberá notificarse al secretario general de las Naciones Unidas, a la comunidad científica y al público en general (sin ánimo de alertar a este último, pero que tenga conocimiento real de la situación).
8. En el supuesto de peligro inminente o que se tengan suficientes motivos para creer que el impacto vaya a ocurrir, en base a informes del comité de científicos expertos (seguimiento y rastreo del asteroide) se procederá a valorar qué fórmula es la más adecuada para evitar la colisión.

En la praxis, Hera constituye la aportación europea a una colaboración internacional de defensa planetaria formada por científicos

Europeos y estadounidenses denominada Evaluación del Impacto y Desvío de un Asteroide (AIDA), dentro del cual se engloban las misiones Dart y Hera. Ambas tendrán por destino el sistema binario de asteroides Didymos, cuyo cuerpo principal mide unos 780 metros de diámetro, y el más pequeño, Dimorphos, de 160 metros. El objetivo es lograr que un satélite colisione con el menor de los asteroides para desviarlo de su trayectoria, cometido de Dart, y luego estudiar los efectos del impacto gracias a Hera⁵⁰. España está desarrollando el avanzado sistema de guiado, navegación y control de Hera, así como el sistema de comunicaciones de espacio profundo. También suministra el gravímetro de Juventas⁵¹.

Legislaciones espaciales nacionales

La Comisión sobre Utilización Pacífica del Espacio Ultraterrestre alienta a los Estados a que desarrollen sus propias legislaciones espaciales nacionales de conformidad con el Tratado del Espacio y los convenios que lo desarrollan y complementan. Más concretamente, que los Estados cuenten con una ley sobre actividades espaciales donde se contemple el otorgamiento de licencias a los operadores privados, puesto que el Estado debe, de conformidad con el artículo VI del Tratado de 1967, autorizar y fiscalizar las actividades que lleven a cabo en el espacio ultraterrestre sus organismos no gubernamentales, pues en última instancia la responsabilidad internacional la ostenta el Estado.

El primer Estado que dispuso de una Ley sobre el lanzamiento de objetos espaciales fue Noruega, en 1969. Se trata de una ley muy breve, que cuenta con tres apartados. En el primero se dispone que es necesario el permiso o autorización expresa, por el Ministerio correspondiente (no se dice cuál), para permitir el lanzamiento de objetos al espacio ultraterrestre desde el territorio noruego, incluidos Svalbard, Jan Meyen y los territorios externos noruegos. También se necesitará autorización para las naves y aeronaves noruegas, y respecto de aquellas áreas que no estén sujetas a soberanía de ningún Estado cuando el lanzamiento sea llevado a cabo por un ciudadano noruego o persona que tenga su residencia habitual en Noruega. En el apartado II aclara que

⁵⁰ <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20200915/483496974572/esa-contrato-mision-hera-desviar-asteroides.html>

⁵¹ https://www.mundo-geo.es/conocimiento/defensa-planetaria-europea-se-pone-en-marcha_208626_102.html

el ministro puede establecer regulaciones con respecto al control y otros asuntos. Y, por último, que esta ley entra en vigor inmediatamente⁵².

Suecia, en 1982, aprobó su Ley sobre actividades espaciales⁵³, que consta de seis secciones, siendo también una ley breve, aunque más extensa que la noruega, donde se establece que esta ley se aplicará a todas aquellas actividades que se lleven a cabo en el espacio ultraterrestre, incluido el lanzamiento y aquellas que de una u otra manera afecten a los objetos lanzados. Para llevar a cabo actividades espaciales, tanto en territorio sueco como por personas físicas y jurídicas, fuera del territorio, es necesaria una licencia que será otorgada por el Gobierno a través de la autoridad que este designe. Se contempla la posibilidad de retirada de la licencia cuando no se cumplan los requisitos por la que se otorgó; además, se prevé la retirada temporal. En la sección 5 se contempla hasta un año de prisión cuando el presunto infractor lleve a cabo actividades espaciales sin licencia, o bien, que, aun disponiendo de ella, no cumpla con los requisitos necesarios por los cuales la obtuvo. Especial importancia reviste la sección 6, donde se establece que, en el supuesto de responsabilidad por daños, la entidad no gubernamental deberá reembolsar al Estado sueco el importe de la indemnización que este satisfizo a la víctima de los daños ocasionados, pues, como hemos comentado previamente, el Estado es responsable internacionalmente por las actividades de sus nacionales. No obstante, en la sección 6 *in fine* se contempla una posibilidad de excepción al reembolso por razones especiales, que no detalla.

Suecia cuenta, además, con un Decreto sobre actividades espaciales, también de 1982⁵⁴. Se compone de cuatro secciones. En la primera se establece que la solicitud de la licencia deberá de hacerse de conformidad con la Ley sobre actividades espaciales de 1982, por escrito a la Junta Nacional de Actividades Espaciales (National Board for Space Activities), que, a su vez, consultará a los ministerios y entidades afectadas a fin de valorar sobre el otorgamiento de la licencia. La Junta Nacional será la que ejerza

⁵² *Act on launching objects from Norwegian territory into outer space*. 13 June, No. 38, 1969, https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/norway/act_38_1969E.html

⁵³ *Act on Space Activities (1982:963)*. https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/sweden/act_on_space_activities_1982E.html

⁵⁴ *Decree on Space Activities (1982:1069)*. https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/sweden/decree_on_space_activities_1982E.html

el control de las actividades espaciales, y cuando observe que se ha infringido la Ley sobre actividades espaciales, informará al Gobierno. En la sección 4 del Decreto se confirma que la Junta Nacional será la encargada de llevar un registro nacional de objetos espaciales en el que, de conformidad con el Convenio sobre el Registro de 1975, se proporcionará: una designación o número de registro del objeto espacial; la fecha, territorio o lugar de lanzamiento; los parámetros orbitales básicos (periodo nodal, inclinación, apogeo y perigeo) y la función general del objeto espacial. Por último, la Junta facilitará, a través del Ministerio de Asuntos Exteriores, información del registro al secretario gde las Naciones Unidas. Sin embargo, no se hace mención expresa respecto de aquellos objetos espaciales que ya no estén en órbita terrestre o hayan finalizado su vida útil.

La Ley sobre el Espacio Ultraterrestre de Reino Unido (1986)⁵⁵ se compone de quince artículos que desarrollan más profundamente el otorgamiento de licencias a los operadores que las leyes que hemos visto anteriormente. Esta ley se aplica a las actividades que se lleven a cabo dentro o fuera del Reino Unido respecto al lanzamiento de un objeto espacial, su operación o cualquier actividad en el espacio. Asimismo, se aplica a los nacionales del Reino Unido, las empresas escocesas y organismos incorporados en virtud de la legislación de cualquier parte del Reino Unido. Por «nacional del Reino Unido» se entiende aquel que tenga la condición de ciudadano británico, ciudadano británico de territorios dependientes, ciudadano británico de ultramar, así como cualquier persona protegida británica en el sentido de esa ley.

Respecto a las licencias, la ley distingue la prohibición de actividades sin licencia, concesión, términos y transferencia, variación, suspensión o terminación de la licencia. No se requiere una licencia cuando una persona actúa como empleado o agente de otro, también respecto de las actividades certificadas por orden del Consejo cuando se haya llegado a acuerdos entre el Reino Unido y otro país para garantizar el cumplimiento con las obligaciones internacionales del primero, o bien mediante orden del secretario de Estado.

Respecto a la concesión de la licencia, el artículo 4 establece que será el secretario de Estado el que otorgue la licencia cuando no se

⁵⁵ *Outer Space Act. 1986*, CHAPTER 38. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/295760/outer-space-act-1986.pdf

comprometa la salud pública o la seguridad de personas y bienes, cuando se actúe de conformidad con las obligaciones internacionales del Reino Unido y cuando no se ponga en peligro o deteriore su seguridad nacional. El secretario de Estado puede regular la forma y contenido de las solicitudes de las licencias, incluido su procedimiento de autorización y rectificación, en su caso.

El artículo 5 establece ocho condiciones necesarias para el otorgamiento de una licencia:

- a) Permitir la inspección por el secretario de Estado a las instalaciones y equipos del licenciatario.
- b) El licenciatario deberá proporcionar al secretario de Estado, a la mayor brevedad, información relativa a la fecha, territorio o lugar de lanzamiento y los parámetros orbitales básicos, incluidos el periodo nodal, inclinación, apogeo, perigeo y cualquier otra información que el secretario estime afecte a la naturaleza, marcha, localización y resultados de las actividades del licenciatario.
- c) Permitir que el secretario de Estado inspeccione y haga copias de los documentos concernientes a la información que deba otorgársele.
- d) Requerir al licenciatario que obtenga, previa aprobación del secretario de Estado, cuando intencionadamente haya una desviación de los parámetros orbitales; y, en caso de que la desviación no sea intencionada, comunicárselo inmediatamente.
- e) Requerir al licenciatario que lleve a cabo sus actividades de tal modo que evite contaminar el espacio ultraterrestre o produzca cambios adversos en el medioambiente de la Tierra, que no produzca interferencias con actividades de otros Estados en la exploración y utilización pacífica del espacio ultraterrestre, evitar cualquier violación de las obligaciones internacionales en las cuales el Reino Unido sea parte y preservar la seguridad nacional.
- f) Exigir al licenciatario que suscriba un seguro por los daños que pudiera ocasionar a terceros como resultado de las actividades autorizadas por la licencia.
- g) Eliminación de la carga útil cuando finalicen las operaciones de conformidad con la licencia.
- h) Informe sobre la expiración de la licencia.

El artículo 6 dispone que una licencia puede ser transferida mediante consentimiento escrito del secretario de Estado. Este último puede revocar, variar o suspender una licencia con el consentimiento del licenciario, o bien, cuando cualquier condición de una licencia o regulación relacionada no se haya cumplido, o cuando la revocación, variación o suspensión de la licencia se produzca en interés de la salud pública, seguridad nacional o con cualquier obligación internacional del Reino Unido.

El secretario de Estado será el encargado de llevar el registro nacional de objetos espaciales (art. 7) y de velar por el cumplimiento de las condiciones de las licencias por parte del operador.

El artículo 10 establece la obligación por parte del licenciario de indemnizar al Gobierno contra reclamaciones respecto de los daños o pérdidas que puedan surgir como consecuencia de las actividades espaciales que lleve a cabo el operador, salvo que una persona actúe como empleado o agente de otra, o bien porque el daño o pérdida derive de las instrucciones del secretario de Estado. Este artículo, al igual que la Ley sobre actividades espaciales sueca (Sección 6), es importante, pues los Estados se aseguran un mecanismo de reembolso cuando el operador haya causado un daño a un tercero, y el Estado tenga que hacer frente a su obligación internacional de responsabilidad por daños.

En 2018, el Reino Unido aprobó la Ley sobre Industria Espacial⁵⁶, en la que se regulan las actividades espaciales, las actividades suborbitales y actividades asociadas llevadas a cabo por el Reino Unido. Las actividades espaciales y las suborbitales se denominarán en esta Ley *spaceflight activities*, es decir, 'actividades de vuelo espacial'.

La Ley distingue entre la aeronave que no es capaz de operar por encima de la estratosfera y pueda utilizarse para transportar un vehículo espacial, y el vehículo espacial propiamente dicho, que es el destinado a realizar vuelos espaciales.

El operador de un vuelo espacial debe contar con una licencia, así como también aquel que quiera operar un puerto espacial (*space port*), salvo determinados supuestos contemplados en la ley y siempre que no se comprometa la salud pública o la seguridad de personas y bienes, cuando se actúe de conformidad con las obli-

⁵⁶ *Space Industry Act 2018. UK Public General Acts 2018 c. 5.* <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2018/5/section/1/enacted>

gaciones internacionales del Reino Unido y cuando no se ponga en peligro o deteriore su seguridad nacional.

Respecto a la regulación, se prevé que una persona responsable de determinar una solicitud especifique: el formulario y el contenido de una solicitud de licencia; información que se proporcionará en relación con una solicitud; el procedimiento para rectificar las irregularidades procesales; plazos para hacer cualquier cosa necesaria para realizarse en relación con una solicitud y el procedimiento para extender cualquier periodo así prescrito. Incluso, la inspección de sitios, instalaciones, equipos, vehículos espaciales y otros vehículos, y la obtención de información, ya sea inspeccionando documentos, entrevistando a individuos o de otra manera.

En lo que concierne a la concesión de licencias al operador de un vuelo espacial, es necesario que este haya realizado una evaluación de los riesgos en relación a la salud y la seguridad de las personas que participen en las actividades espaciales objeto de la licencia, como para la salud, seguridad y propiedad de las demás personas, debiendo de tomar todas las medidas razonables para garantizar que los riesgos sean lo más bajos posible y que el nivel de estos sea aceptable. La participación en actividades de vuelos espaciales incluye ser transportado en un vehículo espacial o en una aeronave sin participar en el funcionamiento de la misma. En lo relativo a la concesión de una licencia a un operador de un puerto espacial, el solicitante debe adoptar todas las medidas razonables para garantizar que los riesgos para la seguridad pública sean lo más bajos posibles, cumpliendo con los requisitos prescritos. Los solicitantes de una licencia tanto para vuelos espaciales como para un puerto espacial deben presentar un informe sobre los impactos ambientales.

A fin de decidir qué condiciones incluir en una licencia en virtud de esta ley, el regulador debe consultar a: la Autoridad de Aviación Civil (si el regulador no es dicha autoridad); al secretario de Estado (si el regulador no es el secretario de Estado); al Ejecutivo de Salud y Seguridad (en el caso de un puerto espacial en Gran Bretaña) o al Ejecutivo de Salud y Seguridad de Irlanda del Norte (en el caso de un puerto espacial en Irlanda del Norte); a la Oficina de Regulación Nuclear; a la Autoridad de Seguridad en Defensa, y a cualquier otra persona que el regulador considere apropiada si la licencia propuesta da lugar a cualquier cuestión relativa a los controles comerciales o la seguridad nacional.

