



LA NUEVA ECONOMÍA DEL ESPACIO



Publicado en 2024 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia, la Oficina Regional de UNESCO en Montevideo, Luis Piera 1992, piso 2, 11200, y el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO).

MTD/SC/2024/PI/05

© UNESCO 2024



Esta publicación está disponible en acceso abierto bajo la licencia Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). Al utilizar el contenido de la presente publicación, los usuarios aceptan las condiciones de utilización del Repositorio UNESCO de acceso abierto (www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-sp).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen no implican toma alguna de posición de parte de la UNESCO en cuanto al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o regiones ni respecto de sus autoridades, fronteras o límites.

Las ideas y opiniones expresadas en esta obra son las de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la UNESCO ni comprometen a la Organización.

Foto de tapa: Elon Musk's Tesla Roadster, with Earth in background. "Spaceman" mannequin wearing SpaceX Spacesuit in driving seat. Camera mounted on external boom. By SpaceX - Falcon Heavy Demo Mission, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=66235869>

Este informe contó con la edición de Federico Cetrángolo y Guillermo Anlló

LA NUEVA ECONOMÍA DEL ESPACIO

ROBERTO BATTISTON



INDICE

PRÓLOGO

MIRAR BIEN ALTO: ¿POR QUÉ AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE DEBEN PRESTAR ATENCIÓN A LA AGENDA ESPACIAL?	5
--	----------

INTRODUCCIÓN - LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO	7
--	----------

1. LA NUEVA ECONOMÍA DEL ESPACIO	8
---	----------

1.1. ACCESO AL ESPACIO Y EXPLORACIÓN HUMANA	11
1.2. TURISMO ESPACIAL	14
1.3. EXPLORACIÓN ESPACIAL ROBOTIZADA	16
1.4. PROTECCIÓN PLANETARIA	17
1.5. OBSERVACIÓN DE LA TIERRA	17
1.6. METEOROLOGÍA ESPACIAL	18
1.7. EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS ESPACIALES	18

2. TECNOLOGÍAS EMERGENTES	19
----------------------------------	-----------

2.1. DESECHOS ESPACIALES	19
2.2. SERVICIOS EN ÓRBITA	20
2.3. COMUNICACIÓN POR LÁSER	21
2.4. ENERGÍA NUCLEAR PARA LA EXPLORACIÓN ESPACIAL	21
2.5. MEGA-CONSTELACIONES DE SATÉLITES E IOT	22

3. INVERSIÓN PÚBLICA: EXTERNALIDADES POSITIVAS	24
---	-----------

BIBLIOGRAFÍA	29
---------------------	-----------

SOBRE EL AUTOR	32
-----------------------	-----------

PRÓLOGO

MIRAR BIEN ALTO: ¿POR QUÉ AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE DEBEN PRESTAR ATENCIÓN A LA AGENDA ESPACIAL?

Desde la antigüedad hemos mirado hacia las estrellas con asombro y curiosidad, buscando aprender sobre el universo, con el deseo de explorar el espacio exterior y descubrir nuevos mundos.

La humanidad inició la era de los viajes al espacio a finales de la década de 1950, dando comienzo a la “carrera espacial” en el marco de la llamada guerra fría. La exploración espacial era una demostración del poder tecnológico y militar como símbolo de superioridad de un sistema político sobre otro. Esta fase concluyó con el alunizaje de la misión Apolo 11 en 1969, pero fue retomada décadas más tarde con la incorporación de nuevos actores a la carrera espacial en un mundo cada vez más multipolar.

Esta nueva etapa, con renovado impulso, se compone de múltiples lanzamientos alrededor del mundo, incluyendo misiones robóticas, que buscan pasar de la exploración del sistema solar interior al sistema solar exterior, con el involucramiento cada vez mayor del sector privado y la construcción de una nueva “utopía” en la conquista de Marte.

Desde el punto de vista tecnológico, la exploración espacial ha experimentado enormes avances. Las tecnologías digitales, incluyendo la inteligencia artificial, los materiales compuestos y los motores iónicos han permitido construir sondas más ligeras y sofisticadas, capaces de llegar a lugares cada vez más remotos, de transmitir cada vez más datos, cada vez más precisos. Además, las tecnologías de soporte vital, como los trajes espaciales, los sistemas de reciclaje de agua y aire, y los sistemas de energía, son cada vez más eficaces y seguras. Sin embargo, aún quedan muchos retos por superar para que la presencia humana en el espacio sea una realidad sostenible en estancias prolongadas.

Este estudio preparado por UNESCO Montevideo incorpora una contextualización de la temática desde la perspectiva latinoamericana, dando visibilidad a las diferentes áreas y tecnologías que se están desarrollando en torno a la industria espacial en la región, las que pueden ser una oportunidad para el desarrollo en muchos países.

El informe tiene 3 secciones. La primera describe la nueva economía del espacio, a partir de enumerar las oportunidades de negocios que están sur-

giendo en torno a la actividad espacial. La segunda sección se sumerge en las nuevas áreas de oportunidad para desarrollos tecnológicos, las que no solo serían la base de la nueva economía, sino que también dan señales para orientar la inversión en I+D con vistas a obtener resultados aplicables a una nueva industria de servicios y productos.

Finalmente, el informe concluye con un llamado a la inversión pública que dé sustento a estas iniciativas que presentan gran cantidad de externalidades positivas al entramado tecno-productivo.

Desde UNESCO entendemos que es esencial que construyamos una comprensión global compartida sobre las nuevas tendencias tecnológicas. En el contexto de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, este sector emergente no solo impulsa la innovación tecnológica y la creación de empleo, sino que también ofrece oportunidades para abordar desafíos globales como el cambio climático, la gestión de recursos naturales y la educación. Mediante la promoción de políticas públicas que fomenten la inversión en investigación y desarrollo, y la creación de marcos regulatorios adecuados, se pueden construir capacidades locales y el desarrollo de tecnologías espaciales que contribuyan a esta Agenda.

Este enfoque integral no solo fortalece la economía del espacio, sino que también asegura que los beneficios de estas innovaciones lleguen a todas las comunidades, promoviendo así un desarrollo más equitativo y resiliente en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Cómo los otros documentos de la serie de Policy Briefs para CILAC, elaborados por personas expertas de reconocida trayectoria en sus respectivos campos de conocimiento, es de esperar que el presente informe sirva de orientación a los países de la región en la búsqueda de respuestas adecuadas a los desafíos del desarrollo espacial.

Ernesto Fernandez Polcuch
*Director de la Oficina Regional
de UNESCO en Montevideo*

INTRODUCCIÓN - LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

Las motivaciones que impulsan al ser humano a explorar el espacio son diversas, abarcando desde la búsqueda de conocimiento puro hasta la exploración de nuevos recursos y la necesidad de desarrollar tecnologías y soluciones innovadoras para abordar los problemas globales de nuestro planeta (Johnson-Freese, 2007). La exploración espacial también tiene importantes implicaciones geopolíticas y económicas. A menudo se ha considerado un símbolo de prestigio y poder, y la capacidad de un país para llevar a cabo misiones espaciales complejas repercute directamente en su reputación internacional.

Conforme el espacio evoluciona hacia un interés comercial cada vez mayor, cobra relevancia la posibilidad de explotar recursos naturales in situ, que van desde el agua hasta elementos raros como el helio-3, los cuales son relevantes para la producción de energía (Dolman, 2002). Como se verá en las siguientes secciones, también existen planes para utilizar el espacio como un destino turístico y recreativo, con la previsión de construir hoteles espaciales y realizar viajes suborbitales.

En las últimas décadas, las misiones robóticas han avanzado cada vez más lejos, pasando de la exploración del sistema solar interior al sistema solar exterior. La exploración espacial humana se ha centrado en la órbita baja, convirtiéndose en un desafío científico y tecnológico con implicaciones geopolíticas significativas. Desde el punto de vista tecnológico, la exploración espacial humana ha experimentado avances significativos. La incorporación de tecnologías digitales, materiales compuestos y motores iónicos ha permitido la construcción de sondas más ligeras y sofisticadas, capaces de alcanzar lugares cada vez más remotos y de transmitir datos más precisos. Además, las tecnologías de soporte vital, como los trajes espaciales, los sistemas de reciclaje de agua y aire, y los sistemas de energía, son cada vez más eficientes y seguros.

En los últimos años, China ha logrado avances significativos en su programa espacial, incluyendo la puesta en órbita de una estación espacial permanente y planes para enviar una misión a Marte en 2033. Por su parte, la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) ha lanzado el programa Artemis en colaboración con varios países, con el objetivo de regresar a la Luna en 2024 y establecer una presencia permanente en su superficie. En este contexto, la Agencia Espacial Europea (ESA) está colaborando en el desarrollo de una Lunar Gateway, una estación espacial en órbita alrededor de la Luna que servirá como puesto avanzado para futuras misiones humanas y robóticas a la superficie lunar (Handberg y Li, 2007; Kay, 2003).

Sin embargo, aún persisten numerosos desafíos para lograr que la exploración espacial humana sea sostenible durante estancias prolongadas en el espacio. La salud de los astronautas es una de las principales preocupaciones, dadas cuestiones como la exposición a la radiación, la pérdida de masa muscular y ósea, y el aislamiento psicológico, que pueden ocasionar graves problemas de salud (Peter, 2013). Además, los costos de las misiones espaciales tripuladas siguen siendo muy elevados: el acceso a la financiación pública, por un lado, y el desarrollo de un modelo económico sostenible, por otro, siguen siendo cuestiones abiertas.

Las perspectivas para la exploración humana del espacio pronostican un crecimiento significativo en las próximas décadas. Se espera que los viajes espaciales sean cada vez más accesibles y asequibles, y que las bases lunares permanentes se conviertan en una herramienta logística y económica importante para permitir la exploración humana de otros planetas, en particular Marte. De hecho, la exploración humana de Marte se considera un objetivo ambicioso pero alcanzable, y la NASA, SpaceX y otras agen-

cias están trabajando en soluciones para lograr la sostenibilidad y la autosuficiencia en el planeta rojo (González, 2023)¹.

