

LA PREOCUPACIÓN POR LA SITUACIÓN FUTURA DEL ESPACIO

Manuel Ángel SÁNCHEZ PIEDRA



David RODRÍGUEZ COLLANTES



Introducción



En los últimos años, la preocupación de la sociedad por el futuro del entorno espacial ha aumentado significativamente. La compleja situación de este medio requiere una intensa cooperación internacional, el progreso científico, la seguridad de las operaciones y el mantenimiento de un ambiente sostenible.

El uso del espacio para todo tipo de finalidades, como la investigación científica (ESA, 2005), la comercial, la militar (US Space Force, 2020) y la gestión de desastres naturales, ha sido impulsado por los avances en la exploración espacial y la tecnología aplicada en este campo.

Es razonable que el lector se pregunte cómo será posible abordar la sostenibilidad del espacio para las generaciones futuras, tanto en el contexto actual como para garantizar la viabilidad de las aplicaciones mencionadas anteriormente. Éste es el principal obstáculo al que se enfrenta la comunidad internacional.

A continuación se relacionan los temas que actualmente son el foco de debate sobre la protección del entorno espacial y que se detallarán más adelante en el cuerpo del artículo. Entre ellos se encuentran el establecimiento de las megaconstelaciones, la apertura de la explotación comercial del espacio, el uso sostenible de los recursos espaciales, el turismo espacial, la falta de una normativa que regule éstas y otras actividades y, cómo no mencionarlo, la

proliferación de satélites y objetos de basura espacial en órbitas de alto valor añadido (ESA, 2022).

Además de estos frentes de reciente actualidad, hay otras disciplinas que están fuertemente arraigadas en los programas de concienciación de la situación espacial de las agencias espaciales (Bobrinsky, 2010) y que, por sí mismas, suponen un reto para la sostenibilidad del entorno espacial. Son los programas de Meteorología Espacial, de Vigilancia de Objetos Próximos a la Tierra y de Vigilancia y Seguimiento Espacial (1).

Los programas de concienciación de la situación espacial

Entre los objetivos principales de estos programas destaca el de poder proporcionar información actualizada y precisa sobre la ubicación, trayectoria y características de los objetos que orbitan alrededor de la Tierra. Éstos incluyen diferentes categorías, como satélites artificiales, basura espacial y otros cuerpos celestes de origen natural. Entre otras cosas, esta línea de acción ayuda a prevenir colisiones, reducir los riesgos relacionados con el creciente número de objetos espaciales y proporcionar información actualizada sobre el entorno espacial.

Meteorología Espacial

Este segmento es importante, entre otras cosas, debido a las consecuencias que tiene el clima espacial en la correcta operación de los satélites y la infraestructura en tierra (Schwenn, 2006). Pero, ¿qué se entiende por clima espacial? Son todos los procesos físicos, especialmente aquéllos que tienen su origen en el Sol, como las fulguraciones y las eyecciones de masa coronal que producen una liberación súbita de radiación electromagnética (UV, visible, rayos X y gamma). Este tipo de procesos, que se producen durante las tormentas solares, tienen un impacto directo en el comportamiento habitual de la magnetosfera terrestre.

Una tormenta solar puede emitir partículas cargadas que interactúan con los satélites en órbita alrededor de la Tierra y dañar sus componentes electrónicos, lo cual puede interrumpir los sistemas de comunicación, de navegación por satélite y otras funciones críticas. Además, las perturbaciones en el campo magnético de la Tierra pueden tener un impacto en las redes eléctricas terrestres, provocando apagones y daños a los sistemas eléctricos (Boteler, 2019).

(1) SSA: *Space Situational Awareness*. SWE: *Space Weather Environment*. NEO: *Near-Earth Objects*. SST: *Space Surveillance and Tracking*.