Una licencia en virtud de esta ley podrá concederse por un periodo determinado. El regulador podrá renovar una licencia a solicitud del licenciataria, por un periodo especificado adicional. Si el regulador no es el secretario de Estado, debe consultar a este último antes de renovar una. También se contempla la posibilidad de transferencia de la licencia a otro operador, así como la variación, revocación y suspensión de una licencia en interés de la seguridad nacional, del cumplimiento con cualquier obligación internacional del Reino Unido o cualquier otro asunto que pueda afectar al interés nacional.

En lo que atañe al consentimiento informado, el titular de una licencia de operador (el licenciataria) no debe permitir que una persona participe en actividades de vuelos espaciales a menos que el individuo haya otorgado su consentimiento para aceptar los riesgos involucrados en esas actividades, y cumpla con los criterios prescritos con respecto a la edad y la capacidad mental. El consentimiento para aceptar los riesgos involucrados en las actividades de vuelos espaciales debe plasmarse mediante la firma de un documento (formulario de consentimiento) que dé detalles de la evaluación de riesgos llevada a cabo para esas actividades. Si el licenciataria permite que el participante en una actividad espacial no firme el consentimiento, incurrirá en delito. El consentimiento informado de participantes en vuelos espaciales se recoge también en las siguientes leyes estatales estadounidenses: Virginia (2007), Nuevo México (2010), Florida y Texas (2011), California y Colorado (2012)⁵⁷.

Respecto al entrenamiento, calificaciones y condición física médica, los reglamentos (mencionados en esta ley como «reglamentos de capacitación») pueden prever con respecto a la capacitación, cualificación y aptitud médica de las personas, participar en actividades de vuelos espaciales o en la prestación de servicios de control de alcance, o trabajar en sitios utilizados para o en relación con actividades de vuelos espaciales o la prestación de servicios de control de rangos.

El artículo 20 de la ley trata de la investigación de accidentes. En este sentido, los reglamentos podrán prever la investigación de los accidentes, ya sea ocurridos en el Reino Unido o en otros lugares, que surjan de o en el curso de actividades de vuelos espaciales (incluidas las actividades a las que se aplica la Ley del Reino Unido sobre Espacio Ultraterrestre, de 1986).

⁵⁷ GONZÁLEZ FERREIRO, Elisa Celia. *Código Espacial...*, op. cit., pp. 775 y ss.

Además, los reglamentos pueden establecer una disposición correspondiente a la que pueda formularse en virtud de la subsección (3) del artículo 75 de la Ley de Aviación Civil de 1982 (investigación de accidentes); establecer disposiciones que atiendan a una persona que incurra en gastos en la realización de una investigación en virtud de la normativa para recuperar esos gastos de las personas prescritas o en relación con ella. En este contexto, el término *accidente* incluye cualquier evento fortuito o inesperado por el cual la seguridad de cualquier vehículo o persona está amenazada. Esta sección no limita las facultades de ninguna autoridad en virtud de los artículos 245 a 247 y los artículos 252 a 254 de la Ley de Transporte Marítimo Mercante de 1995.

Respecto a la seguridad, la ley distingue entre las regulaciones relativas a la *safety* (art. 19) y las relativas a la *security* (art. 23). Respecto a la *safety*, esta tendrá como objetivos conseguir el funcionamiento seguro de los puertos espaciales, de las instalaciones de gestión de misiones y de las actividades de vuelos espaciales. Por lo que respecta a la *security*, la finalidad es garantizar la seguridad de las actividades de vuelos espaciales, servicios de control de rangos, actividades asociadas con actividades de vuelos espaciales o servicios de control de rangos, instalaciones en relación con estas actividades, incluidas las que tengan fines de capacitación, y garantizar la seguridad de los vehículos espaciales y sus cargas útiles.

El licenciataria, en virtud del artículo 24, podrá regular mediante estatutos el uso y el funcionamiento del puerto espacial, y la conducta de las personas dentro de él, con el fin de garantizar la seguridad de las actividades de vuelos espaciales y actividades contributivas, así como la seguridad de los vehículos espaciales y cargas útiles. Además, los estatutos pueden prever regular el tráfico vehicular en cualquier lugar dentro del puerto espacial, excepto en las carreteras dentro del puerto espacial al que se aplican las infracciones de tráfico por carretera, y en particular (con dicha excepción) para imponer límites de velocidad a los vehículos y para restringir o regular el estacionamiento de vehículos o su uso para cualquier fin o de cualquier manera especificada en los estatutos; prohibir o restringir el acceso a cualquier parte del puerto espacial a fin de preservar el orden y prevenir daños a la propiedad y para exigir a cualquier persona, si así lo solicita un agente de policía o un funcionario de un puerto espacial, que abandone este último, o cualquier parte en particular del mismo,

o que indique su nombre y dirección y propósito para estar dentro del puerto espacial.

Asimismo, se permitirá el acceso a personas autorizadas en caso de emergencia producida en relación con los vuelos espaciales mediante autorización escrita y con una vigencia de cuarenta y ocho horas. Las emergencias, además, incluyen los casos que supongan un riesgo a la seguridad nacional, que contravengan las obligaciones internacionales del Estado o se trate de un riesgo a la salud y seguridad de las personas.

Respecto al operador, este tendrá una responsabilidad adecuada a los términos de la licencia; por tanto, en caso de que la indemnización por daños a terceros supere el montante del seguro, la diferencia la cubrirá el Estado. También se prevé la indemnización del operador al Estado en caso de cualquier reclamación presentada contra el Gobierno, o la persona u organismo, con respecto al daño o pérdida que surja de o en relación con las actividades del operador.

El artículo 61 de la ley contempla que el secretario de Estado debe mantener un registro de lanzamientos que hayan tenido lugar desde los puertos espaciales en el Reino Unido, cuando un vehículo/objeto espacial vaya más allá de la estratosfera, o respecto de un globo que llegue a la estratosfera transportando tripulación o pasajeros. En relación con cada lanzamiento, el registro debe incluir la información que el secretario de Estado considere apropiada, como la fecha del lanzamiento, el puerto espacial desde el que tuvo lugar el lanzamiento, la naturaleza de cada vehículo espacial o aeronave lanzados y el propósito del lanzamiento. El público podrá obtener del registro dicha información de forma gratuita. De conformidad con el artículo 7 de la Ley del Espacio Ultraterrestre del Reino Unido de 1986, se permite el mantenimiento de un único registro de lanzamientos y objetos espaciales.

Durante el tiempo transcurrido entre la Ley sobre el Espacio Ultraterrestre de 1986 y la Ley sobre Industria Espacial de 1998, ambas aprobadas por el Reino Unido, otros Estados fueron regulando sus actividades espaciales, como Rusia (1993), Sudáfrica (1995), Ucrania (1996), Australia (1998), Estados Unidos (2004), Bélgica (2005), Corea (2005), Holanda (2006), Francia y Japón (2008), y, con posterioridad, Austria (2011), Kazajistán (2012), Dinamarca (2016), Finlandia (2018) y Portugal (2019). A la vista de los nuevos ítems que fueron introduciendo estas leyes, conseguimos tener un panorama lo más completo posible.

De este modo, la Ley de la Federación de Rusia sobre Actividades Espaciales de 1993⁵⁸ ofrece el concepto de actividad espacial como cualquier actividad conectada con las operaciones de exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluida la Luna y otros cuerpos celestes, incluyendo, pero no limitado a las investigaciones espaciales, las comunicaciones espaciales, la teleobservación, sistemas de navegación por satélite, misiones espaciales tripuladas, la manufactura de materiales en el espacio, así como cualquier otro tipo de actividad que se lleve a cabo con ayuda de tecnología espacial.

Según la ley rusa, los objetivos de las actividades espaciales son: promocionar el bienestar de los ciudadanos, el desarrollo del Estado velando por su seguridad, así como intentar resolver problemas globales de la humanidad. En definitiva, el desarrollo de la ciencia y tecnologías espaciales, eficiencia económica, y asegurar las capacidades de defensa y control de la Federación de Rusia cumpliendo los acuerdos internacionales relativos a armamento y fuerzas armadas.

Las actividades espaciales de la Federación se rigen por una serie de principios tasados en esta ley: los ciudadanos y las organizaciones tienen derecho a participar en actividades espaciales; acceso a información sobre la actividad espacial; uso de los resultados de la actividad espacial en interés de los clientes con la debida consideración de los derechos de las organizaciones y ciudadanos que participan en la actividad espacial; introducción de los logros de la ciencia y la tecnología espaciales en la economía nacional; restricción de la actividad monopólica y el desarrollo de la actividad empresarial; independencia de la experiencia en cuestiones de actividad espacial; la seguridad en la actividad espacial, incluida la protección del medio ambiente; promoción de la cooperación internacional en el ámbito de la actividad espacial; y la responsabilidad internacional del Estado por la actividad espacial realizada bajo su jurisdicción.

A fin de garantizar la seguridad estratégica y ecológica, está prohibido en la Federación de Rusia: poner en órbita alrededor de la Tierra o desplegar en el espacio exterior armas nucleares y cualquier otro tipo de armas de destrucción masiva; probar tales armas en el espacio ultraterrestre; utilizar objetos espaciales y

⁵⁸ LAW of the RUSSIAN FEDERATION «ABOUT SPACE ACTIVITY». Decree No. 5663-1 of the Russian House of Soviets. https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/russian_federation/decrees_5663-1_E.html

otras tecnologías espaciales como herramienta para influir en el medio ambiente con fines militares y otros fines hostiles; utilizar la Luna y otros cuerpos celestes con fines militares; crear una amenaza inmediata deliberada a la seguridad de la actividad espacial, incluida la seguridad de los objetos espaciales; crear contaminación dañina del espacio exterior que conduce a cambios desfavorables del medio ambiente, incluyendo la eliminación deliberada [¿destrucción?] de objetos espaciales en el espacio exterior; así como otras actividades espaciales que estén prohibidas por los tratados internacionales en los que la Federación de Rusia es parte.

La difusión de información sobre las actividades espaciales se llevará a cabo de conformidad con la legislación de la Federación de Rusia sobre la protección de los derechos de propiedad intelectual, el Estado (incluido el militar) y el secreto comercial. Además, se difundirá sin restricciones la información relativa a los planes de lanzamiento de objetos espaciales y sus cambios, los proyectos espaciales y el curso de su realización, las asignaciones presupuestarias para las actividades espaciales, los incidentes y accidentes mientras se lleva a cabo la actividad espacial y los daños debido a este tipo de accidentes.

En el artículo 6 se establece que la Agencia Espacial Rusa⁵⁹ será un órgano de poder ejecutivo federal responsable de llevar a cabo actividades espaciales con fines científicos y de economía nacional bajo la jurisdicción de la Federación de Rusia, de conformidad con su política espacial. La Agencia es competente para elaborar el proyecto de programa espacial de la Federación de Rusia en coordinación con el Ministerio de Defensa, la Academia Rusa de las Ciencias y otros clientes estatales que trabajen en la creación y utilización de la tecnología espacial. La utilización de la tecnología espacial se llevará a cabo con fines científicos, de economía nacional y de seguridad y defensa del Estado. La Agencia Espacial Rusa emitirá las licencias para las actividades espaciales a fin de que estas sean seguras. También se contempla la cooperación internacional con otros Estados a través de acuerdos apropiados.

Cuando la actividad espacial tenga como fin la defensa y seguridad de la Federación de Rusia, será competente el Ministerio de Defensa, que se encargará de la aplicación del programa a largo

⁵⁹ GOVERNMENT OF RUSSIAN FEDERATION RESOLUTION of May 15, 1995. N 468 Moscow. Regulations of the Russian Space Agency. https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/russian_federation/resolution_468_1995E.html

plazo y de los planes anuales de obras de creación y utilización de tecnología espacial militar en colaboración con otros ministerios y departamentos de la Federación de Rusia. El Ministerio de Defensa tendrá derecho a transferir temporalmente objetos de infraestructura espacial bajo su jurisdicción a la Agencia Espacial Rusa sobre una base contractual que se utilizará para actividades espaciales con fines científicos y de economía nacional.

En cuanto al programa espacial de la Federación de Rusia, será el documento sobre la base del cual se formará la orden estatal para la creación y utilización de tecnología espacial con fines científicos y de economía nacional. La legislación de la Federación de Rusia determinará el procedimiento de interacción de la Agencia Espacial Rusa y el Ministerio de Defensa en la elaboración y aprobación del Programa Espacial Federal, el programa a largo plazo y los planes anuales de obras para crear y utilizar tecnología espacial militar. El Programa Espacial Federal de Rusia se elaborará de conformidad con los resultados de una competición de proyectos espaciales presentada por los ministerios y departamentos de la Federación de Rusia, las organizaciones y los ciudadanos interesados. El Programa Espacial tendrá en cuenta la situación económica, científica e industrial del país, la necesidad de un desarrollo integral en el espacio y los segmentos terrestres de la infraestructura espacial, los intereses de los usuarios y productores de tecnologías espaciales, las condiciones del mercado espacial mundial y las obligaciones internacionales de la Federación, así como la ampliación de cooperación internacional⁶⁰.

En lo que se refiere a licencias de actividad espacial, el artículo 9 dispone que se concederán respecto de aquellas actividades espaciales que tengan fines científicos y de economía nacional. Pueden optar a la licencia las organizaciones y ciudadanos de la Federación y también los ciudadanos extranjeros, bajo la jurisdicción rusa, si la actividad incluye pruebas, fabricación, almacenamiento, preparación para el lanzamiento y lanzamiento de objetos espaciales, así como control sobre vuelos espaciales. Los tipos, formularios y términos de licencias, las condiciones y procedimientos para su expedición, retención, suspensión o terminación, así como otras cuestiones de concesión de licencias,

⁶⁰ Decree No 422, «On Measures to Fulfil the Russian Federal Space Program and International Space Agreements». https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/russian_federation/decre_e_422_1996E.html

estarán regulados por la legislación de la Federación de Rusia⁶¹. La realización de actividades espaciales por parte de una organización o un ciudadano sin licencia o en violación deliberada de los términos de la licencia se sancionará en virtud de la legislación rusa. Las acciones de los organismos estatales para autorizar la actividad espacial pueden ser reclamadas en el tribunal de justicia o en el tribunal de arbitraje.