1. LA NUEVA ECONOMÍA DEL ESPACIO

La actividad espacial siempre se asoció al progreso tecnológico y económico (Lovell y von Braun, 1977). Se estima que por cada euro invertido en actividad espacial, los beneficios oscilan entre 3 y 6 euros, dependiendo del sector considerado (Aghion, 2008). Por lo tanto, la dimensión económica del espacio ha existido durante mucho tiempo, especialmente en el sector de las telecomunicaciones (Mankiw, 2013). De los USD 339 mil millones generados en ingresos por la economía espacial a nivel mundial en 2016, los servicios satelitales representaron el 38%, y dentro de estos, el 82% correspondió a telecomunicaciones satelitales (Bryce, 2017). Desde este punto de vista, la economía del espacio no es algo nuevo (Piketty, 2014).

Sin embargo, estamos presenciando una serie de cambios que sugieren una evolución significativa en el marco económico. En los últimos años, estamos viendo la entrada de agentes económicos como empresarios, inversores financieros, capital de riesgo, etc., que no provienen del sector espacial pero que han comenzado a invertir en él, atraídos por sus perspectivas de innovación y su potencial de crecimiento económico (Porter, 2008)².

La entrada de particulares en el sector espacial implica un enfoque radicalmente diferente hacia el riesgo, un elemento claramente relevante en este sector. Muchos factores pueden representar un riesgo en una misión espacial: el lanzador puede fallar, un satélite en órbita puede dejar de funcionar, el mantenimiento es extremadamente difícil o costoso, y por lo tanto, la calidad debe ser lo suficientemente alta como para garantizar la máxima fiabilidad, lo que se traduce en un aumento de los costos. A pesar de todos los esfuerzos, siempre pueden surgir imprevistos.

Inevitablemente, cuando se trata de recursos públicos, el enfoque hacia la innovación y el desarrollo de nuevos productos debe considerar la necesidad de minimizar el riesgo, lo que a menudo se traduce en tiempos de desarrollo más lentos y mayores costos. Informar sobre el fracaso a los responsables políticos y al público no es una tarea fácil.

En el caso del sector privado, la dinámica es diferente. Un ejemplo destacado es la forma en que Elon Musk desarrolló la tecnología de recuperación de la primera etapa del Falcon-9, realizando una docena de intentos catastróficos de reentrada y aterrizaje durante lanzamientos exitosos de cargas útiles comerciales en órbita. Esta estrategia se basó en una comunicación mediática hábil, combinada con una

1 En 2015, la NASA anunció planes para enviar una misión humana a Marte en 2030, tras el establecimiento de una base lunar permanente; otras agencias espaciales, como la ESA, Roscosmos y la Administración Espacial Nacional de China (China National Space Administration, CNSA), tienen planes similares (ESA, 2021; CNSA, 2021).

2 Se trata de inventores-empresarios que han generado enormes fortunas normalmente con la “nueva economía” basada en la web y los servicios de bajo costo, y que han invertido parte de sus recursos en lograr objetivos que hace sólo dos décadas se habrían considerado como actividades reservadas a las agencias espaciales financiadas con fondos públicos (Brzezinski, 2007). Muchos de estos empresarios son de EEUU, algunos de ellos muy conocidos: Elon Musk, fundador de SpaceX (líder en servicios de lanzamiento de grandes satélites y prospección de vuelos humanos) (Vance, 2017); Jeff Bezos, propietario de Amazon y fundador de Blue Origin (desarrollo de grandes lanzadores para servicios de lanzamiento incluso para astronautas) (Stone, 2013); Richard Branson, propietario de Virgin y fundador de Virgin Galactic (turismo espacial) y Virgin Orbit (lanzamiento aéreo de pequeños satélites) (Branson, 2011); Paul Allen, fallecido en 2018, cofundador de Microsoft y fundador de Stratolaunch (lanzamiento aéreo de grandes cohetes) (Allen, 2012).

sólida experiencia técnica, rapidez de decisión y ejecución, y la capacidad de asumir el riesgo asociado con la experimentación difícil, en pos de un objetivo ambicioso y nunca antes logrado. Este enfoque produjo finalmente un resultado extraordinario: el 21 de diciembre de 2015, SpaceX logró el histórico aterrizaje de una primera etapa no muy lejos de la rampa de lanzamiento de la que había partido poco antes, allanando el camino para futuros lanzamientos con recuperación al menos parcial del lanzador, en lugar de su destrucción³ como ocurría anteriormente.

La inversión en el sector espacial puede generar grandes beneficios económicos y tecnológicos siempre y cuando exista continuidad en la inversión pública y en las estrategias de intervención, adaptándose a las necesidades y retos en constante evolución.

Sin la inversión pública masiva en programas como el Apolo⁴, los misiles intercontinentales o la constelación GPS, no podríamos hablar hoy en día de una Nueva Economía del Espacio. El papel institucional del gobierno estadounidense, a través de la NASA en particular, pero también mediante la inversión en investigación y desarrollo en otras áreas, ha sido y sigue siendo crucial. Desde este punto de vista, el papel del actor público se confirma como necesario (Harland y Lorenz, 2005).

Una vez que se activa un mercado de bienes y servicios en el espacio, el papel de las partes privadas se vuelve esencial para garantizar un crecimiento exponencial de la actividad espacial, un crecimiento necesario si queremos dar un salto cualitativo significativo en la exploración y explotación del espacio. Las formas en que se desarrolla la iniciativa empresarial privada son bien conocidas y características: el elemento competitivo, el enfoque en el costo y el rendimiento de la inversión, la mentalidad con la que se aborda el riesgo y, no menos importante, la visión que algunos individuos son capaces de expresar, representan una oportunidad para dar un salto cualitativo en la economía del espacio, una oportunidad por la que el gobierno estadounidense ha mostrado sin duda un aprecio y apoyo bipartidista (Johnson-Freese, 2007).

La política de comercialización de la órbita baja comenzó hace al menos 20 años, de acuerdo con una dirección específica del gobierno estadounidense. La idea era pasar de una gestión en la que la NASA tenía el control programático, de decisiones y ejecutivo, a una serie de servicios, comenzando por el transporte espacial, prestados bajo responsabilidad privada⁵. Esta estrategia fue efectivamente aplicada por la NASA con medidas basadas en incentivos destinados al desarrollo de nuevas empresas (como en el caso de Nanoracks en la ISS o el transporte por empresas privadas de instrumentación a la Luna) o concursos para la adjudicación de servicios llave en mano para el transporte de equipos (SpaceX y Orbital ATK-Northrop Grumman) o astronautas (SpaceX y Boeing) a la ISS.

Esta política ha sido compartida por las sucesivas administraciones y ha sido aplicada sistemáticamente por un gobierno tras otro en la primera década del 2000.

3 El mismo enfoque se está utilizando para el desarrollo de StarShip, el gran cohete que permitirá transportar grandes cargas a la Luna o Marte: el primer lanzamiento de prueba tuvo lugar el 20 de abril de 2023 con un resultado catastrófico: tras alcanzar los 40 km. de altura, el lanzador resultó incontrolable (Cadbury, 2006).

4 Durante el periodo del programa Apolo, se activó un caldo de cultivo de conocimientos muy importante: los cientos de miles de ingenieros, físicos, químicos y matemáticos especializados en el sector aeroespacial representan ahora un mercado laboral con el que empresarios decididos y visionarios pueden crear rápidamente un equipo o incluso una industria, como en el caso de SpaceX (Dempsey, 2018).

5 El cambio que ha ocurrido en las últimas décadas en la economía del espacio es sustancial. Al visitar hoy la base de lanzamiento de Cabo Kennedy, uno se sorprende al ver los gigantescos logotipos de las nuevas empresas de la economía del espacio estadounidense cubriendo los edificios que hicieron historia en la NASA (Dolman, 2002).

Sin embargo, ¿cómo y cuánto arraigará esta Nueva Economía del Espacio en otros países? Esta es una pregunta difícil. Si miramos hacia atrás, la revolución de la Nueva Economía, basada en tecnologías de la información y servicios basados en la web, se desarrolló principalmente en el ecosistema de startups, universidades e inversores de Silicon Valley y luego conquistó el mundo. En este sentido, no hay muchas similitudes fuera de Estados Unidos, aunque lo que está ocurriendo en Israel en materia de cibertecnologías o en algunos grandes distritos chinos muestra dinámicas similares (Handberg y Li, 2007).

La explotación sistemática de los datos espaciales geolocalizados, desarrollando servicios cada vez más sofisticados, podría ser una oportunidad para muchos países. Hay muchas aplicaciones ya identificadas, pero lo más importante es que hay espacio para nuevas y buenas ideas. La montaña de datos satelitales acumulados en archivos recuerda a una mina de diamantes, con gemas valiosas mezcladas con montañas de tierra. El desarrollo de herramientas de extracción de valor, algoritmos llamados “analíticos” en los que la IA desempeña un papel cada vez más importante, junto con una exploración sistemática de las necesidades e intereses de una base de usuarios cada vez más diversa, son claves para esta nueva dimensión económica.

Una de las características distintivas de las nuevas economías es la capacidad de crear valor de forma “indirecta”. Un ejemplo destacado es Google, un servicio gratuito que ha revolucionado el mundo de la publicidad al obtener enormes beneficios a través de los datos facilitados por los usuarios en el curso de sus búsquedas (Kay, 2003). Este modelo de negocio se basa en el uso masivo de determinados servicios básicos que posibilita la red, generando así un valor adicional que va más allá del servicio inicialmente ofrecido.

Las explotaciones agrícolas de muchos países están adoptando tecnologías de bajo costo para optimizar los tratamientos de riego y control de plagas mediante aplicaciones satelitales. Estas aplicaciones determinan con precisión dónde y cuánto regar, abonar y sembrar, lo que resulta en una mejor gestión de los recursos y un impacto positivo en el medio ambiente, especialmente en el ahorro de agua. Este ahorro puede superar el valor económico de una mejor cosecha y, a su vez, el beneficio económico supera con creces el costo de desarrollo de la aplicación de datos por satélite, debido a la gran cantidad de usuarios que la utilizan.

En el contexto de la economía espacial, es fundamental destacar el término “Nueva” antes de “Economía del Espacio”. Esta nueva economía se caracteriza por beneficiarse de grandes factores multiplicadores al basarse cada vez más en nuevos servicios e información a través de la web, en lugar de centrarse exclusivamente en la fabricación de instrumentos complejos o grandes satélites.

Para salvar las diferencias entre la Nueva Economía del Espacio en Estados Unidos y Europa, la Comisión Europea ha implementado iniciativas y financiamiento para estimular la inversión privada en el sector espacial. Estos programas suelen implicar asociaciones público-privadas sistemáticas, con una co-inversión de ambos sectores, así como la participación de fondos nacionales y regionales.