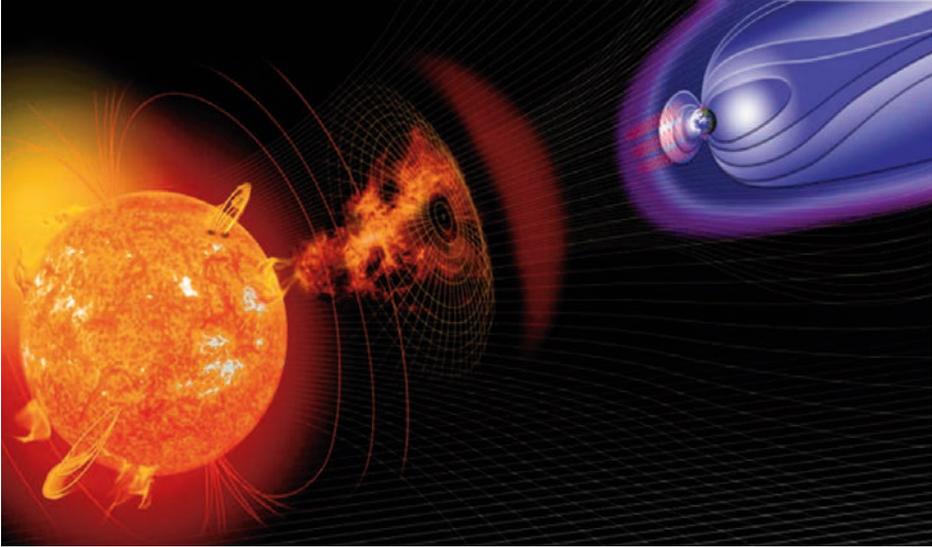


Figura 1. La magnetosfera y su capacidad para protegernos de la acción solar son esenciales para la vida en la Tierra. (Fuente: Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, NOAA)

La misión SOHO (2) fue lanzada en 1995 a partir de un proyecto conjunto NASA-ESA (3), con el objetivo de monitorizar la actividad solar (Domingo, 1995). Este satélite, ubicado en el punto de equilibrio gravitatorio entre el Sol y la Tierra (a 1.502.000 km de ésta) Lagrange L1, puede llevar a cabo observaciones solares continuas.

Vigilancia de Objetos Próximos a la Tierra

Este segmento permite identificar y catalogar asteroides y cometas cercanos para poder predecir el riesgo de impacto bien en nuestro planeta o bien sobre nuestra red de constelaciones (Drolshagen, 2008). Al conocer mejor las trayectorias de estos cuerpos, es posible tomar medidas preventivas que minimicen el riesgo de una amenaza potencial.

Existe una densa red de sensores para la detección y seguimiento de este tipo de objetos celestes. Uno de los sensores más modernos en este campo es

(2) Solar and Heliospheric Observatory.

(3) NASA: National Aeronautics and Space Administration. ESA: European Space Agency.

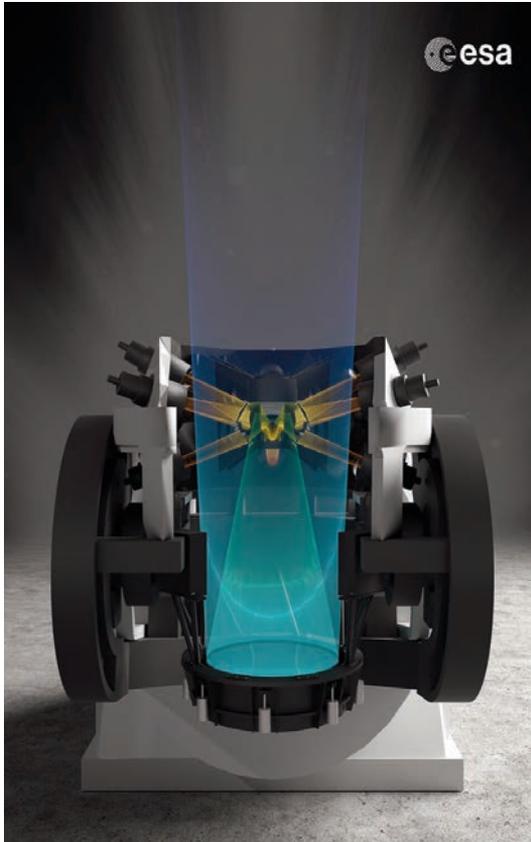


Figura 2. Caminos ópticos de la luz a través de la estructura del telescopio Flyeye.
(Fuente: ESA)

el telescopio Flyeye (4) de la ESA, que divide cada imagen en 16 subimágenes más pequeñas con grandes campos de visión para cubrir extensas áreas del cielo en poco tiempo.