Respecto a la financiación de la actividad espacial con fines científicos y de economía nacional, se ejecutará con cargo al presupuesto republicano de la Federación de Rusia, de conformidad con el Programa Espacial, y figurará como una partida separada. La financiación de la actividad espacial a efectos de defensa y seguridad quedarán incluida en los gastos de defensa. El cliente estatal y el contratista tendrán derecho a recurrir a fuentes de financiación no presupuestarias, incluidos sus propios recursos, siempre que esto no contradiga los objetivos del proyecto espacial. Las organizaciones y los ciudadanos que participen en la ejecución de proyectos espaciales recibirán, de conformidad con los procedimientos establecidos, garantías estatales, créditos blandos, exenciones fiscales y otros privilegios necesarios.

A fin de apoyar y promover la ciencia y la industria espaciales, se creó el Fondo Espacial de la Federación de Rusia (artículo 13), cuyos activos provienen de asignaciones del presupuesto republicano, de fondos extrapresupuestarios creados por clientes estatales para obras a fin de crear y utilizar tecnología espacial, por parte del beneficio recibido por organizaciones y ciudadanos a expensas de la exención fiscal concedida en relación con la actividad espacial; por el beneficio resultante de la realización de proyectos espaciales financiados por el Fondo Espacial Ruso; por pagos de seguros realizados por organizaciones y ciudadanos involucrados en actividades espaciales en forma de seguro obligatorio o voluntario; y mediante contribuciones voluntarias de organizaciones y ciudadanos rusos y extranjeros.

Los recursos del Fondo Espacial Ruso se destinarán a financiar el Programa Espacial Federal de Rusia en coordinación con la Agencia Espacial Rusa y otros clientes para obras de creación y utilización de tecnología espacial, para apoyar proyectos espaciales que impliquen innovación y conversión militar, así como

⁶¹ No 104 - Statute on Licensing Space Operations. 1996. https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/russian_federation/decre_104_1996E.html

hacia proyectos de utilización de los resultados de la actividad espacial, entre otros, para la promoción de la ciencia, la educación y la cultura. En la distribución de los recursos del Fondo Espacial Ruso se dará prioridad a proyectos de investigación innovadores y proyectos económicos, sociales y de otro tipo de alta eficiencia. También se emplearán los recursos del Fondo para garantizar los riesgos relacionados con la actividad espacial y eliminar los efectos posteriores a los accidentes, que pueden resultar de dicha actividad. El Fondo funcionará de conformidad con los Estatutos aprobados por el Consejo de Ministros, el Gobierno de la Federación de Rusia en coordinación con el Soviet Supremo de la Federación de Rusia.

La Ley Espacial rusa contempla en sus disposiciones la transferencia de tecnología espacial siempre con respeto a los derechos de propiedad intelectual, aunque el producto se haya creado en el espacio ultraterrestre, y pertenecerá a la organización o ciudadanos que posean los derechos de propiedad en los componentes de la tecnología espacial que se hayan utilizado para la creación del producto, a menos que otra cosa se disponga en los acuerdos que se celebren a tal efecto.

Respecto a los objetos espaciales, el artículo 17 dispone que serán registrados y marcados para certificar su pertenencia a la Federación de Rusia. La Federación retendrá la jurisdicción y control sobre los objetos inscritos, estableciéndose una zona mínima necesaria para lograr la seguridad de estos. Los derechos de propiedad sobre tales objetos no variarán por el simple hecho de que se encuentren en el espacio ultraterrestre o en un cuerpo celeste, a menos que se disponga otra cosa.

Las infraestructuras espaciales consistirán en: cosmódromos⁶², instalaciones y complejos de lanzamiento, complejos de instrumentación y mando, centros de control de vuelo de objetos espaciales, bases de almacenamiento de equipos espaciales, pistas de aterrizaje, instalaciones experimentales para la creación de tecnología espacial, centros y equipos de capacitación de cosmonautas y cualquier otro tipo de equipo e instalaciones terrestres utilizadas para llevar a cabo actividades espaciales, incluidas las móviles.

⁶² Russian Presidential Edict No 2005: «On the Organization of the Further Utilization of the Baikonur Cosmodrome in the Interests of the Russian Federation's Space Activity» (signed 24 October 1994). https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/russian_federation/edict_2005_1994E.html

Respecto al control de vuelos espaciales en todas las etapas, desde el lanzamiento de un objeto espacial de la Federación de Rusia hasta la finalización del vuelo, será ejercido por las organizaciones encargadas del terreno y otros objetos de la infraestructura espacial. El lanzamiento y aterrizaje de objetos espaciales de la Federación de Rusia se llevará a cabo en una zona preestablecida en virtud de un acuerdo realizado con los órganos de poder y administración estatales apropiados. En caso de accidentes, incluidos fallos y accidentes, mientras se realiza actividad espacial, el aterrizaje de objetos espaciales de la Federación de Rusia puede realizarse en otras regiones con el aviso de los órganos apropiados de una autoridad y gestión estatales. La maniobra de objetos espaciales en el espacio aéreo de la Federación de Rusia se ejecuta en vista de los requisitos de la legislación, que regula el uso del espacio aéreo de la Federación de Rusia. El objeto espacial de un Estado extranjero puede ejecutar un único vuelo inocente a través del espacio aéreo de la Federación de Rusia con el fin de insertar tal objeto en el espacio exterior, así como con el propósito de devolverlo a la Tierra bajo la condición de señalar previamente el tiempo, lugar, trayectoria y otras condiciones de dicho vuelo.

El artículo 20, relativo a los cosmonautas y tripulaciones de objetos espaciales tripulados, dispone que los ciudadanos de la Federación de Rusia que expresen su deseo de participar en vuelos espaciales y cumplir los requisitos profesionales y médicos establecidos, serán seleccionados para la preparación y realización de vuelos espaciales sobre la base de la competencia que se determinará principalmente por la Agencia Espacial Rusa y el Ministerio de Defensa. La formación de las tripulaciones y la aprobación del programa de vuelo, así como los derechos y responsabilidades de los cosmonautas, el pago de su trabajo y otras condiciones de su actividad profesional, se determinarán mediante los contratos de conformidad con la legislación de la Federación de Rusia. El comandante de la tripulación de un objeto espacial pilotado de la Federación será responsable del cumplimiento del programa de vuelo, de la seguridad de la tripulación y de otras personas que participen en él, así como de la conservación del objeto espacial y la propiedad en su interior. El comandante puede ser nombrado ciudadano de la Federación de Rusia.

La Federación de Rusia ejercerá jurisdicción y control sobre cualquier tripulación de un objeto espacial pilotado registrado, en cualquier etapa de un vuelo espacial, permanencia en el espacio

ultraterrestre y cuerpos celestes, incluida la estancia extravehicular, y a su regreso a la Tierra, hasta la finalización del programa de vuelo, a menos que se especifique lo contrario en los tratados internacionales de los que Rusia es parte.

Respecto a la seguridad *safety* de las actividades espaciales, artículos 22 a 25, toda actividad espacial se llevará a cabo de conformidad con los requisitos de seguridad establecidos por la legislación de la Federación de Rusia. La Agencia Espacial Rusa y el Ministerio de Defensa, a petición de las organizaciones y ciudadanos interesados, facilitarán la información sobre cualquier amenaza que surja durante la realización de actividades espaciales. Cuando la amenaza afecte a la seguridad pública y al medioambiente, la Agencia informará tanto a los organismos estatales como a organizaciones y ciudadanos.

La ley contempla la investigación de incidentes espaciales, accidentes y desastres incluidos, cuyo procedimiento se establecerá en la legislación de la Federación de Rusia. La forma de conducir la investigación y los resultados de esta pueden apelarse ante los tribunales de justicia.

Las labores de búsqueda y rescate, así como la limpieza de un accidente, mientras se lleva a cabo la actividad espacial, se llevarán a cabo mediante servicios estatales adecuados con la participación de órganos estatales, autoridades locales, las organizaciones y los ciudadanos. La limpieza de los accidentes durante la realización de actividades espaciales consistirá en la restauración y reconstrucción de las plantas industriales y de otro tipo que hayan sufrido como consecuencia de los accidentes, las medidas medioambientales necesarias y la compensación por los daños a los sujetos pertinentes de la Federación de Rusia, las organizaciones y los ciudadanos.

La suscripción de un seguro por parte del operador de una actividad espacial es obligatoria. La cantidad se determinará por la legislación vigente y se transferirá al Fondo Espacial Ruso u otras compañías de seguros que hayan obtenido una licencia para el seguro de actividad espacial, y se utilizarán para compensar los daños como consecuencia de accidentes mientras realizan actividades espaciales sobre la base de contratos de seguro con organizaciones y ciudadanos que realicen dicha actividad.

Respecto a la responsabilidad por daños (*liability*), el Estado garantizará una compensación total por los daños directos causados como consecuencia de los accidentes durante la realización de ac-

tividades espaciales, de conformidad con la legislación de la Federación de Rusia. Las organizaciones y los ciudadanos responsables del funcionamiento de la tecnología espacial de que se trate pagarán una indemnización por los daños causados como consecuencia de los accidentes durante la realización de actividades espaciales. Se distingue entre la responsabilidad absoluta y la responsabilidad por culpa, previéndose además la responsabilidad solidaria y mancomunada. Por último, la ley establece que la responsabilidad de los operadores por los daños que causen se limitará a la suma asegurada o la indemnización del seguro. Si esta suma es insuficiente para cubrir la indemnización, podrá recurrirse contra los bienes de las organizaciones y ciudadanos pertinentes de la manera especificada en la legislación de la Federación de Rusia.

En 1993 se aprobó la Ley sobre Asuntos Espaciales de Sudáfrica⁶³, que fue enmendada en 1995⁶⁴. Se trata de una ley que consta de veintisiete artículos, comenzando por las definiciones de los términos que se utilizan en su articulado. El ministro determinará la política general respecto a la utilización pacífica del espacio ultraterrestre tras consultar al Consejo de Asuntos Espaciales, que será el encargado de cumplir con los objetivos de la política espacial teniendo en cuenta los intereses económicos, responsabilidades y obligaciones del Estado respecto a las actividades espaciales que se lleven a cabo de conformidad con los convenios, tratados y acuerdos internacionales de los que la República de Sudáfrica sea parte. Dependerá del Consejo la emisión de licencias, su suspensión y revocación, así como el registro de los objetos espaciales lanzados.

La ley determina que el Consejo estará compuesto por un presidente, un vicepresidente, dos personas representantes de la industria y cualquier otra persona que el ministro estime necesaria. Podrán establecerse comités para asistir al Consejo; también Juntas de Investigación, que estarán compuestas fundamentalmente por juristas. Se prevé el nombramiento de inspectores a fin de que comprueben las instalaciones del licenciataro o bien

⁶³ SPACE AFFAIRS ACT (South Africa, 1993). Statutes of the Republic of South Africa - Trade and Industry No. 84 of 1993. (Assented to 23 June 1993) (Date of Commencement: 6 September, 1993) (Afrikaans text signed by the State President). https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/south_africa/space_affairs_act_1993E.html

⁶⁴ SPACE AFFAIRS AMENDMENT ACT. OFFICE OF THE PRESIDENT. No. 1530. 6 October 1995. NO. 64 OF 1995: SPACE AFFAIRS AMENDMENT ACT, 1995. https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/south_africa/space_affairs_amendment_act_1995E.html

porque se sospeche que no está cumpliendo con los requisitos por los que se le otorgó la licencia, incluidos los licenciatarios de una instalación de lanzamiento. Las licencias se otorgarán de conformidad con las condiciones que establezca el Consejo y, en todo caso, teniendo siempre en cuenta los estándares mínimos de seguridad, los intereses nacionales de la república y las obligaciones internacionales de esta. En el supuesto de que el Consejo rechace una solicitud de licencia, informará al solicitante de su decisión por escrito y motivadamente.

El Consejo, cuando lo considere necesario, podrá enmendar las condiciones de una licencia. También podrá suspender una licencia con carácter inmediato cuando tenga razones para creer que no se ha cumplido algún requisito de la licencia o bien porque se esté generando un riesgo para la seguridad que resulte inaceptable. La suspensión puede revocarse cuando el licenciatario cumpla con todas las condiciones de la licencia o cuando subsane el riesgo de seguridad de que se trate. No obstante, el ministro en cualquier momento puede ordenar al Consejo la suspensión o revocación de una licencia si considera que la actividad en cuestión entra en conflicto con los intereses del Estado. En cualquier caso, el operador es responsable por los daños causados con independencia de que su licencia haya sido suspendida o revocada.

En caso de accidente, incidente o potencial emergencia que surja durante las actividades espaciales del licenciatario, este deberá informar al Consejo de todas las medidas que ha tomado para prevenir o limitar la pérdida de vidas, perjuicios y daños a la propiedad. El Consejo podrá requerirle para que proporcione medidas adicionales. En estos casos, el Consejo informará al ministro de la constitución de una Junta de Investigación, si lo estima oportuno. Cuando una persona lleve a cabo actividades espaciales sin licencia, o con licencia pero que no cumpla con los requisitos contenidos en ella o bien que no proporcione información relevante al Consejo, o esta sea falsa, podrá imponérsele una pena pecuniaria y de privación de libertad. También se contemplan otros supuestos por los que una persona pueda ser sancionada.