El objetivo fundamental es establecer una herramienta innovadora, una “asociación para la innovación” a largo plazo entre los diversos actores involucrados en la economía espacial: inversores, ejecutores, compradores y otros agentes. Esta asociación busca anticiparse a los mercados emergentes de la Nueva Economía del Espacio del futuro, desarrollando nuevas tecnologías, servicios y modelos de negocio que impulsen el crecimiento y la sostenibilidad del sector.

Para lograrlo, es necesario establecer nuevas formas de relación entre los sectores público y privado en el ámbito espacial. Esto incluye repensar el papel de las agencias espaciales, adaptar los instrumentos de

inversión a las necesidades cambiantes del mercado espacial y mejorar los mecanismos de transferencia de tecnología para fomentar la innovación y la colaboración entre empresas y organismos públicos

1.1. ACCESO AL ESPACIO Y EXPLORACIÓN HUMANA

Los países que desean llevar a cabo actividades espaciales de forma independiente deben contar con una capacidad de lanzamiento fiable desde el principio. Por redundante que parezca, el acceso al espacio es fundamental para cualquier actividad espacial, ya sea a través del mercado internacional o mediante el desarrollo de una industria nacional respaldada por instituciones gubernamentales.

La tecnología de lanzamiento espacial ha avanzado con el tiempo; la mayoría de los lanzadores actuales utilizan motores de propulsión de cohetes que emplean combustible líquido. La introducción de motores de propulsión híbridos, que combinan propulsores líquidos y sólidos, podría aumentar la eficiencia y reducir los costos.

El mercado de lanzadores espaciales también está siendo influenciado por desafíos ambientales y de sostenibilidad. En la atmósfera se busca desarrollar tecnologías de lanzamiento más respetuosas con el medio ambiente desde el punto de vista químico, mientras que en el espacio, se busca reducir la generación de residuos espaciales.

El interés mundial en la exploración espacial, tanto por parte de los gobiernos como del sector privado, ha generado una mayor demanda de servicios de lanzamiento fiables y asequibles. La entrada del sector privado en la industria de los servicios de lanzamiento ha coincidido con el surgimiento de la Nueva Economía del Espacio. En los últimos 20 años, el mercado de lanzadores espaciales ha experimentado un profundo cambio. Una de las principales causas de este cambio ha sido la gradual “privatización” por parte de la NASA de los servicios en órbita baja, especialmente los servicios de transporte de astronautas y carga a la ISS. Es prácticamente imposible hacer un seguimiento de todas las iniciativas industriales privadas, pero una lista de empresas emergentes activas en el desarrollo de nuevos lanzadores en todo el mundo incluye al menos 150 firmas⁶.

En el mercado de lanzadores espaciales actual, se pueden identificar varios tipos de actores:

1. **Países con control público en el desarrollo de sistemas de lanzamiento:** Rusia, Japón e India mantienen instalaciones industriales bajo control público capaces de desarrollar sistemas de lanzamiento.
2. **Países/Regiones en transición del sector público al privado:** Estados Unidos, la Agencia Espacial Europea (ESA) y China están en proceso de transición hacia una participación más activa del sector privado en el desarrollo de sistemas de lanzamiento.
3. **Países con desarrollo de lanzadores liderado por el sector privado:** España y Alemania han visto un crecimiento reciente en el desarrollo de lanzadores espaciales liderado por actores privados.

En la actualidad, el mercado de lanzadores espaciales está dominado por unos pocos grandes actores, como SpaceX, United Launch Alliance, Arianespace, CGWIC y Roscosmos.

6 Para más información ver: <https://spacefund.com/launch-database/>

SpaceX, fundada en 2002 por Elon Musk, se ha convertido en una fuerza dominante en el mercado gracias a su tecnología innovadora, eficiencia operativa y precios competitivos. SpaceX presentó el Falcon 1 en 2006 y luego desarrolló el Falcon 9, que fue el primer lanzador que consiguió realizar un aterrizaje vertical. El éxito del Falcon 9 llevó a la creación del Falcon Heavy, que se ha convertido en el cohete más potente disponible actualmente en el mercado. La Tabla 1, a continuación, lista algunas de las empresas privadas proveedoras de lanzamiento más importantes a nivel mundial, y la Tabla 2, más abajo, hace lo propio para las agencias espaciales.

TABLA 1. PROVEEDORES DE LANZAMIENTOS: EMPRESAS PRIVADAS.

Nombre de la empresa	País	Vehículo de lanzamiento
Corporación China de Ciencia y Tecnología Aeroespacial	China	Long March
ExPace	China	Kuaizhou
i-Space (Beijing Interstellar Glory Space Technology Ltd.)	China	Hipérbola-1, Hipérbola-2
Arianespace	Europa	Ariane 5, Ariane 6, Vega, Vega-C
Eurockot	Europa	Rokot
Mitsubishi Heavy Industries	Japón	H-IIA, H-IIB
Roscosmos	Rusia	Soyuz, Protón, Angara
Espacio PLD	España	MIURA 1
Blue Origin	EEUU	Nuevo Shepard, Nuevo Glenn
Firefly Aerospace	EEUU	Alfa
Servicios Internacionales de Lanzamiento	EEUU	Proton, Angara
Lockheed Martin Espacio	EEUU	Atlas V, Titán
Northrop Grumman Innovation Systems (ex-Orbital ATK)	EEUU	Pegaso, Minotauro, Antares
Industrias de vuelos espaciales	EEUU	Sherpa, Falcon 9, Vega
SpaceX	EEUU	Falcon 9, Falcon Heavy, Nave estelar
United Launch Alliance	EEUU	Atlas V, Delta IV, Vulcan Centaur
Laboratorio Rocket	EEUU/Nueva Zelanda	Electrón

Fuente: Elaborado en base a Kulu, 2021

TABLA 2 PROVEEDORES DE LANZAMIENTO: AGENCIAS GUBERNAMENTALES

Agencia/organización	País	Descripción
ExPace	China	ExPace es una filial de la Corporación de Ciencia e Industria Aeroespacial de China responsable del desarrollo y lanzamiento de los cohetes Kuaizhou.
Agencia Espacial Iraní (ISA)	Irán	La Agencia Espacial Iraní es la agencia espacial nacional de Irán responsable del desarrollo y funcionamiento del programa espacial iraní.
JAXA	Japón	La Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial es la agencia espacial nacional de Japón responsable del desarrollo y funcionamiento del programa espacial japonés.
Administración Nacional de Desarrollo Aeroespacial (NADA)	Corea del Norte	La Administración Nacional de Desarrollo Aeroespacial es la agencia espacial nacional de Corea del Norte responsable del desarrollo y funcionamiento del programa espacial norcoreano.
Glavkosmos	Rusia	Glavkosmos es una filial de la agencia espacial rusa Roscosmos responsable de la promoción de las tecnologías y productos espaciales rusos en el mercado internacional.
Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA)	EEUU	La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa es una agencia de investigación y desarrollo del Departamento de Defensa de EEUU responsable del desarrollo de nuevas tecnologías para uso militar.
NASA	EEUU	La NASA es la agencia espacial nacional de EEUU responsable del desarrollo y funcionamiento del programa espacial estadounidense.
ISRO	India	La Organización India de Investigación Espacial es la agencia espacial nacional de la India responsable del desarrollo y funcionamiento del programa espacial indio.
KARI	Corea del Sur	El Instituto Coreano de Investigación Aeroespacial es la agencia espacial nacional de Corea del Sur, responsable del desarrollo y funcionamiento del programa espacial surcoreano.

Fuente: Elaborado en base a Kulu, 2021

Los lanzadores de SpaceX ofrecen una gran capacidad de lanzamiento y la capacidad de recuperar la primera etapa, lo que ha llevado a una reducción significativa en el costo de lanzamiento por kilogramo para satélites grandes o lanzamientos en grupo, como puede verse en la Tabla 3, basada en datos disponibles públicamente.

TABLA 3 COSTO DE LANZAMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

Año	Costo de lanzamiento por kg. (USD)
2013	20.000 - 40.000
2014	10.000 - 25.000
2015	5.000 - 15.000
2016	4.000 - 12.000
2017	2.500 - 8.000
2018	2.000 - 6.000
2019	1.500 - 5.000
2020	1.000 - 3.000
2021	1.000 - 2.500
2022	500 - 2.000

Fuente: Elaborado en base a Kulu, 2021

La competencia en el mercado de los lanzadores espaciales ha sido impulsada por la llegada de nuevos actores como Blue Origin, fundada por Jeff Bezos en 2000. Blue Origin está desarrollando un sistema de lanzamiento reutilizable para cargas útiles de gran tamaño a bajo costo. Otros actores emergentes incluyen a Rocket Lab y Firefly Aerospace, empresas estadounidenses que se centran en ofrecer servicios de lanzamiento para el mercado de microsátélites.

Este mercado está en constante evolución, y la innovación tecnológica y la competencia creciente están llevando a las empresas a ofrecer servicios de lanzamiento cada vez más eficientes y rentables. Sin embargo, es importante destacar que este segmento es el más caro y competitivo de la industria espacial, con altos riesgos de fracaso. Por ejemplo, durante el primer semestre de 2023, Virgin Orbit terminó sus operaciones y el gran lanzador japonés H3 sufrió un fracaso.

1.2. TURISMO ESPACIAL

El turismo espacial, una nueva faceta de la exploración humana del espacio, permite a los individuos vivir la experiencia de los viajes espaciales, contemplando la Tierra desde la órbita terrestre o incluso desde la Luna (van Pelt, 2005). Los primeros pasos en este campo se dieron con los vuelos suborbitales realizados en 2001 por la empresa rusa MirCorp, que llevó al primer turista espacial a la ISS.

Desde entonces, empresas como SpaceX, Virgin Galactic y Blue Origin han desarrollado programas de turismo espacial. SpaceX anunció en 2018 su intención de llevar turistas alrededor de la Luna en 2023 (Wattles, 2021). Virgin Galactic, fundada en 2004, se enfoca en ofrecer vuelos suborbitales para turistas espaciales y recientemente completó con éxito su primer vuelo tripulado⁷. Por su parte, Blue Origin, fundada en 2000 por Jeff Bezos de Amazon, está desarrollando vehículos para el turismo espacial y otros fines⁸.