Una muestra del riesgo de impacto de este tipo de cuerpos celestes quedó patente el pasado mayo de 2022, cuando un micrometeorito colisionó sobre uno de los segmentos primarios del espejo de recepción del telescopio James Webb (5) (10.000 millones de dólares). A pesar del pequeño tamaño del cuerpo, el telescopio, situado en el punto de Lagrange L2 (misma distancia a la Tierra que L1, pero en dirección opuesta al Sol), sufrió daños irreparables en esta celda.

Vigilancia y Seguimiento Espacial

Este programa centraliza sus esfuerzos, mediante redes de observación, en la detección, seguimiento y catalogación

de objetos para la prevención de colisiones y la protección de activos espaciales.

(4) El primer telescopio de la serie Flyeye, ubicado en la cima de la montaña Mufara (a 1.865 m de altitud) en Sicilia, ofrece un rendimiento equivalente a un telescopio de un metro de apertura y proporciona un campo de visión muy amplio, de 6,7° x 6,7° (aproximadamente 45° de cielo).

(5) Este telescopio espacial es un proyecto de colaboración entre la ESA, la NASA y la CSA (Canadian Space Agency) para sustituir a los telescopios Hubble y Spitzer. Uno de sus objetivos es el estudio de la formación de estrellas y galaxias en las etapas iniciales del Universo.

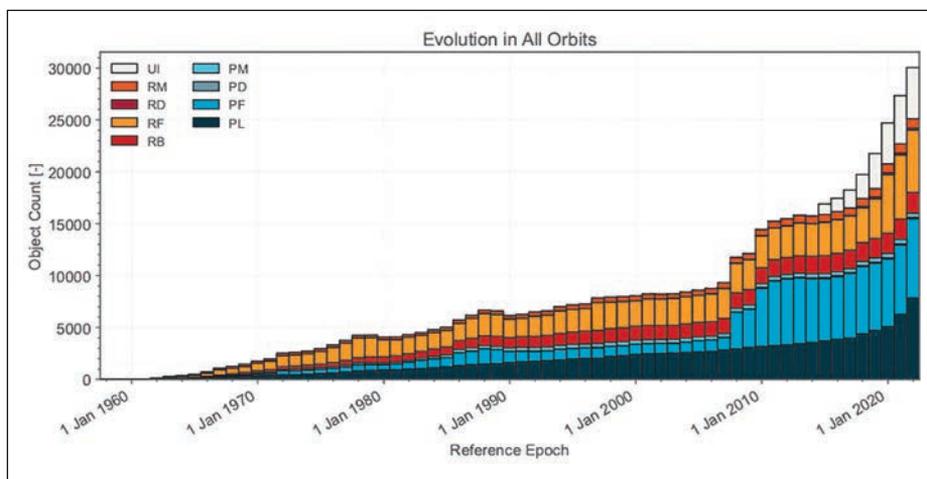


Figura 3. La población de basura espacial aumenta de forma imparable. Las redes de vigilancia siguen regularmente a más de 30.000 objetos de este tipo. (Fuente: ESA)

Desde el lanzamiento del *Sputnik I* (6) (1957), la cantidad de satélites en órbita no ha cesado de aumentar, lo que ha conducido a un grave problema asociado, la proliferación de basura espacial.

En la actualidad es uno de los retos que comprometen de forma más seria la sostenibilidad del espacio. En primer lugar, es importante destacar que una colisión de uno de estos objetos con un satélite operativo podría tener consecuencias catastróficas; esto se debe a su alta energía cinética (velocidades de hasta 7,5 km/s). Estos impactos son una de las causas principales de la generación de más objetos de basura espacial a partir del proceso denominado Síndrome de Kessler (Kessler, 2010).

El número de lanzamientos de satélites ha aumentado de forma continua (7) y en la actualidad llega hasta casi los 6.500, lo que ha conducido a poner en el espacio más de 15.000 satélites, 10.500 de ellos aún en órbita y sólo 8.000 activos. Además, el número de objetos de basura espacial estimado en base a modelos estadísticos (aplicación ESA MASTER-8) (8) se sitúa en más de 36.000 mayores de diez centímetros, un millón de entre uno y diez centímetros

(6) Este hito histórico marcó, el 4 de octubre de 1957, el inicio de la carrera espacial entre Estados Unidos y la Unión Soviética durante la Guerra Fría.

(7) «Space debris by numbers», en <http://www.wsa.int> (actualizado el 6 de junio de 2023).