En 1996, Ucrania aprobó su Ley sobre Actividades Espaciales⁶⁵, en la que se aprecia una influencia importante de la Ley Espacial de la Federación de Rusia. El artículo primero contiene definicio-

⁶⁵ GONZÁLEZ FERREIRO, Elisa Celia. *Código Espacial...*, op. cit.; *Ordinance Of The Supreme Soviet Of Ukraine, On Space Activity. Law of Ukraine of 15 November 1996* (VVRU, 1997, p. 2).

nes de los términos que se emplean en esta ley. A continuación, se detallan los objetivos y principios aplicables a las actividades espaciales, entre los que se encuentran la seguridad y la defensa nacional, para continuar con las competencias de la Agencia Espacial Ucraniana, entre las cuales destacamos el registro de objetos espaciales y el otorgamiento de licencias. El artículo 7 contiene disposiciones referidas al programa espacial de Ucrania, y los artículos que le siguen hacen referencia a las prohibiciones y restricciones aplicables a las actividades espaciales, la financiación, la certificación de instalaciones espaciales y su inscripción en el Registro de Instalaciones Espaciales de Ucrania, contemplándose su eliminación del registro en caso de que la instalación se retire de la operación, se haya destruido físicamente o se haya transferido a otro Estado o empresa, organización o institución extranjera. En determinados supuestos, la Agencia Espacial Ucraniana puede restringir o prohibir el funcionamiento de la instalación espacial. Se prevé el alquiler de la instalación, de conformidad con las leyes nacionales y los acuerdos internacionales que se celebren, en su caso.

La sección IV hace referencia a la cooperación internacional de Ucrania de conformidad con los acuerdos internacionales de los que es parte, y dedica la sección V a la seguridad (*safety*) de las actividades espaciales respecto de la vida y salud de los ciudadanos, la propiedad de ciudadanos, empresas, instituciones y organizaciones, así como la protección del medioambiente. Se regula, además, el deber de notificación de incidentes y emergencias por parte del licenciatario a la Agencia Espacial Ucraniana y otras autoridades a fin de tomar las medidas oportunas en relación a la seguridad de personas y bienes. El operador deberá suscribir un seguro obligatorio para hacer frente a los posibles daños que cause por la realización de sus actividades. La responsabilidad por daños y la compensación que haya que pagarse se determinarán de conformidad con la legislación nacional.

La sección VI va referida a la actividad espacial relacionada con la defensa y seguridad de Ucrania, donde el ministro de Defensa será responsable, conjuntamente con otras autoridades, del cumplimiento del programa espacial nacional respecto de la utilización de la tecnología espacial militar y de doble uso. También será competente para diseñar y utilizar tecnología espacial militar, certificarla y, conjuntamente con la Agencia Espacial, diseñar la tecnología espacial de doble uso y asegurar el funcionamiento y desarrollo de instalaciones terrestres y espaciales.

Con relación a Australia, la Ley de Actividades Espaciales de 1998, enmendada en 2010⁶⁶, tiene como objeto establecer un sistema de regulación de las actividades espaciales llevadas a cabo desde Australia o por nacionales australianos fuera de Australia; prever el pago de una compensación adecuada por los daños causados a las personas o bienes como resultado de las actividades espaciales reguladas por la presente ley; aplicar algunas de las obligaciones de Australia en virtud de los Tratados Espaciales de las Naciones Unidas; y aplicar algunas de las obligaciones de Australia en virtud de determinados acuerdos de cooperación espacial. Esta ley no limita el funcionamiento de otras leyes de la Commonwealth (excepto en la medida en que las demás leyes sean incompatibles con esta ley).

En la parte 2 de la ley encontramos, como en otras leyes nacionales espaciales, una serie de definiciones de conceptos que se van a utilizar en el articulado. Sin embargo, la ley australiana, en este sentido, es profusa y destacamos que define el concepto de objeto espacial con la singularidad que establece la frontera entre espacio aéreo y espacio ultraterrestre a 100 km de altitud sobre el nivel del mar. Considera objeto espacial al vehículo de lanzamiento, la carga útil transportada y las partes resultantes de la separación de la carga útil del vehículo espacial tras su lanzamiento.

Si un operador lanza un objeto espacial desde Australia, necesitará un permiso de lanzamiento. Este permiso autoriza al regreso a territorio australiano del objeto espacial lanzado. Si el lanzamiento se lleva a cabo fuera de territorio australiano, el operador deberá contar con un certificado de lanzamiento en el extranjero y con una autorización en caso de que el objeto espacial lanzado regrese a territorio australiano. Para operar una instalación de lanzamiento en Australia es obligatoria una licencia en la que deben cumplirse unos determinados requisitos, como haber obtenido todas las aprobaciones ambientales necesarias en virtud de la legislación australiana y haberse elaborado un plan medioambiental adecuado para la construcción y explotación de la instalación de lanzamiento. El ministro debe estar convencido de que la persona tiene fondos suficientes para construir y operar la instalación de lanzamiento (seguro) y que esta no cause daños sustanciales a la salud pública o a la propiedad. La licencia debe

⁶⁶ *Space Activities Act 1998. Act No. 123 of 1998 as amended. This compilation was prepared on 3 March 2010 taking into account amendments up to Act No. 8 of 2010.* <https://www.legislation.gov.au/Details/C2010C00193>

especificar el día en que entra en vigor durante el periodo especificado en la licencia, que no podrá ser superior a veinte años.

El licenciatario deberá permitir al oficial de Seguridad de Lanzamiento acceso razonable a la instalación y a cualquier objeto espacial en la instalación, y asegurarse de que el oficial reciba cualquier información o asistencia que este último le solicite razonablemente para el correcto desempeño de una función. El ministro podrá, mediante notificación escrita, transferir una licencia de espacio a otra persona, suspender y variar, revocar o transferir una licencia espacial (que no sea a petición del licenciatario) y, si lo estima conveniente, llevar a cabo una revisión anual de la licencia espacial. La licencia no se otorgará en caso de que el objeto espacial que vaya a ser lanzado contenga armas nucleares o cualquier tipo de armas de destrucción en masa. El ministro podrá expedir a cualquier persona un certificado de exención que cubra conductas especificadas que de otro modo podrían estar prohibidas en virtud de los artículos 11, 13 o 15.

El operador será responsable internacionalmente por los daños causados en virtud del Convenio sobre la Responsabilidad de 1972. La parte responsable no está obligada a pagar una compensación por el daño en la medida en que el importe de la compensación exceda el importe asegurado para el permiso de lanzamiento o el certificado de lanzamiento en el extranjero si la parte responsable ha pagado una indemnización por el daño de una cantidad igual a la cantidad asegurada para el permiso de lanzamiento o el certificado de lanzamiento en el extranjero; sin embargo, la parte responsable estaría obligada a pagar una indemnización adicional a los nacionales australianos por el daño, una cantidad superior al importe asegurado para el permiso de lanzamiento o el certificado de lanzamiento en el extranjero, en cuyo caso la Commonwealth está obligada a pagar una indemnización a los nacionales australianos por el daño por una cantidad que no exceda de tres mil millones de dólares.

El ministro será el encargado de llevar el Registro Nacional de objetos espaciales de conformidad con el Convenio sobre el Registro de 1975. El ministro podrá variar o eliminar una inscripción en el registro según sea necesario. Cuando aquel conceda un permiso de lanzamiento que autorice la puesta en marcha de un objeto espacial desde una instalación de lanzamiento, deberá asignar al objeto espacial un número de registro mediante el cual pueda ser identificado. El ministro puede conservar el registro total o parcialmente utilizando un ordenador.

La parte 7 regula la investigación de accidentes e incidentes espaciales. Se produce un accidente relacionado con un objeto espacial si una persona muere o sufre lesiones graves como resultado de la operación del objeto espacial; o el objeto espacial es destruido o gravemente dañado o causa daños a la propiedad (excepto en las circunstancias prescritas por la normativa). Un incidente es una ocurrencia asociada con el funcionamiento de un objeto espacial que afecta o podría afectar a la seguridad de la operación del objeto espacial o que implica circunstancias que indiquen que un accidente casi se produjo. La intención de la investigación de accidentes e incidentes espaciales es la misma que se aplica para la aviación, es decir, esclarecer las circunstancias que rodean cualquier accidente o incidente a fin de evitar que se produzcan otros accidentes e incidentes. Por tanto, el objeto no es establecer culpa o responsabilidad. En estos supuestos, el ministro nombrará a un investigador, para el accidente o el incidente de que se trate, y que estará legitimado para conservar una cosa dada durante el tiempo que sea razonablemente necesario a los efectos de la investigación; y si la cosa es un documento o un registro, podrá hacer copias o tomar extractos del documento o registro. El investigador ostentará una serie de facultades para obtener información necesaria para el esclarecimiento de los hechos, incluida la entrada al lugar del accidente⁶⁷. El investigador podrá invitar a otras personas a ayudarle a desempeñar cualquiera o todas sus funciones. Una persona puede incurrir en delito cuando aporte información falsa al investigador o bien se niegue a cooperar, salvo que la respuesta pudiera incriminarle.

Si se produce un accidente, el objeto espacial o los restos del objeto espacial en cuestión y cualquier cosa en el objeto espacial o restos se toma bajo la custodia del ministro hasta que se nombra a un investigador para el accidente. Cuando ya no sea necesario conservar tal cosa a los efectos de la investigación, el investigador debe liberar la custodia de la cosa a su propietario o a una persona que el propietario autorice a recibirla. Una persona que elimine o interfiera de otra manera con una cosa que está bajo la custodia del ministro o investigador es culpable de delito, salvo que cuente con el permiso del ministro o investigador, o bien se dé alguna de las siguientes circunstancias: extraer a las perso-

⁶⁷ Al entrar en las instalaciones del lugar del accidente sin el consentimiento del ocupante del local: (a) un investigador puede obtener la asistencia que sea necesaria y razonable; y (b) el investigador o una persona que asista puede usar dicha fuerza contra el ocupante y cosas que sean necesarias y razonables.

nas (incluidas las fallecidas) de los restos de un objeto espacial, proteger los restos de ser destruidos por el fuego u otra causa, prevenir el peligro inmediato para la seguridad de las personas o los bienes; y mover el objeto espacial o los restos y su contenido a un lugar seguro cuando el objeto se estrella contra el agua o naufraga en el agua.

Cuando se complete una investigación, el investigador deberá entregar al ministro un informe escrito de la investigación y, si el ministro lo requiere, cualquier documento, registro u otras cosas pertinentes.

La Ley Espacial australiana incorpora como anexos los cinco tratados internacionales suscritos al amparo de las Naciones Unidas: Tratado del Espacio de 1967, Convenio sobre el Salvamento de 1968, Convenio sobre la Responsabilidad de 1972, Convenio sobre el Registro de 1975 y Acuerdo sobre la Luna de 1979.

Estado Unidos contiene la legislación más extensa que se ha promulgado aplicable a los usos civiles del espacio. En 2004 se aprobó la enmienda a la Ley de Lanzamientos Espaciales Comerciales (CSLA), donde se afirma que los propósitos principales de esta ley son promover, facilitar y fomentar los servicios de lanzamiento, y actividades espaciales en general, por parte del sector privado. La CSLAA, revisada en 2015, requiere que los operadores privados reciban una licencia que les habilite para operar una base de lanzamiento en Estados Unidos, para llevar a cabo lanzamientos desde su territorio incluyendo el reingreso o retorno de objetos espaciales. Además, la persona física o jurídica que sea ciudadana de Estados Unidos deberá obtener una licencia para llevar a cabo lanzamientos desde fuera de Estados Unidos, a menos que un Gobierno extranjero haya acordado autorizar y supervisar dicho lanzamiento. El secretario de Estado está facultado para otorgar, suspender, modificar, transferir y finalizar una licencia. Las licencias no deberán contravenir los intereses nacionales de Estados Unidos en cuanto a seguridad y salud públicas, seguridad nacional y política exterior. Asimismo, se contemplan una serie de directrices para regular la seguridad de los vuelos espaciales comerciales tripulados bajo los auspicios de la Administración Federal de Aviación (FAA), cuyos representantes asistirán a cada lanzamiento, evaluarán cada aterrizaje y trabajarán junto a los operadores de turismo espacial; sin embargo, la FAA no podrá imponer ninguna normativa de seguridad hasta 2023, a menos que haya un incidente grave. Las directrices requieren que los operadores de turismo espacial informen a los participantes

de vuelos espaciales por escrito sobre los riesgos del lanzamiento y el reingreso, y sobre el historial de seguridad del vehículo de lanzamiento, y que los participantes proporcionen consentimiento informado para participar en el lanzamiento y reentrada.

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 objetos cercanos a la Tierra 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.

Francia aprobó en 2008 la Ley sobre Operaciones Espaciales⁶⁸, que da comienzo con una serie de definiciones, y en este sentido es interesante destacar que por «daño» a los efectos de esta ley se entiende «cualquier daño a las personas, bienes y, en particular, a la salud pública o al medio ambiente, causado directamente por un objeto espacial en el contexto de una operación espacial, excluyendo las consecuencias del uso de la señal emitida por dicho objeto para los usuarios»; es decir, se incluye el perjuicio al medio ambiente en el concepto de daño, cosa que no hace el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972.

El operador debe contar con una licencia para llevar a cabo actividades espaciales, ya sea en territorio francés como en el extranjero. No se otorgará una licencia cuando puedan ponerse en peligro los intereses de la defensa nacional o el cumplimiento por Francia de sus compromisos internacionales. Se prevé el nombramiento de oficiales técnicos que lleven a cabo controles sobre los objetos espaciales e instalaciones a fin de verificar que el licenciatarario cumple con los requisitos de la licencia. El registro de objetos espaciales nacionales corresponde al CNES o Agencia Espacial Francesa.

Las cuestiones de responsabilidad por daños se detallan de conformidad con el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972. Sin embargo, salvo falta intencional, la responsabilidad del operador cesa cuando todas las obligaciones fijadas por la autorización o licencia se hayan cumplido o, a más tardar, un año después de la fecha en que estas obligaciones deberían haberse cumplido. El Estado sustituye al operador por los daños que se han producido

⁶⁸ GONZÁLEZ FERREIRO, Elisa Celia. *Código Espacial...*, op. cit., pp. 791 y ss.

después de este periodo. En lo que respecta a la responsabilidad internacional del Estado de lanzamiento, cuando este haya reparado los daños puede recurrir frente al operador para que se reembolse el seguro del operador o garantía financiera.