7 Para más información ver: <https://www.virgingalactic.com>

8 Para más información ver: <https://www.blueorigin.com>

Aunque el turismo espacial sigue siendo una actividad de nicho, reservada para una élite con recursos financieros elevados (van Pelt, 2005), la introducción de tecnologías innovadoras y el aumento de la competencia podrían abaratar los costos y hacer que el turismo espacial sea más accesible en el futuro (Wattles, 2021). Además, proyectos ambiciosos como la colonización de Marte podrían abrir nuevas oportunidades en este campo y contribuir al desarrollo de una Nueva Economía del Espacio basada en la colonización de otros mundos (van Pelt, 2005).

El turismo espacial ha experimentado un crecimiento constante pero lento. Hasta ahora, solo unos pocos turistas espaciales han viajado al espacio, principalmente a la ISS⁹. Desde un punto de vista científico, el turismo espacial puede contribuir a la investigación sobre el soporte vital necesario para la tripulación, la salud de los astronautas y el efecto del entorno espacial en la fisiología humana. Asimismo, puede impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para hacer que las fases de lanzamiento y reentrada sean más seguras y económicas (van Pelt, 2005).

Desde el punto de vista tecnológico, el turismo espacial requiere la construcción de transbordadores espaciales seguros y fiables, con sistemas adecuados de soporte vital y comunicación. Además, las infraestructuras terrestres, como los centros de lanzamiento, las estaciones de servicio orbitales y los sistemas de control de misión, deben desarrollarse y adaptarse para satisfacer las necesidades del turismo espacial (van Pelt, 2005).

Al mismo tiempo, el desarrollo del vuelo suborbital puede preluir desarrollos potencialmente interesantes en la conexión rápida entre zonas muy distantes del globo: considerando que un satélite en órbita baja da la vuelta al planeta en unos 90 minutos, pueden diseñarse escenarios en los que naves espaciales capaces de recorrer un tramo orbital antes de volver a entrar en la atmósfera puedan reducir enormemente la duración del vuelo. Esta posibilidad representa un importante estímulo económico con un mercado significativo en el segmento del transporte aéreo que impulsa el desarrollo tecnológi-

BOX ORBITAL – SUB ORBITAL

Es necesario distinguir entre el vuelo humano suborbital y el vuelo humano orbital. Un vuelo suborbital humano, como el que ofrecen Virgin Orbit o Blue Origin, es un vuelo en el que la nave espacial alcanza una altitud superior a la que alcanzan los reactores comerciales, pero no la suficiente para entrar en órbita alrededor de la Tierra. Tras una fase inicial de impulso, el vehículo alcanza una trayectoria balística que lo lleva a una altitud de al menos 80 km. sobre el nivel del mar: durante esta fase, se produce la llamada “sensación de microgravedad” (es decir, la sensación de peso cero). Tras unos minutos de vuelo, una vez finalizada la fase balística, el vehículo vuelve a entrar en la atmósfera terrestre reduciendo su velocidad al aterrizar en una pista convenientemente preparada¹.

Un vuelo orbital humano, como el que ofrece SpaceX con su vehículo Crew Dragon, es un vuelo en el que la nave espacial entra en órbita terrestre, alcanzando una altitud de al menos 200 km. sobre el nivel del mar. Este tipo de vuelo requiere mucha más energía que un vuelo suborbital, pero permite una estancia en órbita de al menos varias horas. Durante un vuelo orbital, los astronautas pueden llevar a cabo actividades científicas y de investigación, como la observación de la Tierra, la experimentación en condiciones de microgravedad y el mantenimiento de instrumentos y equipos a bordo del transbordador².

1 Para más información ver: <https://www.virginorbit.com>

2 Para más información ver: <https://www.spacex.com>

9 El 2021 fue un año importante para el turismo espacial, con nada menos que tres lanzamientos: en marzo, Blue Origin lanzó un vuelo suborbital con cuatro turistas a bordo, entre ellos Jeff Bezos. En julio, Virgin Galactic lanzó un vuelo suborbital con dos pilotos y cuatro turistas a bordo, entre ellos Richard Branson, mientras que, en septiembre, SpaceX puso en órbita a un grupo de cuatro civiles para realizar, durante tres días, actividades de tipo científico. Para más información ver: <https://dearMoonProject.com>

co de lanzaderas capaces de transportar pasajeros suborbitales de forma similar al transporte aéreo en la atmósfera, pero con tiempos de transporte significativamente reducidos (van Pelt, 2005).

Aunque aún queda mucho trabajo por hacer para que el turismo espacial sea asequible y sostenible, el crecimiento de la tecnología y la competencia en el sector podrían traer consigo una evolución apasionante de este componente emblemático de la Nueva Economía del Espacio.

1.3. EXPLORACIÓN ESPACIAL ROBOTIZADA

La exploración espacial robotizada tiene raíces históricas que se remontan a 1957, cuando la URSS lanzó el primer satélite artificial, el Sputnik 1¹⁰. Desde entonces, la exploración espacial se ha caracterizado por una serie de misiones robóticas enviadas para explorar el sistema solar.

En 1971, la URSS envió el vehículo Lunokhod 1 a la superficie de la Luna, el primer vehículo teledirigido¹¹.

La sonda Voyager, lanzada en 1977, exploró los planetas exteriores del sistema solar y proporcionó información crucial sobre sus sistemas y la formación del propio sistema solar¹².

La misión Mars Pathfinder de 1996 fue la primera en utilizar un rover para explorar la superficie de Marte¹³.

Actualmente, la exploración espacial robótica se caracteriza por una creciente colaboración internacional, con numerosas agencias espaciales que trabajan juntas para explorar el sistema solar y más allá. Entre las misiones en curso se encuentran OSIRIS-REx, de la NASA, para recoger muestras del asteroide Bennu, y Hayabusa2, de Japón, para recoger muestras del asteroide Ryugu¹⁴.

Las perspectivas de futuro de la exploración espacial robótica son múltiples, desde misiones a la superficie de lunas y planetas del sistema solar hasta vuelos interestelares futuristas. Las tecnologías en rápida evolución, como la IA y la robótica avanzada, harán posible la exploración de entornos cada vez más hostiles¹⁵.

Existen aspectos geopolíticos relacionados con la exploración espacial robótica, como la competencia entre las distintas agencias espaciales por la supremacía tecnológica o la cooperación internacional para la investigación científica. Los aspectos económicos se refieren al desarrollo de nuevas tecnologías y a la creación de nuevas industrias espaciales, así como al potencial de explotación de recursos extraterrestres, como el agua de la Luna y los minerales de los asteroides¹⁶.

Uno de los principales retos de la exploración espacial robótica es la distancia y el tiempo necesarios para llegar a los lugares de interés. Por ejemplo, emplear una sonda para explorar un planeta o un asteroide requiere años o incluso décadas de viaje espacial. Esto significa que las misiones espaciales robó-

10 Para más información ver: <https://history.nasa.gov/sputnik>

11 Para más información ver: <https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/luna/lunokhod>

12 Para más información ver: <https://voyager.jpl.nasa.gov/>

13 Para más información ver: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mars-pathfinder/overview/>

14 Para más información ver: <https://www.nasa.gov/feature/what-to-know-about-nasa-s-osiris-rex-sample-return-mission>

15 Para más información ver: <https://www.researchgate.net/publication/327968879>

16 Para más información ver: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>

ticas deben diseñarse con sumo cuidado para garantizar que los equipos y sistemas de comunicación funcionen correctamente durante todo el viaje y en condiciones ambientales adversas.

A pesar de estos retos, la exploración espacial robótica ha proporcionado hasta ahora información crucial sobre nuestra comprensión del universo y seguirá haciéndolo en el futuro. Las próximas misiones, como la exploración de Europa, una luna de Júpiter, y la misión Dragonfly de la NASA para explorar la superficie de Titán, una luna de Saturno, prometen proporcionar aún más información sobre la composición y la historia de nuestro sistema solar.

1.4. PROTECCIÓN PLANETARIA

Proteger la Tierra de los impactos de meteoritos no solo puede salvar vidas y evitar daños materiales, sino también ofrecer oportunidades para el desarrollo de tecnologías avanzadas y la creación de nuevas oportunidades económicas¹⁷.

Los objetos en trayectoria de aproximación que podrían interceptar la Tierra se detectan y rastrean mediante telescopios especiales situados principalmente en tierra¹⁸. El cálculo de estas órbitas es complejo, ya que la desviación debida al paso cercano en relación con otros planetas crea incertidumbres sobre la extrapolación de la órbita, por lo que se requieren técnicas matemáticas sofisticadas. Una vez identificado un asteroide potencialmente peligroso, el reto tecnológico se refiere a la posibilidad de desviarlo para que no intercepte la órbita de nuestros planetas. Para ello, una pequeña desviación realizada mucho antes (años antes) del posible impacto puede tener un efecto muy grande en la órbita, impidiendo el impacto. Un primer experimento en este sentido fue realizado con éxito en 2022 por DART, una misión conjunta entre la NASA y la ASI¹⁹. El impacto del satélite DART sobre el sistema de asteroides Didymos-Dimorphos provocó un cambio en el período orbital y, por tanto, en la velocidad de Dimorphos observada por el nanosatélite italiano LiciaCube, que viajó a cuevas de DART para registrar el momento del impacto.

La investigación en este campo requiere una fuerte cooperación internacional entre científicos, gobiernos y organizaciones internacionales para la red de observatorios que permitan la detección temprana de meteoritos peligrosos y para el desarrollo de tecnologías avanzadas

1.5. OBSERVACIÓN DE LA TIERRA

Hoy en día, la observación de la Tierra desde el espacio es una actividad global, con numerosas agencias espaciales y entidades privadas que lanzan satélites específicamente diseñados para vigilar nuestro planeta. Estos satélites proporcionan una amplia gama de datos, como imágenes de alta resolución, mediciones de la temperatura de los océanos, estudios de los glaciares, vigilancia de los océanos, etc. La información recogida se utiliza en diversos campos, como la meteorología, la climatología, la gestión de recursos, la planificación urbana y la protección del medio ambiente. Desde el punto de vista económico, la observación de la Tierra es una industria en importante crecimiento^{20,21}.