(8) Es una herramienta de evaluación de riesgos de basura espacial y meteoroides de la ESA cuyas siglas en inglés responden a *Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference*.

y más de 130 millones de entre un milímetro y un centímetro. De acuerdo a investigaciones recientes basadas en estos datos, incluso si se detiene el lanzamiento de nuevos satélites, la población de basura espacial seguirá creciendo, debido fundamentalmente a choques accidentales.

Desde finales de los años 2000, dos eventos importantes han aumentado la concienciación sobre el problema de la basura espacial. El primero de ellos fue la prueba balística china sobre el satélite meteorológico Fengyun-1C (11 de enero de 2007). El segundo fue la colisión entre el satélite ruso inactivo Cosmos-2251 y el de comunicaciones estadounidense Iridium-33 (10 de febrero de 2009). Ambos sucesos produjeron una gran cantidad de objetos y la fragmentación de ellos en diferentes tamaños, lo cual aumentó la probabilidad de un mayor número de colisiones en el futuro. Para catalogar este tipo de objetos de forma precisa es necesario procesar los datos de observación de una extensa red de sensores compuesta por radares, telescopios óptico-pasivos y estaciones láser.



Figura 4. La estación láser del Real Instituto y Observatorio de la Armada durante una observación nocturna. (Fuente: Ángel Molina, *El diario del Astrónomo*)

La Armada, por medio del Real Instituto y Observatorio de la Armada (9), contribuye con su amplia experiencia en el seguimiento de satélites artificiales mediante técnicas fotográficas y telemetría láser participando con sus dos sensores —el telescopio TFRM (Montejo, 2011) y la estación láser SFEL (10) (Catalán, 2016)— en redes de vigilancia y seguimiento nacionales e internacionales, como S3T, EU SST, EUROLAS e ILRS (11), entre otras.

Nuevas amenazas que comprometen la sostenibilidad espacial

El auge de las actividades espaciales en las últimas décadas ha abierto nuevas oportunidades y avances científicos sin precedentes. Sin embargo, como inconveniente, la preocupación en relación a la sostenibilidad y la seguridad espacial ha aumentado. Es por ello fundamental considerar las nuevas amenazas que podrían comprometer la sostenibilidad del entorno espacial a medida que la comunidad internacional busca maximizar el uso potencial del espacio.

El desarrollo de las megaconstelaciones

Estos proyectos implican la puesta en órbita en LEO (12) de una gran cantidad de satélites con el objetivo de ofrecer conectividad global, servicios de comunicación y acceso a internet desde el espacio. En estas constelaciones, miles de satélites operan coordinados para enviar señales de comunicación a la Tierra.

No es un dato anecdótico que alguna de estas constelaciones integre por sí misma más satélites que los que han sido lanzados desde el año 1957 hasta la actualidad. En la tabla 1, se recoge una relación de las principales megaconstelaciones, el número de satélites que plantean poner en órbita y su principal aplicación.

La proliferación de las megaconstelaciones ha generado un extenso debate sobre su impacto en la sostenibilidad espacial (Boley, 2021). Uno de los

(9) Conocido por el ROA.

(10) Los dos sensores pertenecientes al ROA dedicados a la vigilancia y seguimiento espacial son el Telescopio Fabra ROA Montsec (TFRM) y la Estación Láser de San Fernando (SFEL).

(11) S3T: *Spanish Space Surveillance and Tracking*. EU SST: *European Union Space Surveillance and Tracking*. EUROLAS: *European Laser Network*. ILRS: *International Laser Ranging Service*.

(12) *Low Earth Orbit*: es aquel conjunto de órbitas que no supera una altura máxima de 2.000 km respecto a la superficie terrestre.



Figura 5. Constelación de satélites Starlink momentos antes de ser desplegados en órbita.
(Fuente: Starlink)

País	Compañía	Constelación	Satélites	Fecha
Estados Unidos	SpaceX	Starlink	42.000	2018
Reino Unido	OneWeb	OneWeb	47.844	2019
Estados Unidos	Amazon	Kuiper	3.236	2023
Canadá	Telesat	Lightspeed	1.969	2023
China	China SatNet	Guanwang	12.992	—
China	Galaxy Space	Yinhe	1.000	2020
Corea del Sur	Hanwha	Hanwha	2.000	2023
Estados Unidos	Lynk	Lynk	2.000	2019
Estados Unidos	Astra Space	Astra	13.620	2023
Estados Unidos	Boeing	BOE	5.841	2022
Estados Unidos	HVNET	HVNET	1.440	—
Alemania	Globalstar	GLOB	3.080	—
Francia	E-Space	E-Space	300.000	2022