A la Ley Espacial Francesa le acompaña una reglamentación técnica, de 31 de marzo de 2011, aplicable a los licenciarios respecto de las operaciones de lanzamiento (despegue desde el suelo, propulsión por reacción y vuelos no habitados), de las de control de un objeto espacial no tripulado y de la operación de regreso de un objeto espacial no tripulado. Los demás supuestos que puedan darse relativos a actividades espaciales serán objeto de otra regulación. Entre las definiciones contenidas en el artículo 1, se entiende por «desecho espacial» (*débris spatial*) cualquier objeto no funcional de origen humano y que comprende sus fragmentos y los elementos de estos, en órbita terrestre o que reingresen en la atmosfera terrestre.

El operador debe realizar un estudio donde exponga los posibles peligros que puede presentar la operación espacial prevista, tanto en el caso de funcionamiento nominal como accidental, y cuando su causa pueda ser interna o externa, indicando además las posibles consecuencias que puedan surgir. Deberá, por tanto, valorar los posibles riesgos para las personas, evaluar los efectos para la salud pública y el medioambiente en caso de accidente, incluida la generación de desechos espaciales. Además, deberá valorar los daños relacionados con el ingreso de los elementos que se desprendan del lanzador, los relacionados con la reentrada controlada o no controlada de los elementos del lanzador situado en órbita terrestre, los relativos al fallo del vehículo de lanzamiento, la colisión con objetos espaciales tripulados, los ligados a una explosión de una etapa en órbita y la colisión con un cuerpo celeste.

El reglamento contiene las exigencias de calidad que debe llevar a cabo el operador a través de un sistema de gestión y de un sistema de vigilancia y control de los componentes de fabricación. Todos los datos, documentos y revisiones técnicas relativos a la operación de lanzamiento se comunicarán al CNES. Los contratantes, subcontratantes y clientes del operador deberán respetar las normas técnicas. También se recogen las exigencias técnicas específicas para las operaciones de lanzamiento, que incluyen el análisis específico de la misión, los objetivos cuantitativos para la seguridad de las personas, la limitación de desechos espaciales para evitar la contaminación y los riesgos de colisión o desinte-

gración accidental. También deberá cumplirse con las exigencias relacionadas con el reingreso a la Tierra, y más exactamente con la zona del reingreso, que no debe interferir con el territorio del Estado en cuestión, incluidas sus aguas territoriales, salvo acuerdo de este último. Se deberá proceder a un análisis más detallado en el supuesto de que el reingreso se produzca en una zona con tráfico marítimo intenso o bien con plataformas petrolíferas. Se contemplan dos riesgos particulares: la seguridad nuclear y la protección planetaria. Si el vehículo de lanzamiento tiene la intención de transportar material radioactivo, se le aplicará el plan de seguridad nuclear contenido en el Decreto de 9 de junio de 2009, al que se hace alusión constante en el articulado del reglamento de 2011. Respecto a la protección planetaria, el operador debe cumplir con la política de protección planetaria del COSPAR y actuar de conformidad con el artículo IX del Tratado del Espacio de 1967.

El reglamento también regula el control y retorno de un objeto espacial a la Tierra. En este caso, el operador deberá describir la operación espacial, incluidas la gestión de calidad, el estudio de los daños potenciales, el estudio de impacto en el medioambiente terrestre y espacial, las medidas de control de riesgos de colisión, de seguridad nuclear y de protección planetaria, así como un conjunto de exigencias técnicas específicas sobre el reingreso de un objeto espacial. No obstante, el operador deberá evitar la destrucción intencional de un objeto espacial en órbita, y si no es posible, deberá comunicárselo al CNES y proceder a la destrucción del objeto a una altura suficientemente baja para limitar la duración en órbita de los fragmentos. El CNES cuenta con una guía de buenas prácticas que contiene especificaciones técnicas, estándares reconocidos, disposiciones en materia de propiedad intelectual y patrimonio industrial y científico.

Más recientemente, en 2019, Portugal aprobó el Decreto Ley n.º 16/2019, de 22 de enero⁶⁹, a fin de regular el acceso y ejercicio de las actividades espaciales. El decreto ley facilita y promueve el acceso al espacio ultraterrestre a los operadores en territorio portugués, de conformidad con el Tratado del Espacio y las obligaciones internacionales que le correspondan, y velando por los intereses políticos y estratégicos de la república portuguesa. En este sentido, El decreto ley no será de aplicación a las actividades concernientes a la defensa nacional, a fin de proteger los intereses estratégicos y de seguridad del Estado.

⁶⁹ Diário da República, 1.ª série — N.º 15 — 22 de janeiro de 2019.

Por tanto, el decreto ley se aplica a las demás actividades espaciales, consideradas como operaciones espaciales u operaciones de centros de lanzamiento que se lleven a cabo en territorio nacional, incluido el espacio marítimo y aéreo bajo jurisdicción o soberanía portuguesa, a bordo de buques y aeronaves portuguesas o desde instalaciones bajo jurisdicción o soberanía portuguesas, independientemente de la nacionalidad del operador; o que sean llevadas a cabo fuera del territorio nacional por operadores portugueses o establecidos en territorio nacional.

Las actividades espaciales relativas a lanzamiento y retorno, así como para las de mando y control, estarán sujetas a licencia obligatoria y los objetos espaciales deberán inscribirse en el registro nacional de objetos espaciales. No estarán sujetas a licencia obligatoria las actividades espaciales llevadas a cabo por operadores portugueses fuera de su territorio nacional cuando cumplan con los requisitos contemplados en la ley del Estado de que se trate y que a su vez tenga un acuerdo con la república portuguesa que asegure el cumplimiento de las obligaciones internacionales.

Los operadores pueden solicitar la habilitación previa bajo determinadas condiciones, pudiendo extinguirse en varios supuestos contenidos en el artículo 5.

La Autoridad Espacial es la encargada de emitir la licencia al operador cuando se demuestre que el solicitante tiene la suficiente capacidad técnica y financiera (seguro obligatorio), que tenga la debida cautela para evitar daños en la Tierra y en el espacio ultraterrestre, que tome todas las medidas necesarias para evitar la generación de desechos espaciales y que la actividad espacial sea compatible con la seguridad pública de los ciudadanos, así como la seguridad interna e intereses estratégicos del Estado. El operador deberá cumplir con las disposiciones de los tratados internacionales sobre espacio ultraterrestre de los que Portugal sea parte, incluido el deber de registro.

Las licencias pueden ser de dos tipos: la licencia unitaria, que es aplicable a cada tipo de operación espacial y asignada a su operador. La duración se establecerá por un plazo determinado; y la licencia global, aplicable a una serie de operaciones del mismo tipo y asignada a un único operador. Este último notificará, con tres días de antelación, la fecha en que se llevarán a cabo las operaciones espaciales autorizadas. En este caso, la licencia podrá otorgarse bien por un periodo de tiempo, bien por un número determinado de operaciones.

No obstante, la Autoridad Espacial puede autorizar operaciones espaciales conjuntas, de igual o diferente tipo que involucren una o más operaciones de lanzamiento y/o las operaciones de mando y control de los objetos espaciales lanzados, incluso si se llevan a cabo por más de un operador. La licencia podrá ser unitaria o global, asignándose a uno de los operadores involucrados en nombre del resto. En caso de que las operaciones espaciales se desarrollen en el espacio marítimo nacional, la Autoridad Espacial debe comunicar inmediatamente la notificación previa recibida a la Dirección General de Recursos Servicios Naturales, de Seguridad y Marítimos (DGRM).

El otorgamiento de licencias llevará su propio procedimiento. Sin embargo, se contempla la posibilidad de una reducción de plazos en la concesión de la licencia cuando el solicitante sea una entidad pública o un Estado u organización internacional que haya suscrito acuerdos internacionales con Portugal, o bien que la actividad espacial persiga fines científicos, de desarrollo, educación o formación.

El decreto ley prevé la transmisión, extinción, caducidad, renuncia y revocación de la licencia, así como un régimen sancionador.

Respecto a la obligación de registro, se recoge el tipo de información que debe suministrar el operador de un objeto espacial lanzado. Además de las pautas especificadas en el Convenio sobre el Registro de 1975, se contempla el registro de la transferencia de la propiedad del objeto espacial, así como cualquier accidente o incidente grave que el objeto sufra. No se descarta otro tipo de inscripciones registrales de conformidad con las resoluciones internacionales que se adopten. El plazo para proceder a la inscripción en el registro nacional es de dos días tras el lanzamiento. El registro es público; sin embargo, se preservará aquella información de carácter comercial sensible. Tras la inscripción, la Autoridad Nacional comunicará al secretario general de las Naciones Unidas, a través del Ministerio de Negocios Extranjeros, la información necesaria para que pueda proceder a la inscripción en el registro internacional de las Naciones Unidas.

En lo que afecta a la responsabilidad, se contemplan los supuestos de responsabilidad objetiva y responsabilidad por culpa a la que deberá hacer frente el operador, que, salvo determinadas excepciones⁷⁰, habrá contratado un seguro de responsabilidad

⁷⁰ Podrá dispensarse del seguro obligatorio, o una reducción en su importe, cuando el objeto espacial lanzado sea de pequeñas dimensiones, se considere que comporta riesgos reducidos o cuando las actividades espaciales se destinen a fines científicos, de

civil. Cuando el Estado deba hacer frente a la indemnización por daños causados a un tercero en virtud de sus obligaciones internacionales, tendrá derecho a repetir contra el licenciatario.

En el supuesto de que ocurra un accidente o incidente relacionado con el funcionamiento de un objeto espacial, incluidas las instalaciones, el operador deberá comunicarlo a la Autoridad Nacional en el plazo de veinticuatro horas desde que tuvo conocimiento de los hechos. Además, se contempla el deber de informar a otras autoridades como a la Autoridad Nacional de Protección Civil, Gabinete de Investigación de Accidentes Marítimos y la Autoridad Meteorológica, cuando de uno u otro modo les afecte. Sin perjuicio de las competencias de otras entidades, la Autoridad Espacial procederá a la investigación de los hechos y emitirá un informe, en caso de accidentes con víctimas mortales o graves daños a la propiedad.

España en el espacio

La Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional de 2019 hace hincapié en que el Estado español debe cumplir con la legislación nacional e internacional conectada con las actividades espaciales, asegurando el libre acceso y explotación segura del espacio ultraterrestre, así como la protección de infraestructuras, medios y servicios aeroespaciales. Asimismo, considera de interés nacional las capacidades de la industria espacial, el medioambiente aeroespacial y la seguridad de las personas.

Régimen jurídico aplicable

Los tratados, convenios y acuerdos internacionales firmados por España forman parte de su ordenamiento jurídico interno. Por tanto, los convenios internacionales espaciales que hemos analizado con anterioridad (salvo el Acuerdo sobre la Luna de 1979) y de los que España es parte son de plena aplicación, a saber: el Tratado de prohibición de pruebas con armas nucleares en la atmósfera, en el espacio ultraterrestre y bajo el agua, de 5 de agosto de 1963; 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,

investigación, educación o formación. También se contempla la posibilidad de que el operador presente otra garantía financiera.

de 27 de enero de 1967; el Acuerdo sobre el salvamento y la devolución de astronautas y la restitución de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, de 22 de abril de 1968; el Convenio sobre la responsabilidad internacional por los daños causados por objetos espaciales, de 29 de marzo de 1972; y el Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, de 14 de enero de 1975.

España, además, es parte de otros Acuerdos de naturaleza multilateral como el Convenio sobre la distribución de señales portadoras de programas transmitidas por satélite, de 21 de mayo de 1974; el Acuerdo entre el Gobierno del Canadá, los Gobiernos de los Estados miembros de la Agencia Espacial Europea, el Gobierno de Japón, el Gobierno de la Federación de Rusia y el Gobierno de los Estados Unidos de América, relativo a la cooperación sobre la estación espacial civil internacional y acuerdo relativo a la aplicación del acuerdo intergubernamental sobre la Estación Espacial hasta su entrada en vigor, hechos en Washington el 29 de enero de 1998; el Acuerdo relativo a la Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite (ITSO), de 17 de noviembre de 2000, enmendado el 23 de marzo de 2007; el Convenio Constitutivo de la Organización Internacional de Telecomunicaciones Móviles por Satélite (IMSO), enmendado de acuerdo con las enmiendas al convenio adoptadas por la asamblea de la IMSO en su vigésimo periodo de sesiones, aplicación provisional desde el 6 de octubre de 2008; el Convenio constitutivo de la Organización Europea de Telecomunicaciones por Satélite (EUTELSAT), enmendado el 20 de mayo de 1999; el Convenio sobre el establecimiento de una Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos «EUMETSAT», de 24 de mayo de 1983, enmendado en 1991; el Convenio de creación de una Agencia Espacial Europea, de 30 de mayo de 1975; la Constitución y Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT (Ginebra, 22 de diciembre de 1992); el Acuerdo sobre el Sistema COSPAS-SARSAT de satélites para localización de emergencias (París, 1 de julio de 1998); el Acuerdo entre el ministro de Defensa de la República Francesa, el ministro de Defensa de la República Italiana, el ministro de Defensa del Reino de España y el secretario general del Consejo de la Unión Europea Alto Representante de la Política Exterior y de Seguridad Común (PESC), relativo a la puesta a disposición de la Unión Europea de imágenes HELIOS I, de 20 de marzo de 2010; la Notificación de Asociación de España al programa, en calidad de país proveedor del segmento terrestre, efectiva el 8 de julio de 1992; y el Acuerdo para el

alojamiento del Centro de Respaldo del Centro de Supervisión de la Seguridad de Galileo entre la Comisión Europea, la Agencia del GNSS europeo y el Reino de España, hecho en Madrid y Bruselas el 21 de enero de 2019, entre otros.