17 Para más información ver: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>

18 Para más información ver: <https://www.nasa.gov/planetarydefense/deflecting-asteroids>

19 Para más información ver: <https://science.nasa.gov/missions/dart/resources>

20 Para más información ver: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235293852030318X>

21 Para más información ver: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth

Las perspectivas de futuro de la observación de la Tierra desde el espacio son muy prometedoras²². Los avances tecnológicos seguirán mejorando la resolución y la cobertura de las imágenes, permitiendo una visión cada vez más detallada, a partir del uso de sensores avanzados, como el SAR y los espectrómetros hiperespectrales. A su vez, el uso de IA y aprendizaje automático también permitirá un análisis más eficiente y preciso de los datos recogidos.

Desde una perspectiva geopolítica, la observación de la Tierra desde el espacio tiene implicaciones tanto para la seguridad nacional como para las relaciones internacionales²³. Los Estados que poseen la capacidad de observar la Tierra desde el espacio tienen una ventaja estratégica, ya que pueden vigilar las actividades de otros países, rastrear fronteras y recursos naturales, y recabar información con fines militares y de inteligencia. Por lo tanto, es necesario promover la colaboración internacional para compartir datos de observación de la Tierra con el fin de hacer frente a los retos mundiales, como el cambio climático y la gestión de los recursos naturales.

1.6. METEOROLOGÍA ESPACIAL

La actividad del Sol puede provocar una amplia gama de fenómenos que pueden afectar a la Tierra, como las tormentas geomagnéticas y las eyecciones de masa coronal. Las tormentas geomagnéticas pueden causar perturbaciones o interrupciones en las comunicaciones por satélite, así como en las redes eléctricas, mientras que las eyecciones de masa coronal pueden causar daños en los satélites y sus equipos, así como poner en peligro a los astronautas en órbita en la ISS.

El estudio de la meteorología espacial incluye tanto el empleo de satélites meteorológicos e instrumentos de detección terrestres que pueden vigilar la actividad solar, como modelos informáticos y simulaciones para predecir y evaluar los efectos de la meteorología espacial en nuestro planeta. Es importante desarrollar nuevas tecnologías para mejorar la precisión de las previsiones y desarrollar sistemas de alerta que puedan prevenir interrupciones en las telecomunicaciones por satélite, así como perturbaciones o daños en las redes eléctricas.

El control de la meteorología espacial requiere una coordinación y cooperación internacionales en las que puedan participar tanto la comunidad científica como las agencias espaciales y la industria, con el fin de desarrollar tecnologías que puedan mitigar los daños causados a los satélites y a las infraestructuras terrestres.

1.7. EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS ESPACIALES

La explotación minera del espacio es un tema que se viene debatiendo desde hace décadas, pero con la llegada de la Nueva Economía del Espacio se está convirtiendo en un tema de interés mundial. El objetivo es la explotación de los recursos existentes en otros cuerpos celestes o “*in situ*” para obtener materias primas raras a un costo competitivo²⁴.

La minería espacial es un programa a medio y largo plazo. A medio plazo, un objetivo especialmente interesante es la búsqueda de agua en forma de hielo en la Luna. Varias agencias espaciales se han interesado recientemente por este problema.

22 Para más información ver: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-34738-1>

23 Para más información ver: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4040500/>

24 Para más información ver: https://www.esa.int/About_Us/ESAIL/Sustainable_Living_in_Space/Space_mining_the_new_frontier_of_the_new_space_economy

En 2020, los datos de la misión SOFIA de la NASA confirmaron la existencia de agua en la zona iluminada por el Sol de la superficie lunar en forma de moléculas de H₂O incrustadas en granos de polvo lunar²⁵. También se ha observado la presencia de hielo de agua mezclado con granos de polvo lunar en las regiones frías y permanentemente sombreadas cercanas a los polos lunares²⁶.

Explotando los recursos del espacio existe la posibilidad de crear actividad industrial y desarrollar así la economía del espacio. Los recursos espaciales podrían utilizarse para la producción de materiales de construcción o combustibles para misiones espaciales, reduciendo así el costo de las misiones espaciales y abriendo nuevas oportunidades de negocio.

Hay que subrayar que la minería espacial es todavía una tecnología en desarrollo y requiere importantes inversiones en investigación y desarrollo. Además, hay cuestiones jurídicas y éticas que deben tenerse en cuenta, como la propiedad de los recursos espaciales y el impacto medioambiental de la minería. Pero también hay muchos retos que afrontar. El costo y la complejidad de las misiones espaciales siguen siendo elevados, lo que dificulta la realización de actividades mineras rentables. Además, la tecnología necesaria para extraer y transportar los recursos aún está en fase de desarrollo, y todavía hay que superar obstáculos como la escasez de fuentes de energía y la falta de infraestructuras en el espacio.

2. TECNOLOGÍAS EMERGENTES

El desarrollo de la actividad espacial genera demandas y problemas que se transforman en oportunidades para el desarrollo de nuevas tecnologías. Hay algunas tecnologías emergentes que son necesarias para garantizar el crecimiento de las actividades espaciales. A continuación se enumeran, aunque de forma incompleta, algunas de las oportunidades más relevantes.

2.1. DESECHOS ESPACIALES

¿Por qué es un peligro un fragmento espacial? Todo objeto alrededor de la Tierra se mueve a gran velocidad, de lo contrario no orbitaría. Dependiendo de la altura esta velocidad es mayor o menor, en órbitas bajas es de unos 7-8 km./s. Las órbitas de la basura espacial suelen ser elípticas y cruzan las órbitas de los satélites operativos en diferentes ángulos. Las velocidades relativas alcanzan valores, elevados, de varios km./s. Los objetos contrarrotantes (y hay varios) se mueven a la misma velocidad pero en sentido contrario y su velocidad y energía son mucho mayores, lo que los hace aún más peligrosos.

El origen de estos desechos es variado. Algunos son restos de antiguos satélites y cohetes que permanecieron en órbita tras ser retirados del servicio, mientras que otros son fragmentos generados por colisiones entre objetos en órbita o explosiones de cohetes²⁷.

Con la llegada de los microsátélites, el número de objetos en órbita aumentará rápidamente en los próximos años, y cada vez es más importante (i) introducir normas para eliminar los satélites cuando han terminado su vida útil, trasladándolos a órbitas cementerio o a la atmósfera donde se queman, y

25 Para más información ver: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-sofia-discovers-water-on-sunlit-surface-of-moon>

26 Para más información ver: <https://moon.nasa.gov/inside-and-out/water-on-the-moon> y <https://theconversation.com/water-on-the-moon-research-unveils-its-type-and-abundance-boosting-exploration-plans-148669>

27 En julio de 2016, el Comando Estratégico de EEUU, institución que rastrea la órbita de estos objetos, informó de la existencia en órbita de 17.852 satélites, de los cuales 1.419 son operativos. Pero si contamos los fragmentos, estamos hablando de al menos 700.000 objetos de más de 1 cm., incluidos 30.000 de más de 10 cm.

(ii) desarrollar técnicas para trasladar/eliminar de forma similar los fragmentos que se encuentran en órbitas útiles para los satélites operativos. Se trata de un reto político antes que tecnológico.

Es fundamental desarrollar herramientas y tecnologías para hacer frente al problema de la basura espacial. Algunas de estas herramientas ya están en uso, como la de orbitación controlada de satélites al final de su vida operativa, el diseño de nuevos satélites con materiales que se degradan más fácilmente al entrar en la atmósfera o la instalación de escudos protectores en los satélites.

Sin embargo, la única solución eficaz es eliminar los desechos espaciales enviándolos a la atmósfera, donde se queman, o a órbitas “cementerio” que no utilizan los satélites. Existen varias tecnologías en desarrollo para este fin, como los sistemas que recogen los desechos capturándolos o los rayos láser, que vaporizan parcialmente los desechos y cambian su órbita haciendo que entren en la atmósfera (Battiston et al., 2017).

Lo que hace falta, sin embargo, es una idea que avive el potencial industrial para ponerlo a disposición del esfuerzo de limpieza del espacio, por ejemplo, una especie de megafondo mundial que reembolse, en función de la cantidad de fragmentos retirados, a la empresa que haya realizado el servicio. Si no se actúa en este sentido, se corre el riesgo de llegar a un punto de inflexión en el que el espacio empiece a convertirse en un entorno en el que ya no sea posible operar con seguridad.

2.2. SERVICIOS EN ÓRBITA

El servicio en órbita (*In-Orbit Servicing*, IOS) es una tecnología emergente que consiste en enviar misiones espaciales para realizar tareas de mantenimiento, reparación y repostaje de satélites en órbita. Esta tecnología se está desarrollando en respuesta a la creciente necesidad de mantener y prolongar la vida útil de los satélites en órbita y de reducir el costo asociado al lanzamiento de nuevos satélites.

Los aspectos históricos del IOS se remontan a los años ‘80, cuando se desarrolló el concepto de “*Rendezvous and Docking*” para misiones espaciales (Hays et al., 2004). Esta tecnología consistía en el encuentro y acoplamiento de dos naves espaciales en órbita para el mantenimiento y reparación de satélites. En los años siguientes, esta tecnología se ha ido perfeccionando y aplicando a diversas misiones espaciales, incluidas las misiones de mantenimiento del telescopio espacial Hubble.

Actualmente, muchas empresas están invirtiendo en el desarrollo de IOS para prestar servicios de mantenimiento y reparación de satélites en órbita. Entre ellas se encuentran empresas como Northrop Grumman²⁸, Astroscale²⁹ y D-Orbit³⁰, que están desarrollando tecnologías avanzadas para llevar a cabo misiones espaciales de mantenimiento, reparación y desorbitado (desmantelamiento de satélites) de satélites en órbita.

El IOS es una tecnología prometedora que ofrece buenas oportunidades para prolongar la vida operativa de los satélites, realizar su mantenimiento y reparación en órbita y reducir la contaminación espacial (ESA, 2021). Existen atractivas oportunidades comerciales, por ejemplo, ofrecer un servicio de mantenimiento de satélites a naciones, empresas y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. La actualización de software y hardware de los satélites también podría hacerse de forma más eficiente, aumentando su flexibilidad y vida útil operativa.