Tabla 1. Relación de compañías que han desarrollado megaconstelaciones, con el número de satélites planeados y la fecha del primer lanzamiento



Figura 6. Nave *Starship* en el centro espacial de SpaceX en Boca Chica, Texas.
(Fuente: SpaceX)

principales desafíos es la congestión que estas redes pueden causar en las órbitas, lo que aumenta el riesgo de que sucedan colisiones entre satélites y basura espacial. Esto plantea cuestiones sobre cómo manejar de manera segura y eficiente el creciente número de objetos en el espacio mientras se mantienen las órbitas utilizables para futuras misiones.

La apertura a la explotación comercial del espacio

La empresa SpaceX (13), dedicada a la exploración espacial y el transporte comercial, es la referencia en el sector. Su enfoque innovador en el diseño y

(13) Es la empresa privada de referencia en tecnología aeroespacial. Fue creada por Elon Musk en 2002 con el objetivo de transformar la exploración espacial.

fabricación de cohetes y naves espaciales, así como sus ambiciosos objetivos de colonización de Marte, la han hecho famosa en todo el planeta.

El lanzamiento de vehículos espaciales en colaboración con la NASA y la prestación de servicios de transporte de carga a la Estación Espacial Internacional (14) son dos de las principales actividades comerciales en las que SpaceX ha centrado su campo de trabajo. De este modo, los vehículos espaciales *Falcon 9* y *Dragon* han dejado patente su capacidad para llevar objetos a órbitas bajas. Además, el programa *Starship* está en proceso de desarrollo y tiene como objetivo embarcar tanto tripulación como carga, bien a órbitas cercanas o a lugares lejanos como Marte.

La aparición de SpaceX ha disminuido de forma significativa el coste asociado al acceso al espacio. Además, ha planteado nuevas perspectivas para la exploración y el comercio espacial (Reddy, 2018). No obstante, es evidente que no todas las consecuencias son positivas, ya que estas acciones podrían llevar a la utilización del espacio como un simple recurso para obtener beneficio económico, poniendo en riesgo la preservación de su integridad.



Figura 7. El avión espacial *Virgin Galactic* realizando un vuelo orbital. (Fuente: Virgin)

(14) ISS: International Space Station.

Actualmente, no hay un marco legal global que cubra todas las facetas de la explotación comercial del espacio. Esto puede conducir a vacíos legales, incertidumbre y falta de normas claras que guíen estas actividades. Por último, pero no menos importante, la apertura comercial puede hacer que los intereses económicos sean prioritarios sobre los científicos y de exploración.

Turismo espacial

El objetivo de este sector emergente es brindar a la población la oportunidad de viajar y experimentar el espacio exterior. A medida que las empresas privadas invierten y desarrollan su tecnología, el turismo espacial se ha vuelto más rentable (Chang, 2015). Algunas de las propuestas incluyen vuelos suborbitales que brinden vistas panorámicas de la Tierra y breves períodos de ingravidez, mientras que otras buscan llevar a los turistas a órbitas más altas, e incluso, quién sabe, si algún día a la Luna.

Esta actividad puede despertar el interés por el espacio y generar nuevas oportunidades económicas. Sin embargo, también plantea problemas importantes, como la seguridad de los turistas, la gestión de los desechos espaciales, el impacto que produce en el entorno y la contaminación ambiental.

El desarrollo del turismo espacial debe llevarse a cabo de manera responsable y sostenible, teniendo en cuenta las futuras regulaciones, el medio ambiente y la seguridad en las operaciones. Para ello, es necesario establecer un marco legal que garantice estos principios básicos y minimice los efectos negativos.

Conflictos geopolíticos espaciales

A medida que el uso de este entorno se vuelve más estratégico para las naciones, parece lógico observar un aumento en las tensiones relacionadas con el control, la explotación y el uso de los recursos. Una de las principales causas de conflictos es la competencia por la supremacía militar y tecnológica en el espacio. Varios países han desarrollado capacidades sofisticadas que otros actores podrían considerar amenazantes. Esto ha generado una especial preocupación en la sociedad sobre la posible militarización del espacio y el inicio de una carrera espacial armamentística.