A esto debemos añadir una serie de acuerdos bilaterales suscritos por España, como el Acuerdo de Cooperación Científica entre el Reino de España y los Estados Unidos de América sobre la Estación de Seguimiento de la NASA, de 28 de enero de 2003; el Convenio de Cooperación Espacial entre el Reino de España y los Estados Unidos de América, hecho en Madrid el 11 de julio de 1991; el Acuerdo entre el Reino de España y la Agencia Espacial Europea relativo a los emplazamientos de la Agencia Espacial Europea en el Reino de España, de 13 de junio de 2012; el Acuerdo entre el Gobierno del Reino de España y el Gobierno de la Federación de Rusia sobre Cooperación en el campo de la exploración y del uso pacífico del espacio ultraterrestre, hecho en Madrid el 9 de febrero de 2006; o el Acuerdo entre el Reino de España y la Unión Europea Occidental (UEO) relativo a la cesión de un terreno situado en la base aérea de Torrejón (Madrid) y de un edificio sito en el mismo, destinado a convertirse en la sede del centro de satélites de la Unión Europea Occidental (UEO).

La ESAN de 2019 ha identificado como interés nacional preservar el medioambiente espacial y, como amenazas, los riesgos que implica la generación de desechos espaciales.

En este sentido, contamos con el Real Decreto 278/1995, de 24 de febrero, por el que se crea en España el Registro nacional de objetos lanzados al espacio ultraterrestre⁷¹ en virtud de las disposiciones del Convenio sobre el Registro de 1975, del que España es parte. A su vez, cuando España sea Estado de registro, tendrá la obligación de notificárselo al secretario general de las Naciones Unidas, señalando unos determinados parámetros que se recogen en el artículo IV de dicho convenio.

El registro español colabora en la preservación del espacio ultraterrestre por los siguientes motivos:

- I) Que la comunidad internacional esté informada del objeto espacial lanzado, sus características y parámetros orbitales a fin que otros Estados conozcan la posición del objeto y se eviten colisiones o interferencias (artículo 6 RD 278/1995).

⁷¹ <https://www.boe.es/buscar/pdf/1995/BOE-A-1995-6058-consolidado.pdf>

- II) En el artículo 5 del RD 278/1995, *in fine*, se dispone que «podrá incluirse además toda otra información adicional que se considere útil». En este caso, se está incluyendo a los objetos espaciales que ya no estén en órbita terrestre o que hayan finalizado su vida operativa, es decir, que sean residuos espaciales que puedan «contaminar» o causar daños a otros objetos espaciales o a tripulaciones, por ejemplo, las que se encuentren en la Estación Espacial Internacional. Asimismo, en esta misma línea, el artículo 7, párrafo 3.º *in fine*, establece la obligación de que las «modificaciones que experimenten los datos relativos a los objetos espaciales inscritos y, en particular, al caso de que hayan dejado de estar en órbita terrestre... deberán ser objeto de inscripción previa en el Registro Español».
- III) El artículo 4 del RD 278/1995 dispone que «el concepto de "objeto espacial" se extiende tanto a sus partes componentes como al vehículo propulsor y a las suyas», por tanto, quedan incluidos en esta categoría tanto los objetos funcionales como los no funcionales, sus partes componentes y aquellos objetos que lleven a bordo fuentes de energía nuclear que pueden generar residuos altamente contaminantes. En este sentido, España como Estado Parte en el Tratado del Espacio de 1967 y en el Convenio sobre la Responsabilidad de 1972, tiene la obligación como Estado de lanzamiento de que el objeto espacial lanzado no cause un perjuicio al medioambiente terrestre ni espacial, así como el deber de autorizar y fiscalizar su lanzamiento y operatividad y ser responsable internacionalmente por los daños causados. Recordemos que el Estado de registro es el que lanza el objeto espacial o uno de los que lanzan (si son varios los Estados de lanzamiento) (art. 5 RD).

Podría contemplarse el añadir información adicional en el artículo 6 del RD 278/1996, de 24 de febrero, basándonos en las Directrices para la Sostenibilidad a Largo Plazo de las Actividades en el Espacio Ultraterrestre⁷² del Comité de Usos Pacíficos del Espacio Ultraterrestre:

- I) En el Registro de objetos espaciales deberían anotarse los derechos, resoluciones, contratos y demás actos y hechos jurídicos referentes al mismo, incluida la transferencia de

⁷² <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/long-term-sustainability-of-outer-space-activities.html>

- propiedad en órbita, bien voluntariamente, bien por la retirada de la licencia al operador.
- II) También deberían señalarse aquellos objetos espaciales que lleven a bordo fuentes de energía nuclear.
 - III) Información relativa a los seguros contratados.
 - IV) Precauciones tomadas en relación a la no contaminación del espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes (teniendo en cuenta la política de protección planetaria del COSPAR), y si se han previsto mecanismos de desplazamiento a una órbita de transferencia una vez finalice la vida útil del objeto espacial.
 - V) Fecha prevista de desintegración, recuperación o pérdida de contacto con el objeto espacial.
 - VI) Señalar los medios automáticos que procuren una reentrada controlada, así como la zona prevista del impacto, evitando aquellas zonas donde exista un fuerte tráfico marítimo, la existencia de plataformas petrolíferas, puertos o actividades pesqueras.
 - VII) Marca identificatoria ubicada en partes no desintegrables del objeto espacial a efectos de una eventual responsabilidad por daños.
 - VIII) Tener en cuenta las directrices que a nivel internacional se vayan adoptando relativas al tráfico espacial⁷³, sobre todo a la vista del aumento de las actividades del NewSpace.

Necesidad de una Ley Española sobre Actividades Espaciales

La ESAN de 2019 ha identificado la necesidad de regular las actividades espaciales que puedan llevar a cabo operadores no estatales.

Las actividades espaciales son consideradas internacionalmente como ultrapeligrosas; por tanto, son un asunto de seguridad nacional, pues hay que velar por la seguridad de las infraestructuras críticas y otros posibles riesgos o amenazas, como cualquier ataque o neutralización de los satélites que resultan necesarios para obtener servicios esenciales, lo que tendría enormes consecuencias económicas, sociales y de seguridad. También hay que

⁷³ https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_SU-SPACE-21-SEC-2020

tener en consideración aquellos fenómenos y catástrofes no intencionados como la caída de asteroides y meteoritos; la basura espacial incontrolada y los fenómenos de meteorología espacial. Por tanto, el fortalecimiento de las capacidades espaciales de cada país encuentra su fundamento en la regulación de sus actividades espaciales.

Una ley que regule las actividades espaciales en España es muy necesaria, así lo han hecho muchos países de la comunidad internacional y de nuestro entorno, de tal modo que los operadores privados estén legitimados tanto para poner en órbita satélites mediante vuelos suborbitales como para operar puertos espaciales bajo jurisdicción y soberanía española, teniendo especialmente en cuenta la magnífica ubicación geográfica de nuestro país para llevar a cabo dichas actividades.

Tras haber procedido al análisis en el presente trabajo de algunos ejemplos de leyes sobre actividades espaciales nacionales, nos facilita enormemente todos los ítems que sería conveniente incluir en la futura Ley Española sobre Actividades Espaciales, y digo «futura» porque es una realidad que existe una necesidad acuciante el permitir tanto a operadores nacionales como extranjeros llevar a cabo actividades espaciales desde nuestros territorios. De hecho, los presupuestos generales del Estado de este año contemplan la elaboración de la ley, aunque no se especifica su cuantía.

Asuntos a tratar en la Ley Española Sobre Actividades Espaciales:

- I) Definiciones: incluir la definición de objeto espacial, vuelo suborbital, desechos espaciales, daños (incluidos los que afectan al medioambiente aeroespacial), accidente, incidente, participante y otros términos necesarios. Sería conveniente delimitar el espacio aéreo y ultraterrestre a 100 km de altitud sobre el nivel del mar, al igual que la Ley Espacial australiana.
- II) Conformidad con los convenios internacionales de los que España es parte.
- III) Responsabilidad internacional del Estado.
- IV) Deber de ayuda y salvamento a las tripulaciones, y restitución de objetos espaciales de conformidad con el Acuerdo sobre el Salvamento de 1968.
- V) Tener en cuenta las Directrices internacionales sobre reducción de desechos espaciales, seguridad nuclear y protección planetaria.

- VI) Protección a los ciudadanos y propiedad del posible impacto de objetos cercanos a la Tierra, especialmente los asteroides potencialmente peligrosos.
- VII) Obligación de inscribir el objeto espacial lanzado al espacio ultraterrestre en el Registro español de objetos espaciales.
- VIII) No se requiere licencia cuando el operador sea el Estado o alguno de sus organismos.
- IX) Otorgamiento de licencias para los operadores privados: personas físicas y jurídicas que no comprometan la salud pública, la seguridad de las personas y no afecte o ponga en peligro la seguridad y defensa nacional de España.
- X) Los operadores privados pueden ser nacionales o extranjeros.
- XI) Las licencias pueden concederse tanto para lanzamientos de vuelos espaciales, incluidos los suborbitales, como para operar un puerto espacial, así como para cualquier otro tipo de actividad espacial.
- XII) Las actividades espaciales pueden llevarse a cabo desde territorio español (espacio terrestre, marítimo y aéreo de soberanía española), en territorio de otro Estado o en áreas no sometidas a la soberanía de ningún Estado. Piénsese en lanzamientos desde una estación orbital o un cuerpo celeste.
- XIII) La autoridad que se designe será competente para conceder, renovar, transferir, suspender y retirar una licencia. Se preverá la posibilidad de renuncia por parte del licenciatario. La autoridad competente podría ser el Consejo Nacional de Seguridad Aeroespacial, a través de un comité ad hoc. Este Comité, que bien pudiera llamarse Comité Espacial Nacional, sería la "Agencia" espacial española, de tal modo que al figurar su referencia en la Ley española sobre actividades espaciales no se necesitaría más que elaborar unos estatutos para el mismo, pues su constitución ya quedaría implícitamente aprobada por la citada ley.
- XIV) Obligaciones del licenciatario de una actividad espacial: cumplir con los requisitos que se establezcan y evaluación de los riesgos, incluidos los impactos ambientales. Este Comité, que bien pudiera llamarse Comité Espacial Nacional, sería la "Agencia" espacial española, de tal modo que al figurar su referencia en la Ley española sobre actividades espaciales no se necesitaría más que elaborar unos estatutos para la misma, pues su constitución ya quedaría implícitamente aprobada por la citada ley.

- XV) Obligación por parte del licenciatario de suscribir un seguro obligatorio para cubrir los daños causados a terceros. Si el Estado español satisfizo la indemnización, en virtud de su responsabilidad internacional, tendrá derecho a repetir contra el operador por el montante abonado a través de un mecanismo que se establezca a tal efecto.
- XVI) Investigación de accidentes e incidentes ocurridos en España o en otros lugares como consecuencia de las actividades espaciales en los que el operador español participe, pudiéndose establecer una Junta de Investigación o una Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes Espaciales. La investigación tendrá como finalidad esclarecer las circunstancias que rodean cualquier accidente para evitar que vuelvan a producirse, en ningún caso el objetivo será determinar culpas o responsabilidades. El investigador elaborará un informe final.
- XVII) Consentimiento informado por parte del participante en un vuelo espacial/suborbital: el participante deberá firmar un formulario de consentimiento en el que acepte los riesgos involucrados en la actividad, siempre que tenga la edad mínima requerida y capacitación mental.
- XVIII) El licenciatario u operador de un puerto espacial está facultado para elaborar los estatutos que rijan a este último para su correcto funcionamiento y permitir el acceso a personas autorizadas en caso de emergencia.
- XIX) Régimen sancionador.
- XX) La presente ley vendrá complementada por un reglamento que contendrá las especificidades técnicas.

Conveniencia de una Agencia Espacial Española

Un segundo aspecto del fortalecimiento de un país es la constitución de agencias espaciales nacionales.

En la actualidad contamos con muchas agencias espaciales en el mundo, desde las tan conocidas NASA norteamericana y Roscosmos rusa, pasando por la JAXA japonesa, la CNSA China, la CSA canadiense, la ISRO hindú, la UAESA emiratí, la ISA iraní, la ISA israelí, la Angkasa malasia, la Agencia espacial de Nueva Zelanda, la de Australia y otras muchas europeas, como la CNES francesa, la DLR alemana, la ISO italiana, la inglesa, la belga, la

ucraniana, la kazaja y, más recientemente, las de Luxemburgo (2018) y Portugal (2019).

En España no contamos aún con una agencia espacial. Las competencias en espacio son llevadas a cabo por distintos ministerios: Asuntos Exteriores, Ciencia, Innovación y Universidades, Defensa, Industria, Transportes y de la Presidencia, principalmente. Asimismo, contamos con una serie de comisiones interministeriales: el Comité Interministerial de Sistemas Globales de Navegación por Satélite, el Comité Director del Programa Nacional de Observación de la Tierra, la Comisión Interministerial de Política Industrial y Tecnológica del Espacio, y la Comisión de Seguimiento Interministerial de Sistemas de Vigilancia y Seguimiento Espacial. España participa en los principales proyectos internacionales y europeos del sector espacial, y aloja en su territorio importantes infraestructuras espaciales nacionales e internacionales.

En el ámbito latinoamericano y del Caribe, son varias las agencias que se han puesto en marcha, y con logros importantes: la Agencia Espacial Mexicana, con el Programa Nacional de Actividades Espaciales 2020-2024, cuyo objetivo es identificar las perspectivas y promover el desarrollo de infraestructura espacial de telecomunicaciones, navegación, posicionamiento global y sus aplicaciones en el país. La Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) Argentina, que participa en comités e iniciativas internacionales de programas de integración y coordinación relacionadas con la aplicación de la ciencia y la tecnología espaciales. La Agencia Espacial Civil Ecuatoriana (EXA), que cuenta con varios proyectos y ha lanzado varios satélites. La Agencia Bolivariana Espacial, que opera dos estaciones de seguimiento espacial (Amachuma y la Guardia) y un satélite llamado *Túpac Katari* (TKSAT), que proporciona servicios de internet a todos los rincones del territorio boliviano. La Agencia Espacial Brasileña, que cuenta con cinco satélites en órbita y varios en desarrollo, y que, adicionalmente, invierte cien millones de dólares anualmente en su programa espacial. Todas estas agencias, y otras como Chile, Colombia, Venezuela, Uruguay, Perú, Costa Rica, Guatemala y Paraguay, cuentan con satélites propios en el espacio. El pasado 20 de febrero se lanzó el *GuaraníSat-1* paraguayo.