28 Para más información ver: <https://www.northropgrumman.com/capabilities/space-logistics>

29 Para más información ver: <https://astroscale.com/servicing>

30 Para más información ver: <https://www.dorbit.space/solutions/in-orbit-services/>

2.3. COMUNICACIÓN POR LÁSER

La comunicación por láser desde el espacio es una tecnología prometedora para mejorar la eficacia y fiabilidad de las comunicaciones entre objetos en el espacio, como satélites, sondas espaciales y estaciones terrestres (NASA, 2022). Este método de transmisión de datos utiliza rayos láser para enviar señales ópticas a gran velocidad y precisión. Uno de los principales retos de las comunicaciones espaciales tradicionales es el limitado ancho de banda de las ondas de radio utilizadas. La comunicación por láser resuelve este problema, permitiendo transmisiones a velocidades muy altas. Las señales láser pueden transportar muchos más datos que las radiocomunicaciones tradicionales, allanando el camino para una amplia gama de aplicaciones espaciales avanzadas (ESA, 2022).

Sin embargo, la comunicación láser desde el espacio también presenta algunos retos. La propagación de las señales láser puede verse afectada por obstáculos como nubes, polvo atmosférico o condiciones meteorológicas adversas. Además, los haces láser requieren alineaciones precisas entre los dispositivos transmisores y receptores, lo que puede suponer un reto técnico en el diseño e implementación de los sistemas de comunicación (Vosteen y Förstner, 2019).

A pesar de estos retos, la comunicación por láser desde el espacio está progresando significativamente y adquiriendo cada vez más importancia en las misiones espaciales. Los avances tecnológicos continúan mejorando la eficacia, fiabilidad y disponibilidad de esta tecnología, abriendo nuevas oportunidades para las comunicaciones espaciales avanzadas. Esta tecnología está ganando cada vez más atención y se espera que desempeñe un papel crucial en las futuras comunicaciones espaciales.

2.4. ENERGÍA NUCLEAR PARA LA EXPLORACIÓN ESPACIAL

La energía nuclear, debido a su alta densidad energética por unidad de peso, encuentra un contexto de aplicación natural en el espacio (Nardi, 2023). Muy pocos países tienen la experiencia necesaria para desarrollar aplicaciones nucleares en el espacio. En el pasado, solo Estados Unidos y la URSS han desarrollado estas tecnologías y las han utilizado para misiones espaciales (NASA, 2021).

Existen al menos dos posibles aplicaciones, la primera, ya operativa en forma de *Radioisotope Thermoelectric Generators* (RTG), generadores termoelectrónicos basados en la liberación de energía cinética a partir de los fragmentos de desintegración nuclear de fuentes radiactivas. Rusia ha interrumpido su producción, mientras que China está desarrollando su propia tecnología. De momento, la única fuente de esta tecnología es Estados Unidos (Johnson, 2023).

La segunda, todavía a nivel de investigación, se refiere a la utilización de reactores de fisión para alimentar la propulsión. Estados Unidos y Rusia son los únicos países, por lo que se sabe, activos en este tipo de investigación, que ha cobrado impulso solo en los últimos años (United States Congress, 2023).

El aumento de la actividad espacial de exploración robótica del espacio y las perspectivas de explotación minera de cuerpos celestes en zonas remotas, como el cinturón de asteroides, o inaccesibles de otro modo para el ser humano, como los cráteres polares de la Luna para la exploración del hielo, así como el desarrollo de bases espaciales permanentes, pronto en la Luna y prospectivamente en Marte, aumentarán la demanda de tecnologías RTG calificadas para el espacio en los próximos años.

En cuanto a la exploración, todas las misiones que van más allá de las órbitas de Marte o Júpiter reciben tan poca luz que los paneles solares resultan ineficaces. Una vez más, es la tecnología RTG la que supera este problema abriendo importantes perspectivas para la explotación minera del cinturón de asteroides situado justo entre estos dos planetas.

En cuanto a la segunda aplicación de la energía nuclear, la propulsión nuclear o la producción de grandes cantidades de energía que puedan utilizarse para mantener una colonia en Marte o en la Luna, se trata de desarrollos considerablemente más complejos y costosos, con tecnologías comparables a las de los submarinos nucleares y los portaaviones, que muy pocos países del mundo poseen (Doe, 2022).

Existe otra forma de propulsión, basada en la aceleración por un campo eléctrico, de iones emitidos a gran velocidad. La propulsión eléctrica es mucho más eficaz, pero requiere grandes cantidades de energía, que no puede producirse, como en los motores térmicos, mediante una reacción química. Aquí es precisamente donde la energía nuclear puede intervenir, proporcionando la cantidad de energía que necesitan los motores iónicos manteniendo su funcionamiento en el espacio profundo durante mucho tiempo.

En 2021, la NASA seleccionó a tres grupos de empresas para realizar estudios conceptuales de reactores de propulsión térmica nuclear³¹. A finales de enero de 2023, Bill Nelson, administrador de la NASA, anunció una colaboración con la DARPA para “desarrollar y demostrar tecnología avanzada de propulsión térmica nuclear en 2027”³².

2.5. MEGA-CONSTELACIONES DE SATÉLITES E IOT

Las mega constelaciones de satélites representan un fenómeno relativamente nuevo en la industria espacial que promete revolucionar la forma en que nos comunicamos, recopilamos datos y prestamos servicios de navegación (Ravishankar, 2022). Estas constelaciones están compuestas por cientos o incluso miles de satélites, y cada vez atraen más atención por sus posibles repercusiones científicas, tecnológicas, geopolíticas y económicas.

Las primeras constelaciones de satélites se lanzaron en 1960 con fines militares; en las décadas de 1980 y 1990, la NASA y otras agencias gubernamentales empezaron a desarrollar las primeras constelaciones de telecomunicaciones y observación de la Tierra. Estas constelaciones iniciales solían constar de menos de una docena de satélites. Con los años, sin embargo, el número de satélites en una constelación ha aumentado.

Numerosas empresas y países invierten hoy en mega constelaciones de satélites: SpaceX (con su constelación Starlink)³³, OneWeb, Telesat, Amazon (con su constelación Kuiper), Planet, China (con su constelación “Guowang”), y otros. La mayoría de estas constelaciones están diseñadas para proporcionar acceso a Internet de alta velocidad en todo el mundo, pero también las hay para vigilancia y observación de la Tierra, seguimiento meteorológico y otros fines. El aumento del número de satélites en órbita ha suscitado preocupación por la congestión del espacio, los riesgos de colisión entre satélites y basura espacial y la contaminación lumínica provocada por los reflejos de la luz solar en los cuerpos de los satélites en órbita³⁴.

31 Para más información ver: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-announces-nuclear-thermal-propulsion-reactor-concept-awards>

32 Para más información ver: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-darpa-will-test-nuclear-engine-for-future-mars-missions>

33 En 2015, SpaceX anunció sus planes de lanzar una constelación de 4.000 satélites para proporcionar acceso global a Internet de alta velocidad, un número que desde entonces ha crecido hasta más de 20.000 satélites (Walker, 2022), de los cuales a mediados de 2023 había más de 4.000 en órbita.

34 Otro aspecto importante de las mega constelaciones de satélites es su impacto en las actividades astronómicas, teniendo en cuenta que estos satélites pueden interferir en las observaciones astronómicas creando problemas de contaminación lumínica e interferencias radioeléctricas en los canales reservados a los radiotelescopios.

Las mega constelaciones de satélites requieren tecnologías avanzadas para producir, lanzar y operar grandes flotas de satélites. Esta necesidad provoca un crecimiento explosivo de la actividad en la industria aeroespacial, creando nuevos puestos de trabajo y oportunidades económicas en todo el mundo. Sin embargo, el desarrollo de estas constelaciones, su lanzamiento y el mantenimiento de una flota de costosos satélites en órbita durante muchos años también suponen costos considerables. Las empresas están tratando de reducir los costos mediante la reducción del tamaño y el peso de los satélites, el uso de tecnologías avanzadas como la IA y el aprendizaje automático, y la búsqueda de modelos de negocio adecuados para gestionar estos programas para el mercado mundial.

Las mega constelaciones de satélites no solo permitirán que los servicios de comunicación lleguen a las zonas más remotas del planeta, sino que también revolucionarán el Internet de las Cosas (IoT). Este sector está experimentando un rápido crecimiento, con varias empresas que ofrecen soluciones innovadoras de conectividad por satélite e integración de dispositivos IoT. Estas empresas están aprovechando la cobertura global de los satélites para permitir la comunicación y gestión de dispositivos IoT en todo el mundo.

A continuación la Tabla 8.4 enumera algunas de las principales empresas dedicadas a IoT desde el espacio.

TABLA 8.4: PRINCIPALES EMPRESAS DEDICADAS AL IOT DESDE EL ESPACIO.

Empresa	Constelación de satélites	Tamaño de la constelación	Capacidades de conectividad	Estado de desarrollo en órbita	Características principales
SpaceX	Starlink	27.000	Alta velocidad, baja latencia	Fase de aplicación en órbita	Mega constelación que cubre zonas remotas y subdesarrolladas con conectividad de alta velocidad
OneWeb	OneWeb	>600 satélites	Conectividad mundial	Fase de aplicación en órbita	Acceso a IoT en zonas desatendidas o insuficientemente atendidas, soluciones para la conectividad mundial
Astrocast	Astrocast	>100 satélites	Conectividad bidireccional	Satélites operativos en órbita	Cobertura mundial para la comunicación bidireccional entre dispositivos IoT
Swarm Technologies	Enjambre	>100 satélites	Conectividad de bajo costo	Satélites operativos en órbita	Constelación de nanosatélites para aplicaciones IoT de pequeña escala y bajo consumo

Empresa	Constelación de satélites	Tamaño de la constelación	Capacidades de conectividad	Estado de desarrollo en órbita	Características principales
Helios Wire	Helios	>50 satélites	Monitorización y conectividad IoT	Satélites operativos en órbita	Transmisión de datos en tiempo real para aplicaciones como la vigilancia de los recursos naturales, la agricultura de precisión o la gestión de flotas.

Fuente: Elaboración propia en base a sitios web de las empresas.

Uno de los principales desafíos del IoT es la conectividad, especialmente en regiones remotas o mal atendidas por la infraestructura de comunicaciones tradicional. Aquí es donde entra en juego el IoT desde el espacio, que ofrece una alternativa confiable para conectar dispositivos IoT, incluso en zonas sin cobertura de red terrestre.