Por estas razones, es necesaria una mayor diplomacia en el ámbito espacial y la cooperación internacional para solucionar estos conflictos. La utilización pacífica del espacio ha sido regulada por tratados internacionales. Sin embargo, para fomentar la confianza mutua y la colaboración en el ámbito espacial se requiere un compromiso internacional continuo.

Explotación de recursos

La explotación de recursos en el espacio con fines comerciales o de exploración ha ganado popularidad y se ha convertido en un tema de debate, con argumentos a favor y en contra. Según los defensores, podría generar nuevas oportunidades económicas, facilitar el acceso a recursos valiosos y promover el avance tecnológico (NASA, 2020). Además, podría ayudar a abordar la posible escasez mundial de materias primas. En cambio, los críticos plantean

País	Programa	Objetivo	Fecha
AGENCIAS ESPACIALES			
Estados Unidos-NASA	Lunar Reconnaissance Orbiter	Orbitador para cartografiar la superficie lunar en busca de ubicaciones para futuras misiones	2009
	Artemis	Establecer una presencia sostenible	2024
China-CNSA	Chang'e	Varios alunizajes de <i>Rover</i> , incluyendo en el lado oculto de la Luna, y extracción de muestras	2013 2020
Rusia-Roscosmos	Luna-Glob	Envío de misiones no tripuladas	2023
UE-ESA	SMART-1	Investigaciones científicas en la superficie lunar	2003
	Moon-Village	Explorar la posibilidad, en colaboración con otros países, de establecer una estación lunar para llevar a cabo investigaciones científicas	Indefinida
India-ISRO	Chandrayaan	Incluyó un alunizador y un <i>Rover</i> . El alunizaje no tuvo éxito	2019
Japón-JAXA	Kaguya	Estudio de la superficie de la Luna	2007
ACTORES PRIVADOS			
Estados Unidos-SpaceX	Starship HLS	Transporte de astronautas y carga a la Luna	2024
Estados Unidos-Blue Origin	Blue Moon	Transporte de astronautas y carga a la Luna	2028
Japón-ispace	Hakuto-R	Desarrollo de un módulo de alunizaje sin éxito	2022

Tabla 2. Relación de agencias espaciales y actores privados que han desarrollado programas de exploración y explotación lunar

problemas éticos, legales y ambientales. Se cuestiona si los recursos espaciales deben ser considerados un bien común de la humanidad o una propiedad privada. En este ámbito, el interés en la exploración de la Luna se ha reactivado, y ya son numerosos países y actores privados los que se han embarcado en una denominada Carrera Espacial 2.0, que ha generado una dura competencia por alcanzar objetivos científicos, tecnológicos y comerciales. La tabla 2 recoge los principales actores de este teatro de operaciones.

El control estratégico de la Luna podría generar ventajas económicas, adquisición de recursos naturales y nuevas vías de comunicación y observación espacial. Sin embargo, en este escenario también surgen desafíos y cuestiones geopolíticas. Tres de los puntos fundamentales para garantizar un desarrollo sostenible en beneficio de toda la humanidad son fomentar la cooperación internacional, establecer marcos regulatorios claros y promover la equidad en la utilización de los recursos lunares.

Algunas respuestas ante estas amenazas

La comprometida situación en el espacio requiere, entre otros aspectos, una sólida cooperación internacional, que las instituciones involucradas continúen apostando por el desarrollo científico-técnico y que la infraestructura espacial siga garantizando la seguridad en las operaciones; todas estas cuestiones han de focalizarse en la sostenibilidad del entorno espacial.

La cooperación internacional

Para abordar los desafíos actuales, es necesaria la colaboración internacional. La razón principal es que ningún país puede enfrentar los problemas del espacio por sí solo, ya que es un asunto de ámbito global. Puede considerarse un requisito que las agencias e instituciones espaciales trabajen juntas para garantizar la seguridad y el uso sostenible del espacio. Para ello ponen en marcha mecanismos como la vigilancia espacial, el intercambio de datos, la reducción de basura espacial y la respuesta a situaciones de emergencia. En cuanto a la proliferación de la basura espacial, es crucial resaltar la participación activa de las agencias espaciales e instituciones, involucradas en la búsqueda de recomendaciones y medidas activas para reducir los efectos negativos que esto provoca. Algunas de estas recomendaciones (COPUOS, 2010) incluyen:

- El diseño de satélites y cohetes que minimicen la generación de desechos espaciales.