La finalidad principal de una agencia espacial nacional es potenciar su industria, exportaciones y cooperación internacional más allá de sus fronteras. Esto proporciona calidad de vida a sus nacionales y un crecimiento económico del Estado, así como centralizar los aspectos de seguridad de la nación, como ya hemos comentado previamente.

La Agenda Sectorial de la Industria Espacial Española elaborada por TEDAE en 2019⁷⁴ afirma que «sería conveniente avanzar en el establecimiento de un auténtico órgano dentro de la Administración del Estado que defina la política espacial, maximice la participación española en programas internacionales, promocióne los programas nacionales y fomente la mejora de la competitividad»⁷⁵.

Volviendo a la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional (ESAN 2019), encontramos que en el capítulo III («Objetivos, principios y líneas de acción») la primera línea de acción anima a «fomentar una acción coordinada de todas las administraciones públicas y departamentos con competencias... en el espacio ultraterrestre», y la quinta línea de acción, «apoyar el papel de España en el ámbito internacional».

El capítulo IV («La Seguridad Aeroespacial en el Sistema de Seguridad Nacional») dispone que la organización de la seguridad aeroespacial cuenta con una estructura orgánica bajo la dirección del presidente del Gobierno:

- I) El Consejo de Seguridad Nacional, que es la Comisión Delegada del Gobierno para la Seguridad Nacional.
- II) El Consejo Nacional de Seguridad Aeroespacial, que apoya al Consejo de Seguridad Nacional para el cumplimiento de sus funciones y asistirá al presidente del Gobierno en la dirección de la política de seguridad aeroespacial; por ejemplo, «reforzar las relaciones de coordinación, colaboración y cooperación entre las distintas administraciones públicas..., así como entre los sectores público y privado», «contribuir a estudios y propuestas normativas en materia de seguridad aeroespacial» y «proponer la creación de comités y grupos de trabajo, permanentes o temporales, para la realización de determinadas funciones especializadas... incluyendo los expertos del sector público y privado».

⁷⁴ <https://industria.gob.es/es-es/Servicios/AgendasSectoriales/Agenda%20sectorial%20de%20la%20industria%20espacial/agenda-sectorial-industria-espacial-versi%C3%B3n-final.PDF>

⁷⁵ Véase la *Agenda estratégica de I+D+I en espacio 2020/2030*, presentada por la plataforma aeroespacial española: <https://plataforma-aeroespacial.es/wp-content/uploads/2021/02/AEIEv2.pdf>

En este sentido, me pregunto sobre la idoneidad de la creación de un Comité Espacial Nacional que actuara como una Agencia Espacial Española de gestión y en la que estuvieran representados los distintos ministerios y organismos públicos y privados con intereses y competencias en materia espacial.

Respecto a los grupos de trabajo: opino que podrían constituirse varios, de conformidad con los objetivos, principios y líneas de acción de la ESAN de 2019. Destacaría, por su importancia estratégica, el grupo de trabajo sobre la redacción de la ley sobre actividades espaciales nacionales.

Por último, las capacidades espaciales nacionales se fortifican aún más si los Estados, o sus agencias espaciales nacionales, forman parte de una agencia intergubernamental como la ESA o como ALCE (Agencia Latinoamericana y Caribeña del Espacio). El 9 de octubre de 2020, México y Argentina firmaron una declaración sobre la constitución de la Agencia Latinoamericana y del Caribe del Espacio, cuyo antecedente inmediato se encuentra en los acuerdos logrados en el «Encuentro Latinoamericano y Caribeño sobre el Espacio», del pasado 2 de julio del 2020. A ALCE se han incorporado Bolivia, Ecuador, Paraguay, Colombia, El Salvador y Perú. Se prevé la construcción y lanzamiento del primer nanosatélite, *CELACSAT*.

La Agencia Espacial Europea se constituyó en 1975, España fue uno de los diez Estados fundadores y en la actualidad forman parte 22 Estados. La Agencia se creó mediante Convenio, de 30 de mayo de 1975, teniendo personalidad jurídica propia. Su sede se encuentra en París. Puede ser parte cualquier Estado europeo; Canadá tiene el estatus de Estado Asociado. En el convenio se dispone que la Agencia tiene exclusivamente fines pacíficos con la intención de elaborar una política espacial europea a largo plazo, poniendo en práctica actividades espaciales, coordinando el programa espacial europeo, integrando los programas nacionales de sus Estados miembros y poniendo en práctica una política industrial adecuada.

En la conclusión de contratos y acuerdos, la Agencia se reservará la propiedad de los inventos y datos técnicos, aunque podrán ser utilizados por los miembros de la Agencia. Las actividades de la Agencia se clasifican en obligatorias y facultativas. Los órganos de la Agencia son el Consejo (compuesto por representantes de los Estados miembros) y el director general, asistido por su personal. Respecto a la cooperación, la Agencia podrá, en virtud de decisiones del Consejo tomadas unánimemente por todos los Estados miembros, cooperar con otras organizaciones e instituciones internacionales, así como

con Gobiernos, organizaciones o instituciones de Estados no miembros de la Agencia.

Cualquier controversia suscitada entre dos o más Estados miembros de la Agencia, o entre uno o más Estados y la Agencia, y que no haya sido solventada por el Consejo, se someterá a arbitraje. El tribunal de arbitraje se compondrá de tres miembros; cada parte nombrará a un árbitro y estos designarán a un tercero que será el presidente del tribunal. El tribunal dictará un laudo por unanimidad que será firme y obligatorio para todas las partes en la controversia.

Cuando España inició sus actividades en el marco de la Agencia Espacial Europea, las actividades a las que las empresas españolas podían acceder se encontraban en el nivel más bajo de la cadena de valor. Hoy, sin embargo, podemos afirmar que España es capaz de diseñar, fabricar, lanzar y operar misiones completas. El pilar sobre el que se sustenta el sector espacial español es la inversión en programas de la Agencia, sobre todo en los facultativos, en los que se abordan proyectos esenciales y de enorme trascendencia como son los de lanzadores, observación de la Tierra, telecomunicaciones y navegación por satélite, entre otros, y que benefician enormemente a nuestra industria y, por tanto, a la sociedad en su conjunto.

Conclusiones generales

- I) Fomentar la cultura espacial y de seguridad en la sociedad, desde estadios muy tempranos, así como la especialización universitaria en disciplinas relativas a las actividades espaciales, tanto en su vertiente técnico-científica como jurídica.
- II) Ser conscientes de la cada vez mayor dependencia de las aplicaciones espaciales para el bienestar de nuestra sociedad y en concreto cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible.
- III) El sector público y privado deben de coordinar esfuerzos para fortalecer las capacidades espaciales nacionales.
- IV) Los Estados deben fomentar que sus sectores espaciales comerciales sean robustos y competitivos, facilitando la innovación y emprendimiento.
- V) El Estado debe velar por la seguridad de sus nacionales o aquellas personas que se encuentren en su territorio, así

como de aquellos bienes o infraestructuras críticas que le permitan obtener servicios esenciales.

- VI) Los Estados que aún no lo hayan hecho, deberían adherirse al Tratado del Espacio de 1967, al Acuerdo sobre el Salvamento, Convenio sobre la Responsabilidad y Convenio sobre el Registro.
- VII) Es sumamente importante que los Estados cuenten con un registro nacional de objetos lanzados al espacio.
- VIII) Se insta a aquellos Estados que aún no lo hayan hecho a que elaboren y aprueben a nivel interno la normativa necesaria para llevar a cabo actividades relacionadas con la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes, de conformidad con los convenios espaciales de las Naciones Unidas de los que sea parte, y con el fin de regular el otorgamiento de licencias a los operadores privados, siempre que no se comprometa la seguridad nacional.
- IX) La creación de agencias espaciales gubernamentales fortalece las capacidades espaciales nacionales, impulsando a la industria, y aprovechando la tecnología y ciencia espacial para el bienestar, seguridad y defensa de cada Estado.
- X) La pertenencia a una agencia espacial intergubernamental incrementa exponencialmente las capacidades de sus Estados miembros.

Composición del grupo de trabajo

Presidente

D. Miguel Ángel Gómez Tierno

*Catedrático de Ingeniería Aeroespacial
ETSI Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE-UPM)*

Vocal y coordinador

D. Federico Aznar Fernández-Montesinos

*Capitán de fragata de la Armada Española (DEM)
Analista del Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE)*

Vocales

D. Javier Ventura-Traveset Bosch

Director de la Oficina Científica de Navegación por Satélite Galileo de la Agencia Espacial Europea y académico de la Real Academia de Ingeniería de España

D.^a Isabel Pérez Grande

Catedrática de la ETSI Aeronáutica y del Espacio

D. Jorge Potti Cuervo

Director general de Espacio de GMV y vicepresidente de la Comisión de Espacio de TEDAE

D. Jaime Luis Sánchez Mayorga

*Coronel del Ejército del Aire
Unidad Espacio/Programa SATCOM-SPAINSAT NG*

*Dirección General de Armamento y Material
(DGAM)*

D.^a Elisa Celia González Ferreiro
*Presidenta de la Asociación Española de Derecho
Aeronáutico y Espacial*

Cuadernos de Estrategia

- 01 La industria alimentaria civil como administradora de las FAS y su capacidad de defensa estratégica
- 02 La ingeniería militar de España ante el reto de la investigación y el desarrollo en la defensa nacional
- 03 La industria española de interés para la defensa ante la entrada en vigor del Acta Única
- 04 Túnez: su realidad y su influencia en el entorno internacional
- 05 La Unión Europea Occidental (UEO) (1955-1988)
- 06 Estrategia regional en el Mediterráneo Occidental
- 07 Los transportes en la raya de Portugal
- 08 Estado actual y evaluación económica del triángulo España-Portugal-Marruecos
- 09 Perestroika y nacionalismos periféricos en la Unión Soviética
- 10 El escenario espacial en la batalla del año 2000 (I)
- 11 La gestión de los programas de tecnologías avanzadas
- 12 El escenario espacial en la batalla del año 2000 (II)
- 13 Cobertura de la demanda tecnológica derivada de las necesidades de la defensa nacional
- 14 Ideas y tendencias en la economía internacional y española

- 15 Identidad y solidaridad nacional
- 16 Implicaciones económicas del Acta Única 1992
- 17 Investigación de fenómenos belígenos: método analítico factorial
- 18 Las telecomunicaciones en Europa, en la década de los años 90
- 19 La profesión militar desde la perspectiva social y ética
- 20 El equilibrio de fuerzas en el espacio sur europeo y mediterráneo
- 21 Efectos económicos de la unificación alemana y sus implicaciones estratégicas
- 22 La política española de armamento ante la nueva situación internacional
- 23 Estrategia finisecular española: México y Centroamérica
- 24 La Ley Reguladora del Régimen del Personal Militar Profesional (cuatro cuestiones concretas)
- 25 Consecuencias de la reducción de los arsenales militares negociados en Viena, 1989. Amenaza no compartida
- 26 Estrategia en el área iberoamericana del Atlántico Sur
- 27 El Espacio Económico Europeo. Fin de la Guerra Fría
- 28 Sistemas ofensivos y defensivos del espacio (I)
- 29 Sugerencias a la Ley de Ordenación de las Telecomunicaciones (LOT)
- 30 La configuración de Europa en el umbral del siglo XXI
- 31 Estudio de «inteligencia operacional»
- 32 Cambios y evolución de los hábitos alimenticios de la población española
- 33 Repercusiones en la estrategia naval española de aceptarse las propuestas del Este en la CSBM, dentro del proceso de la CSCE
- 34 La energía y el medio ambiente
- 35 Influencia de las economías de los países mediterráneos del norte de África en sus respectivas políticas defensa
- 36 La evolución de la seguridad europea en la década de los 90
- 37 Análisis crítico de una bibliografía básica de sociología militar en España. 1980-1990
- 38 Recensiones de diversos libros de autores españoles, editados entre 1980-1990, relacionados con temas de las Fuerzas Armadas
- 39 Las fronteras del mundo hispánico
- 40 Los transportes y la barrera pirenaica
- 41 Estructura tecnológica e industrial de defensa, ante la evolución estratégica del fin del siglo XX

- 42 Las expectativas de la I+D de defensa en el nuevo marco estratégico
- 43 Costes de un ejército profesional de reclutamiento voluntario. Estudio sobre el Ejército profesional del Reino Unido y (III)
- 44 Sistemas ofensivos y defensivos del espacio (II)
- 45 Desequilibrios militares en el Mediterráneo Occidental
- 46 Seguimiento comparativo del presupuesto de gastos en la década 1982-1991 y su relación con el de Defensa
- 47 Factores de riesgo en el área mediterránea
- 48 Las Fuerzas Armadas en los procesos iberoamericanos de cambio democrático (1980-1990)
- 49 Factores de la estructura de seguridad europea
- 50 Algunos aspectos del régimen jurídico-económico de las FAS
- 51 Los transportes combinados
- 52 Presente y futuro de la conciencia nacional
- 53 Las corrientes fundamentalistas en el Magreb y su influencia en la política de defensa
- 54 Evolución y cambio del este europeo
- 55 Iberoamérica desde su propio sur. (La extensión del Acuerdo de Libre Comercio a Sudamérica)
- 56 La función de las Fuerzas Armadas ante el panorama internacional de conflictos
- 57 Simulación en las Fuerzas Armadas españolas, presente y futuro
- 58 La sociedad y la defensa civil
- 59 Aportación de España en las cumbres iberoamericanas: Guadalajara 1991-Madrid 1992
- 60 Presente y futuro de la política de armamentos y la I+D en España
- 61 El Consejo de Seguridad y la crisis de los países del Este
- 62 La economía de la defensa ante las vicisitudes actuales de las economías autonómicas
- 63 Los grandes maestros de la estrategia nuclear y espacial
- 64 Gasto militar y crecimiento económico. Aproximación al caso español
- 65 El futuro de la Comunidad Iberoamericana después del V Centenario
- 66 Los estudios estratégicos en España
- 67 Tecnologías de doble uso en la industria de la defensa
- 68 Aportación sociológica de la sociedad española a la defensa nacional