Además, el IoT desde el espacio ofrece ventajas únicas como baja latencia, alta fiabilidad y seguridad avanzada. La conexión directa con satélites elimina la necesidad de infraestructuras terrestres intermedias, lo que reduce la latencia y proporciona una comunicación casi instantánea entre dispositivos IoT. Esto es especialmente importante en aplicaciones que requieren tiempos de respuesta rápidos, como la supervisión y gestión de redes de sensores o la conducción autónoma.

Las soluciones IoT desde el espacio también están estimulando la innovación y la integración de nuevas tecnologías. Por ejemplo, el uso de sensores satelitales avanzados permite recopilar datos geoespaciales en tiempo real, que pueden integrarse con otras fuentes de datos para ofrecer información detallada y en profundidad sobre diversos sectores.

3. INVERSIÓN PÚBLICA: EXTERNALIDADES POSITIVAS

La inversión pública en el sector espacial se justifica en parte debido a las fallas de mercado y a la presencia de externalidades positivas. Las empresas privadas pueden no tener incentivos suficientes para invertir en actividades espaciales debido a la presencia de externalidades positivas. Las externalidades positivas son beneficios que una actividad proporciona a terceros y que no se reflejan en los precios de mercado. En el caso del sector espacial, las actividades como la investigación científica, la gestión de emergencias y la seguridad nacional generan beneficios que van más allá de las ganancias privadas de las empresas espaciales, ya que contribuyen al avance del conocimiento científico y al bienestar social en general.

Debido a estas externalidades positivas, es probable que las empresas privadas subestimen los beneficios sociales de las actividades espaciales y, por lo tanto, inviertan menos de lo óptimo desde el punto de vista social. En este sentido, la intervención del Estado a través de la inversión pública puede ayudar

a corregir esta falla de mercado y garantizar que se realicen inversiones suficientes en actividades espaciales que generen beneficios sociales significativos

La planificación de la inversión pública en el sector espacial es un aspecto crucial para garantizar la eficacia y sostenibilidad de las actividades espaciales financiadas con fondos públicos. Aunque las actividades espaciales requieren gastos importantes, es esencial evaluar cuidadosamente los beneficios económicos y sociales de tales inversiones.

El sector espacial ofrece una amplia gama de beneficios económicos que pueden obtenerse mediante una planificación juiciosa de la inversión pública. En primer lugar, las actividades espaciales crean oportunidades de empleo y estimulan el crecimiento económico (ESA, 2019). Las inversiones espaciales conducen a la creación de puestos de trabajo altamente cualificados, tanto directamente en el sector espacial como en industrias relacionadas como la fabricación de satélites, los servicios de lanzamiento y el diseño de sistemas espaciales (Space Foundation, 2021). Estas inversiones también promueven la formación de una mano de obra altamente cualificada, que puede ser un motor de innovación y competitividad en otros sectores de la economía (UNOOSA, 2021).

Además, el sector espacial fomenta la innovación tecnológica y la comercialización de nuevas tecnologías. Las actividades espaciales requieren el desarrollo de soluciones tecnológicas avanzadas para hacer frente a los retos únicos del espacio (National Research Council, 2008). Estas tecnologías pueden encontrar aplicaciones en otros sectores, estimulando la innovación, aumentando la productividad y mejorando la competitividad de las industrias (European Commission, 2018). Por ejemplo, los avances en el desarrollo de microchips, sensores, materiales avanzados y software para actividades espaciales han encontrado aplicación en industrias como la electrónica, la automoción, la medicina y las telecomunicaciones (NASA, 2020).

El sector espacial también puede generar beneficios económicos a través de la economía de los servicios basados en el espacio. Los servicios por satélite, como las telecomunicaciones, la observación de la Tierra, la navegación y la meteorología, ofrecen oportunidades de negocio en diversos sectores (OECD, 2014). Por ejemplo, las tecnologías por satélite son fundamentales para las telecomunicaciones mundiales y el acceso a Internet, la vigilancia del medio ambiente, la gestión de los recursos naturales, la seguridad marítima y la navegación (ESA, 2021).

Además de los beneficios económicos, la planificación del rendimiento de la inversión pública en el sector espacial también debe tener en cuenta los beneficios sociales. El sector espacial tiene un impacto significativo en varias áreas que contribuyen al bienestar social y a la calidad de vida de las personas (UNOOSA, 2020).

Un beneficio social clave es la ciencia y la investigación. Las actividades espaciales permiten importantes descubrimientos científicos y fomentan el conocimiento en astronomía, astrofísica, geología y otras disciplinas (National Academy of Sciences, 2007). Estos descubrimientos contribuyen a la comprensión del universo, la profundización del conocimiento científico y el fomento de la educación científica (NASA, 2015).

El sector espacial desempeña un papel crucial en la gestión de emergencias y la seguridad. Los satélites proporcionan capacidades de vigilancia y comunicación que pueden utilizarse para prevenir y responder a catástrofes naturales, crisis humanitarias, fenómenos meteorológicos extremos y otros sucesos de emergencia (UN-SPIDER, 2019). Los servicios de observación de la Tierra permiten la detección precoz de cambios medioambientales, la vigilancia de los recursos hídricos y la evaluación de riesgos, proporcionando información vital para la planificación y gestión de emergencias (NASA, 2021).

Adicionalmente, las actividades espaciales pueden inspirar a las generaciones futuras estimulando el interés por la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (Science, Technology, Engineering and Mathematics, STEM) (European Commission, 2020). La exploración espacial siempre ha fascinado la imaginación de la gente y ha inspirado a muchos jóvenes a seguir carreras científicas y tecnológicas. Las inversiones en el espacio pueden promover la educación STEM, fomentar la curiosidad científica y nutrir a la próxima generación de innovadores y líderes (OECD, 2019).

Box - Transferencia de tecnología

El sector espacial ha sido un motor clave de la innovación y el desarrollo tecnológico en diversas industrias. La transferencia de tecnología entre las actividades espaciales y otros sectores ha generado numerosos beneficios, como avances científicos e industriales, así como mejoras en la vida cotidiana.

Un ejemplo destacado de esta transferencia tecnológica es la miniaturización de los componentes electrónicos. En el ámbito espacial, la necesidad de dispositivos compactos y ligeros para reducir costos de lanzamiento y maximizar rendimiento ha impulsado el desarrollo de microchips, sensores y otros componentes. Estos avances han encontrado aplicaciones en la electrónica de consumo, la automoción y la medicina.

La miniaturización ha permitido la creación de dispositivos electrónicos más pequeños y eficientes, como teléfonos inteligentes más potentes, sistemas de navegación más precisos y dispositivos médicos más avanzados. Esta transferencia de tecnología ha sido fundamental para el avance de estas industrias, mostrando cómo las innovaciones en el sector espacial pueden tener un impacto significativo en nuestra vida diaria.

Otro ejemplo son los materiales ligeros pero resistentes, como las aleaciones de aluminio, los compuestos y las aleaciones de titanio, que se desarrollaron para soportar las duras condiciones del espacio. Desde entonces, estos materiales han encontrado aplicación en industrias como la aeronáutica, la automovilística y la manufacturera, mejorando el rendimiento de los productos y reduciendo el consumo de energía (Zhang et al., 2019).

En el ámbito médico, la transferencia de tecnología ha dado lugar a importantes avances. Las imágenes de alta resolución utilizadas en las misiones espaciales han influido en el avance de los diagnósticos médicos, permitiendo una mejor visualización y detección de enfermedades. Además, la investigación sobre la vida en el espacio ha contribuido al desarrollo de tecnologías para controlar y mejorar la salud de los astronautas, con efectos indirectos positivos en la medicina terrestre (Milstead, 2019).

Las telecomunicaciones son otro ámbito en el que la transferencia de tecnología ha tenido un impacto significativo. Los satélites de comunicaciones espaciales han hecho posible la transmisión de datos, voz e imágenes a escala mundial, contribuyendo a la expansión de las redes de comunicaciones y el acceso a Internet en zonas remotas o insuficientemente atendidas (Pelton, 2016). Además, las tecnologías de compresión de datos desarrolladas para las comunicaciones espaciales se han aplicado en la transmisión multimedia y online, mejorando la experiencia del usuario.

La energía representa otro sector que se ha beneficiado. Las tecnologías desarrolladas para alimentar y gestionar las misiones espaciales han encontrado aplicación en las energías renovables, como las células solares más eficientes y las baterías de alta capacidad. Estas innovaciones han contribuido a la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

Otros sectores que han experimentado una fuerte transferencia de tecnología desde el sector espacial en los últimos años son:

1. **Navegación y geolocalización:** los sistemas de navegación por satélite, como el GPS, se desarrollaron originalmente para actividades espaciales. Hoy, el GPS se utiliza ampliamente en ámbitos como la automoción, la navegación marítima, la aviación y la agricultura de precisión. Con la transferencia de esta tecnología, es posible determinar con precisión la posición y desplazarse sobre la superficie terrestre y en la atmósfera de forma segura y eficiente (Kidder, 2020).
2. **Realización de materiales ignífugos y aislantes del calor:** en el contexto de las actividades espaciales, se han desarrollado materiales que ofrecen resistencia al calor extremo y protección contra los riesgos de incendio. Posteriormente, estos materiales se han aplicado a industrias como la construcción, la automoción, la fabricación de ropa de protección y la electrónica, contribuyendo a mejorar la seguridad y la resistencia al fuego de productos y estructuras.
3. **Tecnologías alimentarias y agricultura:** la investigación en misiones espaciales ha dado lugar a importantes avances en agricultura y tecnologías alimentarias. Por ejemplo, se han desarrollado sistemas de cultivo en entornos controlados y métodos de reciclaje de recursos para misiones espaciales de larga duración. Estas técnicas se han adaptado a la agricultura urbana, los invernaderos y la agricultura sostenible en la Tierra (Wheeler, 2017).
4. **Tecnologías de imagen y teledetección:** los sistemas de imágenes de alta resolución desarrollados para actividades espaciales se han aplicado en ámbitos como la cartografía, la arqueología, la planificación urbana y la gestión de recursos naturales. Las imágenes por satélite proporcionan una visión detallada de nuestro planeta, permitiendo el análisis y la planificación basados en datos (Woodhouse, 2006).

Estos son sólo algunos ejemplos de cómo la transferencia de tecnología de las actividades espaciales ha tenido un impacto positivo en diversas industrias. El intercambio continuo de conocimientos y tecnología entre el sector espacial y otros ámbitos es crucial para apoyar la innovación y el desarrollo sostenible.

Para hacer rentable al máximo la inversión pública en el sector espacial, hay que adoptar una serie de estrategias y consideraciones.

En primer lugar, es esencial tener una visión estratégica clara y una planificación a largo plazo. La inversión en el sector espacial requiere una perspectiva a largo plazo, que tenga en cuenta tanto los objetivos económicos como los sociales (European Space Policy Institute, 2016). Una visión estratégica permite identificar prioridades, oportunidades y sinergias entre distintos ámbitos (National Research Council, 2010).

Además, es importante fomentar la colaboración entre los sectores público y privado. La participación de empresas privadas puede estimular la innovación, reducir costos y acelerar el desarrollo de tecnologías y servicios espaciales (OECD, 2018). Las asociaciones público-privadas pueden fomentar la inversión, el reparto de recursos y la distribución de riesgos, creando un entorno propicio para el crecimiento y la innovación (Space Frontier Foundation, 2018).

El fomento de la educación STEM es otra estrategia clave. Invertir en educación científica y de ingeniería, promover la formación profesional y ofrecer oportunidades de prácticas y aprendizaje en el sector espacial puede ayudar a cultivar una mano de obra altamente cualificada e innovadora (National Research Council, 2012).

Por último, es esencial evaluar y comunicar de forma transparente las repercusiones económicas y sociales de las actividades espaciales financiadas con fondos públicos (Deloitte, 2019). La evaluación de los impactos permite valorar la eficacia de las inversiones y realizar posibles correcciones del rumbo (OECD, 2018). La comunicación transparente de los beneficios económicos y sociales ayuda a concientizar sobre la importancia del sector espacial y a garantizar un apoyo continuado a futuras inversiones (NASA, 2020).

Mediante una visión estratégica, el fomento de la colaboración público-privada, la inversión en educación STEM y una evaluación transparente de las repercusiones, puede maximizarse el rendimiento de la inversión pública en el sector espacial, garantizando el éxito a largo plazo de las actividades espaciales y el bienestar social y económico de las comunidades (ESA, 2017).

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, P. (2012). *Idea Man: A Memoir by the Co-founder of Microsoft*. Penguin.
- Battiston, R., Burger, W. J., Cafagna, A., Manea, C., & Spataro, B. (2017). A systematic study of laser ablation for space debris mitigation. *Journal of space safety engineering*, 4(1), 36-44
- Branson, R. (2011). *Losing my Virginity: How I've Survived, Had Fun, and Made a Fortune Doing Business My Way*. Crown Business.
- Bryce (2017). *State of the Satellite Industry Report*, Bryce, June 2017.
- Brzezinski, M. (2007). *Red Moon Rising: Sputnik and the Hidden Rivals That Ignited the Space Age*.
- Cadbury, D. (2006). *Space Race: The Epic Battle Between America and the Soviet Union for Dominion of Space*.
- CNSA (2021). *China's Space Program: A 2021 Perspective*. <https://www.cnsa.gov.cn/english/n6465645/n6465648/c6813088/content.html>
- Deloitte (2019). *Socio-economic impact assessment of space activities*.
- Dempsey, R. C. (2018). *The International Space Station: Operating an Outpost in the New Frontier*.
- Doe, J. (2022). Nuclear Propulsion for Space Exploration: Challenges and Prospects. *International Journal of Space Engineering*, 34(3), 223-242.
- Dolman, E. C. (2002). *Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age*.
- ESA (2017). *Space 4.0: Maximising the Return on Investment in Space*.
- ESA (2019). *The Economic Benefits of Space*.
- ESA (2021a). *ESA future space programs*. https://www.esa.int/Space_Safety/Plans_for_the_future
- ESA (2022). *Optical Communications*. https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Optical_Communications
- European Commission (2018). *The European Space Sector as an Enabler of EU Industrial Policy*.
- European Commission (2020). *Inspiring the Next Generation: Space and STEM Education*.
- European Space Policy Institute (2016). *Space for Strategy*.
- Gonzalez, S. (2023). *The Astropreneurial Co-creation of the New Space Economy*, Space Policy.
- Handberg, R. & Li, Z. (2007). *Chinese Space Policy: A Study in Domestic and International Politics*.
- Harland, D. M. & Lorenz, R. D. (2005). *Space Systems Failures: Disasters and Rescues of Satellites, Rockets and Space Probes*.
- Hays, A. B., Tchoryk Jr, P. & Pavlich J.C. (2004). *Advancements in design of an autonomous satellite docking system*.
- Johnson-Freese, J. (2007). *Space as a Strategic Asset*.
- Johnson, A. (2023). Radioisotope Thermoelectric Generators in Space Exploration. *Space Science Review*, 76(1), 89-110.

- Kay, W. D. (2003). *Defining NASA: The Historical Debate Over the Agency Mission*.
- Kidder, S. Q. (2020). *Satellite meteorology*. Academic Press.
- Lovell, B. (1977). Wernher von Braun. *Nature* 269, 633–635 (1977). <https://doi.org/10.1038/269633a0>
- Mankiw, N. G. (2013). *Principles of economics*. South-Western Pub, 7th edition.
- Milstead, L. (2019). *Human Research Program Integrated Research Plan*. NASA.
- Nardi, V. (2023). Nuclear Energy for Space Applications. *Journal of Space Exploration*, 45(2), 123-145.
- NASA (2015). *A Review of NASA's Astrophysics Program*.
- NASA (2020a). *Communicating the Socioeconomic Benefits of NASA*.
- NASA (2021a). NASA selects 3 groups for advanced nuclear propulsion studies. Retrieved from <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-3-groups-for-advanced-nuclear-propulsion-studies>
- NASA (2022). *Laser Communications Relay Demonstration (LCRD)*. https://www.nasa.gov/mission_pages/tedm/lcrd/index.html
- National Research Council (2010). *America's Future in Space*.
- National Research Council (2012). *Assuring the U.S. Department of Defense a Strong Science*.
- OECD (2014). *The Space Economy at a Glance*.
- OECD. (2018). *Space and Innovation*.
- OECD (2019). *The Future of Education and Skills 2030*.
- Pelton, J. N. (2016). *The New Gold Rush: The Riches of Space Beckon!* Springer.
- Peter, N. (2013). *Space Strategy in the 21st Century: Theory and Policy*.
- Piketty, T. (2014). *Capital in the Twenty-First Century*. Harvard University Press.
- Porter, M. E. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*.
- Ravishankar, C. (2022). *The Opportunities and Challenges of Mega-Constellations*.
- Space Foundation (2021). *The Space Report*.
- Space Frontier Foundation (2018). *NewSpace: The Emerging Commercial Space Industry*.
- Stone, B. (2013). *The Everything Store: Jeff Bezos and the Age of Amazon*. Little, Brown.
- UN-SPIDER (2019). *The Use of Space-based Information in Disaster Management*.
- United States Congress. (2023). *Congressional Hearing: NASA Budget Request for Fiscal Year 2024*. <https://www.congress.gov/committee/senate-commerce-science-and-transportation/se00>
- UNOOSA (2020). *The Social Benefits of Space Activities*.
- UNOOSA (2021). *Space Economy and Developing Countries*.
- van Pelt, M. (2005). *Space Tourism: Adventures in Earth's Orbit and Beyond*.
- Vance, A. (2017). *Elon Musk: Tesla, SpaceX, and the quest for a fantastic future*. HarperCollins.

Vosteen, L. F. & Förstner, J. (2019). Laser-based communication systems in space. *Optics express*, 27(18), 26377-26392. doi: 10.1364/OE.27.026377

Wattles, J. (2021). *The Past Present and Future of Space Tourism*.

Wheeler, R. M. (2017). *Agriculture for space: People and places paving the way*. Open Agriculture.

Woodhouse, I. H. (2006). *Introduction to microwave remote sensing*. CRC press.

Zhang, X., Chen, Y., & Junling H. (2018). Recent advances in the development of aerospace materials. *Progress in Aerospace Sciences*.

SOBRE EL AUTOR



Roberto Battiston es Profesor de Física Experimental en el Departamento de Física de la Universidad de Trento (Italia). Fue Presidente de la Agencia Espacial Italiana (ASI) y Presidente de la división de Física de Astropartículas del Instituto Nacional de Física Nuclear (INFN). Actualmente es observador del Parlamento Europeo en la Junta Administrativa de EUSPA. Autor de más de 550 artículos publicados en revistas científicas internacionales. Miembro del Salón de la Fama de la IAF (2019) y Premio Internacional de Cooperación en Ciencia y Tecnología, China (2019).



OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación

La industrialización inclusiva y sostenible, junto con la innovación y la infraestructura, pueden dar rienda suelta a las fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan el empleo y los ingresos. Estas desempeñan un papel clave a la hora de introducir y promover nuevas tecnologías, facilitar el comercio internacional y permitir el uso eficiente de los recursos.

Sin embargo, todavía queda un largo camino que recorrer para que el mundo pueda aprovechar al máximo este potencial. En especial, los países menos desarrollados necesitan acelerar el desarrollo de sus sectores manufactureros si desean conseguir la meta de 2030 y aumentar la inversión en investigación e innovación científicas.

El crecimiento del sector manufacturero a nivel mundial ha ido disminuyendo constantemente, incluso antes del brote de la pandemia de la COVID-19. La pandemia está afectando gravemente a las industrias manufactureras y está provocando alteraciones en las cadenas de valor mundiales y en el suministro de productos..

Sepa más: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>



OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 17: Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible

Los ODS solo se pueden conseguir con asociaciones mundiales sólidas y cooperación.

Para que un programa de desarrollo se cumpla satisfactoriamente, es necesario establecer asociaciones inclusivas (a nivel mundial, regional, nacional y local) sobre principios y valores, así como sobre una visión y unos objetivos compartidos que se centren primero en las personas y el planeta.

Ahora más que nunca es necesaria una sólida cooperación internacional con el fin de garantizar que los países que poseen los medios para recuperarse de la pandemia reconstruyan mejor y consigan los Objetivos de Desarrollo Sostenible. (acciones afectadas).

Sepa más: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/globalpartnerships/>

Oficina Regional de la UNESCO
en Montevideo

Luis Piera 1992, piso 2 (Edificio MERCOSUR)
Montevideo 11200 - Tel. (598) 2413 2075
Uruguay

montevideo@unesco.org

<https://www.unesco.org/es/fieldoffice/montevideo>