- La desorbitación controlada al final de la vida útil de la misión (máximo de 25 años en órbita), lo cual conlleva planificar maniobras para guiar los objetos hacia una reentrada controlada en la atmósfera.
- Potenciar proyectos de retirada de objetos inactivos que supongan un riesgo significativo de colisión.
- Fomentar el intercambio de datos a través de centros de análisis y redes de internacionales para optimizar la catalogación y determinación orbital de los objetos.

Quizás, el punto más importante sea desarrollar una normativa que actualice las actividades y particularidades del entorno espacial. En relación a ello, el Tratado del Espacio (15) (1967) estableció las bases del derecho espacial, incluida la exploración y utilización pacífica del espacio, la prohibición de uso de armas nucleares, la responsabilidad civil por daños causados por objetos espaciales y la prohibición de que los gobiernos reclamen la soberanía sobre la Luna y de otros cuerpos celestes, al ser éstos considerados patrimonio común de la humanidad.

No obstante, es cierto que, a medida que las actividades espaciales se modernizan, también es necesario actualizar y reforzar la normativa asociada. La gestión de órbitas, la regulación de la basura espacial, la protección de los activos espaciales y la promoción de prácticas espaciales responsables son algunos ejemplos claros y ya discutidos en este artículo. Es importante destacar los intentos de establecer mecanismos adicionales, como la creación del Comité sobre el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre (16), establecido por la Organización de las Naciones Unidas, y que tiene como objetivo discutir temas relacionados con la regulación espacial.

Por otro lado, es importante destacar que el Tratado Antártico (17) marcó un precedente importante en la regulación de un territorio de interés global. El objetivo de este pacto fue establecer un marco legal en la Antártida que fomentara el desarrollo científico, la cooperación pacífica y la protección del medio ambiente. A pesar de que este Tratado tiene un contexto y características distintas, sus logros podrían servir de inspiración para el desarrollo de una normativa espacial integral y colaborativa.

(15) Es el marco jurídico fundamental del derecho internacional del espacio. Fue ratificado por un total de 110 países y firmado por otros 23.

(16) COPUOS: Committee on the Peaceful Uses of Outer Space.

(17) Este acuerdo es un referente en la diplomacia internacional y su característica principal es la promoción de la investigación científica en esta región.

El desarrollo científico-técnico

La sostenibilidad del espacio depende de forma directa del progreso científico-técnico. Esto implica no sólo la creación de nuevas tecnologías, sino el desarrollo de medidas para reducir los retos actuales y futuros. La gestión y reducción de la basura espacial es una de las áreas fundamentales, que incluye el desarrollo de soluciones activas y pasivas. Por un lado, se busca mejorar el seguimiento, la vigilancia y la catalogación de los objetos en órbita para prevenir colisiones. Por otro, se investigan tecnologías para eliminar o mitigar los efectos de la basura espacial de manera segura.

Otro aspecto importante es el diseño de satélites sostenibles. Al final de su vida útil, se espera que éstos incorporen métodos para ser retirados de manera segura, lo cual reducirá la acumulación de desechos en el espacio. Además, se fomenta el uso de energías renovables para aumentar la eficiencia empleando tecnologías que optimicen el consumo.

La sostenibilidad depende de forma directa de la investigación científica. La investigación en campos como la astronomía, la exploración espacial y la ciencia de materiales son áreas específicas que contribuyen a mejorar el conocimiento del espacio.

Finalmente, pero no menos importante, reseñar que la sostenibilidad depende de la concienciación de la sociedad. Es fundamental divulgar sobre la importancia de preservar el entorno espacial, además de promover su uso responsable. Esto incluye brindar capacitación a los trabajadores que participan en proyectos espaciales y difundir información sobre los efectos de las actividades que se llevan a cabo en el espacio.

La seguridad de las operaciones espaciales

La sostenibilidad espacial y la seguridad de las operaciones espaciales dependen directamente del desarrollo de su infraestructura. En primer lugar, las tareas desarrolladas por los sensores de observación son aspectos esenciales de la infraestructura espacial. Los objetos en órbita se monitorizan continuamente a través de redes de observación, lo que permite predecir colisiones. Esta infraestructura reduce el riesgo de generar más basura espacial y preserva la integridad de los activos espaciales.

Adicionalmente, los sistemas de comunicación y navegación son esenciales para garantizar la seguridad de las operaciones espaciales, facilitando la comunicación entre las misiones y los centros de control y permitiendo realizar trayectorias con precisión. Así, una infraestructura robusta facilita la coordinación de misiones, reduce el riesgo de colisión y posibilita la recopilación de datos de seguimiento y control. Los centros de control son una parte fundamental de la infraestructura porque supervisan y controlan las operaciones de

los satélites, verificando que se cumplan los requisitos de seguridad y tomando las medidas adecuadas para enfrentar cualquier emergencia.

Conclusiones

La preocupación de la sociedad por el futuro del entorno espacial ha aumentado significativamente en los últimos años. En la actualidad, varios temas han cobrado importancia como posibles amenazas a la sostenibilidad del espacio, tales como la expansión de la basura espacial, la falta de regulación adecuada, el desarrollo de las megaconstelaciones, la apertura de la explotación comercial del espacio, el uso sostenible de los recursos espaciales y la creación del turismo espacial.

Con el fin de resolver la compleja situación del ámbito espacial, será necesario consolidar una serie de principios fundamentales, como la cooperación internacional y el desarrollo científico en el ámbito espacial, la seguridad de las operaciones y la sostenibilidad.

La Armada ha demostrado su compromiso con estos valores a través de su amplia experiencia científico-técnica en el seguimiento de satélites artificiales. Disciplina en la que participa el ROA, tanto mediante técnicas fotográficas como con telemetría láser, en redes de vigilancia y seguimiento nacionales e internacionales.



BIBLIOGRAFÍA

- ESA (2005): «The Future of European Space Exploration. Towards a European Long-Term Strategy». European Space Agency. HME-HS/BH/2005-001.II. ESA ESTEC.
- (2022): «ESA's Annual Space Environment Report». ESA Space Debris Office. European Space Agency. GEN-DB-LOG-00288-OPS-SD. ESA ESOC.
- US Space Force (2020): «Doctrine for Space Forces». Headquarters United Space Force. *Space Capstone Publication*.
- BOBRINSKY, N.; DEL MONTE, L. (2010): «The space situational awareness program of the European Space Agency». *Cosmic Research*, 48, pp. 392-398, doi.org/10.1134/S0010952510050035
- SCHWENN, R. (2006): «Space Weather: The Solar Perspective». *Living Reviews in Solar Physics*, 3(2), doi.org/10.12942/lrsp-2006-2
- BOTELER, D. (2019): «A 21.st century view of the March 1989 magnetic storm». *Space Weather*, 17, pp. 1.427-1.441, doi.org/10.1029/2019SW002278
- DOMINGO, V.; FLECK, B. (1995): «The SOHO mission: an overview». *Solar Physics*, 162, pp. 1-37.
- DROLSHAGEN, G. (2008): «Impact effects from small size meteoroids and space debris». *Advances in space Research*, 41(7), pp. 1.123-1.131.
- KESSLER, D., *et al.* (2010): «The kessler syndrome: implications to future space operations». *Advances in the Astronautical Sciences*, 137(8).
- MONTOJO, F. J., *et al.* (2011): «The Fabra-ROA Telescope at Montsec (TFRM): A Fully Robotic Wide-field Telescope for Space Surveillance and Tracking», *arXiv preprint arXiv:1109.5918*
- CATALÁN, M., *et al.* (2016): «Space debris tracking at San Fernando laser station». *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 48, pp. 103-106.
- BOLEY, A. C.; BYERS, M. (2021): «Satellite mega-constellations create risks in Low Earth Orbit, the atmosphere and on Earth». *Scientific Reports*, 11(1), n.º 10.642.
- REDDY, V. (2018): «The spaceX effect». *New Space*, 6(2), pp. 125-134.
- CHANG, Y. (2015): «The first decade of commercial space tourism». *Acta Astronáutica*, 108, pp. 79-91.
- NASA (2020): «NASA's Lunar Exploration Program Overview». Artemis Plan. National Aeronautics and Space Administration.
- COPUOS (2010): «Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the peaceful Uses of Outer Space». United Nations Office for Outer Space Affairs. United Nations.

Buques hidrógráficos *Antares* (A-23) y *Tofiño* (A-32) abarloados en la Base Naval de Lisboa. (Foto: Fernando Guttérrez Manzanedo)