- 69 Análisis factorial de las causas que originan conflictos bélicos
- 70 Las conversaciones internacionales Norte-Sur sobre los problemas del Mediterráneo Occidental
- 71 Integración de la red ferroviaria de la península ibérica en el resto de la red europea
- 72 El equilibrio aeronaval en el área mediterránea. Zonas de irradiación de poder
- 73 Evolución del conflicto de Bosnia (1992-1993)
- 74 El entorno internacional de la Comunidad Iberoamericana
- 75 Gasto militar e industrialización
- 76 Obtención de los medios de defensa ante el entorno cambiante
- 77 La Política Exterior y de Seguridad Común (PESC) de la Unión Europea (UE)
- 78 La red de carreteras en la península ibérica, conexión con el resto de Europa mediante un sistema integrado de transportes
- 79 El derecho de intervención en los conflictos
- 80 Dependencias y vulnerabilidades de la economía española: su relación con la defensa nacional
- 81 La cooperación europea en las empresas de interés de la defensa
- 82 Los cascos azules en el conflicto de la ex-Yugoslavia
- 83 El sistema nacional de transportes en el escenario europeo al inicio del siglo XXI
- 84 El embargo y el bloqueo como formas de actuación de la comunidad internacional en los conflictos
- 85 La Política Exterior y de Seguridad Común (PESC) para Europa en el marco del Tratado de no Proliferación de Armas Nucleares (TNP)
- 86 Estrategia y futuro: la paz y seguridad en la Comunidad Iberoamericana
- 87 Sistema de información para la gestión de los transportes
- 88 El mar en la defensa económica de España
- 89 Fuerzas Armadas y sociedad civil. Conflicto de valores
- 90 Participación española en las fuerzas multinacionales
- 91 Ceuta y Melilla en las relaciones de España y Marruecos
- 92 Balance de las primeras cumbres iberoamericanas
- 93 La cooperación hispano-franco-italiana en el marco de la PESC
- 94 Consideraciones sobre los estatutos de las Fuerzas Armadas en actividades internacionales
- 95 La unión económica y monetaria: sus implicaciones

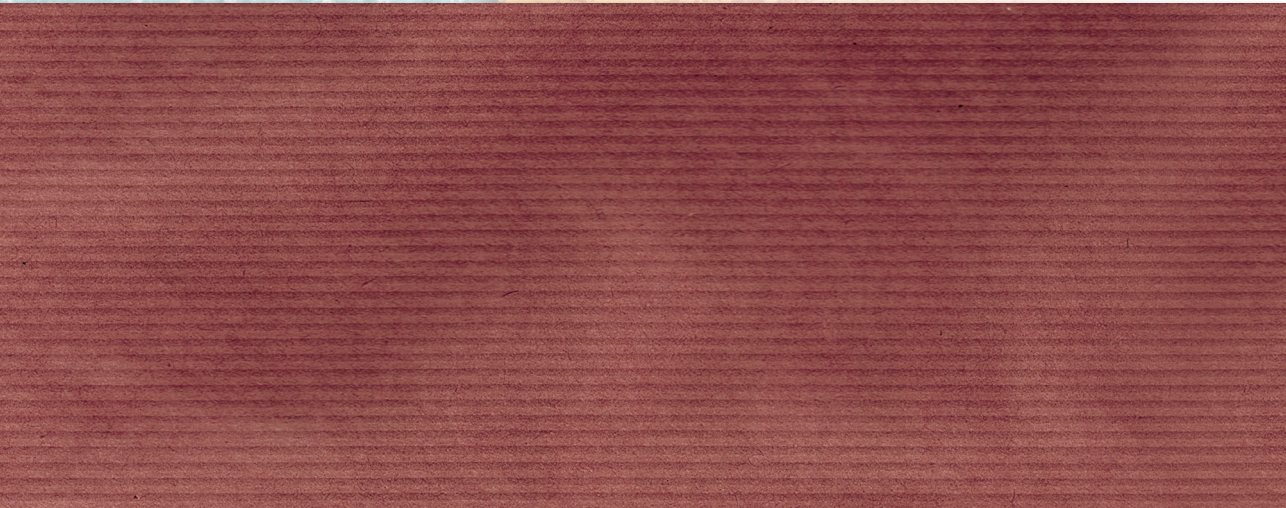
- 96 Panorama estratégico 1997/98
- 97 Las nuevas Españas del 98
- 98 Profesionalización de las Fuerzas Armadas: los problemas sociales
- 99 Las ideas estratégicas para el inicio del tercer milenio
- 100 Panorama estratégico 1998/99
- 100-B 1998/99 Strategic Panorama
- 101 La seguridad europea y Rusia
- 102 La recuperación de la memoria histórica: el nuevo modelo de democracia en Iberoamérica y España al cabo del siglo XX
- 103 La economía de los países del norte de África: potencialidades y debilidades en el momento actual
- 104 La profesionalización de las Fuerzas Armadas
- 105 Claves del pensamiento para la construcción de Europa
- 106 Magreb: percepción española de la estabilidad en el Mediterráneo, prospectiva hacia el 2010
- 106-B Maghreb: perception espagnole de la stabilité en Méditerranée, prospective en vue de L'année 2010
- 107 Panorama estratégico 1999/2000
- 107-B 1999/2000 Strategic Panorama
- 108 Hacia un nuevo orden de seguridad en Europa
- 109 Iberoamérica, análisis prospectivo de las políticas de defensa en curso
- 110 El concepto estratégico de la OTAN: un punto de vista español
- 111 Ideas sobre prevención de conflictos
- 112 Panorama Estratégico 2000/2001
- 112-B Strategic Panorama 2000/2001
- 113 Diálogo mediterráneo. Percepción española
- 113-B Le dialogue Méditerranéen. Une perception espagnole
- 114 Aportaciones a la relación sociedad - Fuerzas Armadas en Iberoamérica
- 115 La paz, un orden de seguridad, de libertad y de justicia
- 116 El marco jurídico de las misiones de las Fuerzas Armadas en tiempo de paz
- 117 Panorama Estratégico 2001/2002
- 117-B 2001/2002 Strategic Panorama
- 118 Análisis, estrategia y prospectiva de la Comunidad Iberoamericana
- 119 Seguridad y defensa en los medios de comunicación social

- 120 Nuevos riesgos para la sociedad del futuro
- 121 La industria europea de defensa: presente y futuro
- 122 La energía en el espacio euromediterráneo
- 122-B L'Énergie sur la scène euroméditerranéenne
- 123 Presente y futuro de las relaciones cívico-militares en Hispanoamérica
- 124 Nihilismo y terrorismo
- 125 El Mediterráneo en el nuevo entorno estratégico
- 125-B The Mediterranean in the New Strategic Environment
- 126 Valores, principios y seguridad en la comunidad iberoamericana de naciones
- 127 Estudios sobre inteligencia: fundamentos para la seguridad internacional
- 128 Comentarios de estrategia y política militar
- 129 La seguridad y la defensa de la Unión Europea: retos y oportunidades
- 130 El papel de la inteligencia ante los retos de la seguridad y defensa internacional
- 131 Crisis locales y seguridad internacional: El caso haitiano
- 132 Turquía a las puertas de Europa
- 133 Lucha contra el terrorismo y derecho internacional
- 134 Seguridad y defensa en Europa. Implicaciones estratégicas
- 135 La seguridad de la Unión Europea: nuevos factores de crisis
- 136 Iberoamérica: nuevas coordenadas, nuevas oportunidades, grandes desafíos
- 137 Irán, potencia emergente en Oriente Medio. Implicaciones en la estabilidad del Mediterráneo
- 138 La reforma del sector de seguridad: el nexo entre la seguridad, el desarrollo y el buen gobierno
- 139 Security Sector Reform: the Connection between Security, Development and Good Governance
- 140 Impacto de los riesgos emergentes en la seguridad marítima
- 141 La inteligencia, factor clave frente al terrorismo internacional
- 142 Del desencuentro entre culturas a la Alianza de Civilizaciones. Nuevas aportaciones para la seguridad en el Mediterráneo
- 143 El auge de Asia: implicaciones estratégicas
- 144 La cooperación multilateral en el Mediterráneo: un enfoque integral de la seguridad
- 145 La Política Europea de Seguridad y Defensa (PESD) tras la entrada en vigor del Tratado de Lisboa

- 145-B The European Security and Defense Policy (ESDP) after the entry into Force of the Lisbon Treaty
- 146 Respuesta europea y africana a los problemas de seguridad en África
- 146-B European and African Response to Security Problems in Africa
- 147 Los actores no estatales y la seguridad internacional: su papel en la resolución de conflictos y crisis
- 148 Conflictos, opinión pública y medios de comunicación. Análisis de una compleja interacción
- 149 Ciberseguridad. Retos y amenazas a la seguridad nacional en el ciberespacio
- 150 Seguridad, modelo energético y cambio climático
- 151 Las potencias emergentes hoy: hacia un nuevo orden mundial
- 152 Actores armados no estables: retos a la seguridad
- 153 Proliferación de ADM y de tecnología avanzada
- 154 La defensa del futuro: innovación, tecnología e industria
- 154-B The Defence of the Future: Innovation, Technology and Industry
- 155 La Cultura de Seguridad y Defensa. Un proyecto en marcha
- 156 El gran Cáucaso
- 157 El papel de la mujer y el género en los conflictos
- 157-B The role of woman and gender in conflicts
- 158 Los desafíos de la seguridad en Iberoamérica
- 159 Los potenciadores del riesgo
- 160 La respuesta del derecho internacional a los problemas actuales de la seguridad global
- 161 Seguridad alimentaria y seguridad global
- 161-B Food security and global security
- 162 La inteligencia económica en un mundo globalizado
- 162-B Economic intelligence in global world
- 163 Islamismo en (r)evolución: movilización social y cambio político
- 164 Afganistán después de la ISAF
- 165 España ante las emergencias y catástrofes. Las Fuerzas Armadas en colaboración con las autoridades civiles
- 166 Energía y Geoestrategia 2014
- 166-B Energy and Geostrategy 2014
- 167 Perspectivas de evolución futura de la política de seguridad y defensa de la UE. Escenarios de crisis
- 167-B Prospects for the future evolution of the EU's security and defence policy. Crisis scenarios

- 168 Evolución del mundo árabe: tendencias
- 169 Desarme y control de armamento en el siglo XXI: limitaciones al comercio y a las transferencias de tecnología
- 170 El sector espacial en España. Evolución y perspectivas
- 171 Cooperación con Iberoamérica en materia de defensa
- 172 Cuadernos de Estrategia 172 Cultura de Seguridad y Defensa: fundamentos y perspectivas de mejora
- 173 La internacional yihadista
- 174 Economía y geopolítica en un mundo globalizado
- 175 Industria Española de Defensa. Riqueza, tecnología y seguridad
- 176 Shael 2015, origen de desafíos y oportunidades
- 177 UE-EE.UU.: Una relación indispensable para la paz y la estabilidad mundiales
- 178 Rusia bajo el liderazgo de Putin. La nueva estrategia rusa a la búsqueda de su liderazgo regional y el reforzamiento como actor global.
- 179 Análisis comparativo de las capacidades militares españolas con las de los países de su entorno
- 180 Estrategias para derrotar al DAESH y la reestabilización regional
- 181 América Latina: nuevos retos en seguridad y defensa
- 182 La colaboración tecnológica entre la universidad y las Fuerzas Armadas
- 183 Política y violencia: comprensión teórica y desarrollo en la acción colectiva
- 184 Una estrategia global de la Unión Europea para tiempos difíciles
- 185 Ciberseguridad: la cooperación público-privada
- 186 El agua: ¿fuente de conflicto o cooperación?
- 187 Geoeconomías del siglo XXI
- 188 Seguridad global y derechos fundamentales
- 189 El posconflicto colombiano: una perspectiva transversal
- 190 La evolución de la demografía y su incidencia en la defensa y seguridad nacional
- 190-B The evolution of demography and its impact on defense and national security
- 191 OTAN: presente y futuro
- 192 Hacia una estrategia de seguridad aeroespacial
- 193 El cambio climático y su repercusión en la Defensa
- 194 La gestión del conocimiento en la gestión de programas de defensa

- 195 El rol de las Fuerzas Armadas en operaciones posconflicto
- 196 Oriente medio tras el califato
- 197 La posverdad. Seguridad y defensa
- 198 Retos diversos a la seguridad. Una visión desde España
- 199 Gobernanza futura: hiperglobalización, mundo multipolar y Estados menguantes
- 200 Globalización e identidades. Dilemas del siglo XXI.
- 201 Límites jurídicos de las operaciones actuales: nuevos desafíos.
- 202 El SAHEL y G5: desafíos y oportunidades.
- 203 Emergencias pandémicas en un mundo globalizado: amenazas a la seguridad.
- 204 La dualidad económica Estados Unidos-China en el siglo XXI
- 205 La no proliferación y el control de armamentos nucleares en la encrucijada
- 206 Las ciudades: agentes críticos para una transformación sostenible del mundo
- 207 Repercusiones estratégicas del desarrollo tecnológico. Impacto de las tecnologías emergentes en el posicionamiento estratégico de los países



	GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE DEFENSA	SUBSECRETARÍA DE DEFENSA
			SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
			SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL