

## Capítulo octavo

### La IA en el espacio: un catalizador para los cambios geopolíticos en la economía espacial

*Marco Lisi*

#### Resumen

Este artículo investiga la intersección de la inteligencia artificial (IA) con la economía espacial y sus profundas implicaciones geopolíticas. La IA está impulsando cada vez más las misiones espaciales, las redes de satélites y la utilización de recursos, lo que está reconfigurando el panorama de la industria espacial mundial. Se explora cómo los avances impulsados por la IA están alimentando las oportunidades económicas y la competencia entre las naciones en las industrias relacionadas con el espacio, y los consiguientes efectos geopolíticos. Desde los servicios basados en satélites hasta la exploración lunar y de Marte, la IA está llamada a ser una fuerza motriz en la configuración del equilibrio de poder en el ámbito espacial, lo que la convierte en un tema crítico para responsables políticos, estrategas y líderes de la industria por igual.

#### Palabras clave

Inteligencia artificial, Espacio, Economía espacial, Geopolítica.

## AI in space: a catalyst for geopolitical changes in the space economy

### Abstract

*This article investigates the crossover of artificial intelligence (AI) with the space economy and its far-reaching geopolitical implications. AI is increasingly powering space missions, satellite networks, and resource utilization, thus reshaping the global space industry landscape. It explores how AI-driven advances are fuelling economic opportunities and competition among nations in space-related industries, and the consequential geopolitical effects. From satellite-based services to lunar and Martian exploration, AI is set to be a driving force in shaping the balance of power in the space arena, making it a critical issue for policy-makers, strategists and industry leaders alike.*

### Keywords

*Artificial intelligence, Space, Space economy, Geopolitics.*

## 1. Introducción

Localización y temporización ubicuos, detección ubicua, conectividad ubicua, modelado digital basado en la inteligencia artificial (IA): estas cuatro tendencias tecnológicas principales están desencadenando una transición trascendental en la historia de la humanidad, caracterizada, por un lado, por la integración y fusión de diferentes tecnologías e infraestructuras espaciales y terrestres, con el objetivo de una representación nueva y mejorada de nuestro mundo físico; por otro, por una desmaterialización progresiva de los productos y por su transformación en servicios.

El mundo de la fabricación se va a transformar de manera drástica, tanto en términos de paradigmas organizativos (Industria 4.0) como de tecnologías radicalmente nuevas (por ejemplo, la fabricación aditiva).

Estas tecnologías emergentes provocarán transformaciones radicales de nuestra sociedad, como las relacionadas con la conducción autónoma y con un amplio uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en aplicaciones comerciales (y no solo militares).

En este «Nuevo Mundo Digital», el futuro de las tecnologías espaciales depende de dos palabras: integración y fusión.

Con su papel fundamental en localización y temporización, tele-detección y comunicaciones, las tecnologías espaciales pueden desempeñar un papel esencial en la prestación de servicios digitales ubicuos (y de banda ancha).

A modo de ejemplo, la conectividad ubicua que requiere la internet de las cosas (IoT), a pesar de la amplia difusión de las redes inalámbricas y las promesas de la 5G (y la próxima 6G), nunca se logrará plenamente sin el apoyo de las comunicaciones móviles por satélite.

La misma consideración se aplica también a la conducción autónoma y a los vehículos aéreos no tripulados (más en general, al mundo de las cosas autónomas, AuT), donde los satélites no solo proporcionan comunicaciones ubicuas, sino también posicionamiento y temporización ubicuos.

La inteligencia artificial está desempeñando un papel esencial en la apertura de un nuevo panorama para las actividades espaciales, lo que comúnmente se denomina «Nueva Economía Espacial».

La IA se ha integrado a la perfección en diversas facetas de las actividades espaciales, convirtiéndose en un catalizador de un cambio sin precedentes en la economía espacial.

Naciones, organizaciones e industrias aprovechan cada vez más la IA para mejorar las operaciones de los satélites, procesar los grandes datos recogidos desde el espacio, mejorar el diseño de las naves espaciales y revolucionar la exploración espacial.

Al mismo tiempo, la IA introduce dinámicas geopolíticas que están remodelando profundamente el panorama geopolítico de las actividades espaciales.

## 2. La economía espacial emergente

La nueva economía espacial (NSE), también denominada Espacio 4.0, es un término que hace referencia a la comercialización y democratización de la exploración espacial. Se trata de tender un puente entre la exploración espacial y las inversiones de capital riesgo, de modo que esta nueva economía abra oportunidades para que las entidades privadas inviertan y hagan negocio en actividades espaciales.

Tradicionalmente, la exploración espacial era dominio de las agencias espaciales gubernamentales, alimentada por las ambiciones de las superpotencias e impulsada por la búsqueda del conocimiento científico, pero en las últimas décadas se ha producido un cambio hacia una mayor comercialización. Este cambio se debe, en gran medida, a los avances tecnológicos, que han reducido el coste de acceso al espacio y el tamaño y la masa de los satélites

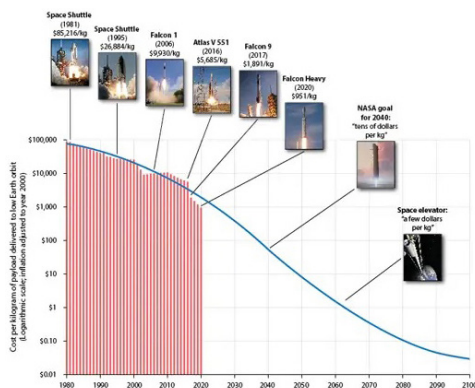


Figura 1. Coste por kilogramo de carga útil entregada en órbita terrestre baja. Fuente: FutureTimeline.net, 2018

(pequeños, micro y nanosatélites, o Cubesat), haciendo factible la participación de empresas privadas.

A modo de ejemplo, en los últimos años los costes de los lanzamientos pesados en órbita terrestre baja (LEO) han bajado de 65 000 dólares por kilogramo a 1500 dólares por kilogramo (en dólares de 2021), una disminución superior al 95 %.

Esta drástica reducción de costes fue paralela a la aparición de nuevos proveedores de lanzamientos comerciales (por ejemplo, Space X) que priorizan la eficiencia y desarrollaron componentes reutilizables para los vehículos de lanzamiento.

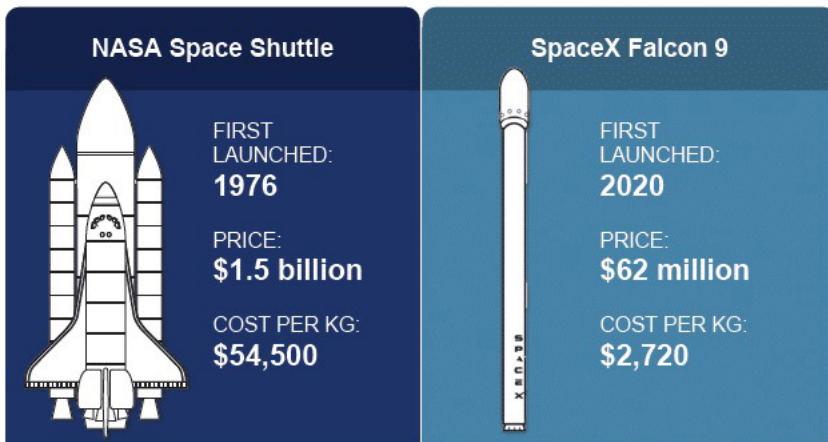


Figura 2. Reducción de costes de lanzamiento con lanzadores reutilizables. Fuente: Eversana. Disponible en: <https://www.eversana.com/insights/a-spacex-philosophy-to-launching-in-pharma/>

En cuanto al *hardware*, el diseño asistido por ordenador, la impresión en 3D y otras innovaciones (incluida la inteligencia artificial) han contribuido a la reducción de costes al agilizar el proceso de fabricación y mejorar las cadenas de suministro.

Son bien conocidos algunos ejemplos notables de éxito y ruptura tecnológica a través de empresas privadas.

SpaceX (*Space Exploration Technologies Corp.*), fundada por Elon Musk, es una empresa privada pionera en la fabricación aeroespacial y el transporte espacial. Es conocida por sus cohetes Falcon y Starship, la nave espacial Dragon y el desarrollo de la constelación de satélites Starlink para la cobertura mundial de internet de banda ancha. SpaceX ha logrado importantes

hitos, como ser la primera nave espacial de financiación privada en alcanzar la órbita, la primera nave espacial de financiación privada en acoplarse a la Estación Espacial Internacional (ISS) y la primera empresa privada en lanzar astronautas al espacio.



**Figura 3. Dos propulsores reutilizables, Falcon Heavy de SpaceX, realizan un aterrizaje simultáneo tras poner en órbita el primer cohete Falcon Heavy el 6 de febrero de 2018. Fuente: Space.com**

Un competidor en cierto modo directo de SpaceX es Blue Origin, fundada por Jeff Bezos, fabricante aeroespacial privado y empresa de servicios de vuelos espaciales. Se centra en el desarrollo de tecnologías de cohetes reutilizables para abaratar el acceso al espacio. El cohete suborbital New Shepard de Blue Origin está diseñado para el turismo espacial, y su cohete orbital New Glenn está destinado al lanzamiento de satélites comerciales y otras misiones.

Otra empresa dedicada al turismo espacial es Virgin Galactic, fundada por Sir Richard Branson, que pretende ofrecer vuelos espaciales suborbitales a clientes de pago, permitiéndoles experimentar la ingravidez y ver la curvatura de la Tierra.

Dos empresas, entre muchas otras, en el negocio de, respectivamente, las telecomunicaciones y la observación de la Tierra: OneWeb y Planet Labs.

OneWeb es una empresa mundial de comunicaciones centrada en la construcción de una constelación de satélites en órbita

terrestre baja (LEO) para ofrecer servicios de internet de alta velocidad y baja latencia. El objetivo es reducir la brecha digital y ofrecer conectividad en regiones remotas y desatendidas. Ha lanzado hasta ahora numerosos satélites como parte de su red de banda ancha, y es probablemente el competidor más directo de la constelación Starlink de SpaceX.

Planet Labs se especializa en la obtención de imágenes de la Tierra a través de su flota de pequeños satélites. Estos CubeSats capturan imágenes de alta resolución de la superficie terrestre y las ponen, previo pago, a disposición de todos los usuarios potenciales. El objetivo de la empresa es crear un mapa «vivo» de la Tierra, actualizado diariamente.

El NSE asiste a una expansión mundial, con un número récord de países y agentes comerciales que invierten en programas espaciales. El aumento del interés queda patente en el hecho de que ya hay satélites de más de ochenta naciones registrados en órbita.

Este creciente interés por las actividades espaciales está estimulando inversiones económicas que van más allá de las infraestructuras espaciales tradicionales, con repercusiones en muy diversos sectores de la economía mundial.

Según un informe de 2022, el valor de la nueva economía espacial asciende al menos a 469 000 millones de dólares, generados en su mayor parte por la facilitación o mejora de actividades en la Tierra, pero en el futuro podría surgir un valor significativo de funciones que se desarrollen íntegramente en órbita, como los servicios en órbita, la investigación y el desarrollo, la fabricación y la extracción de minerales de asteroides.

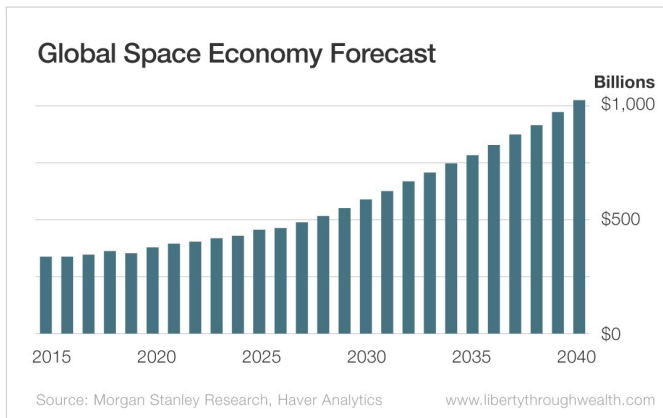


Figura 4

Las oportunidades económicas de la economía espacial están creciendo exponencialmente. En el centro de estas oportunidades se encuentran los servicios basados en satélites.

Los satélites, ya sea en órbita terrestre baja o geoestacionaria, se han convertido en herramientas indispensables para las telecomunicaciones, la radiodifusión televisiva, el posicionamiento global y la observación de la Tierra. Permiten conexiones a internet de alta velocidad en regiones remotas, proporcionan datos meteorológicos en tiempo real y facilitan la navegación de precisión.

Los datos y las imágenes por satélite han revolucionado sectores como la agricultura, la silvicultura y la gestión de catástrofes. Ofrecen información sobre los cambios medioambientales, la salud de los cultivos y la gestión de los recursos, lo que los convierte en herramientas inestimables para los responsables de la toma de decisiones en todo el mundo.

Los beneficios económicos de estos servicios son considerables, ya que mejoran la eficiencia y la asignación de recursos, al tiempo que reducen costes y riesgos.

La industria espacial comercial también se está aventurando en el turismo espacial, con empresas que desarrollan activamente la infraestructura necesaria para ofrecer viajes suborbitales y, con el tiempo, orbitales a los turistas espaciales. El turismo espacial representa un mercado incipiente pero potencialmente lucrativo, con el potencial de hacer el espacio más accesible a un mayor número de personas.

Uno de los aspectos clave del NSE es la democratización del espacio. En el pasado, solo un puñado de países disponía de los recursos y la tecnología necesarios para emprender misiones espaciales. Hoy en día, un abanico mucho más amplio de actores, incluidas las economías emergentes, las empresas privadas e incluso los particulares, pueden contribuir a la exploración espacial. Esto ha llevado a un aumento del número de satélites en órbita, sondas espaciales a planetas lejanos y planes para misiones tripuladas a la Luna y a Marte y el establecimiento de puestos avanzados permanentes en el espacio y colonias fuera de la Tierra.

Una característica marcada de la nueva economía espacial es la colaboración internacional: gobiernos e industrias privadas se unen para desarrollar y comercializar tecnologías espaciales, con el objetivo común de hacer negocio. Estas asociaciones



dan lugar a inversiones, tecnologías y oportunidades compartidas. Los esfuerzos conjuntos son esenciales no solo para compartir costes, sino también para aprovechar los conocimientos y la experiencia colectivos. Esta colaboración también fomenta la diplomacia en la gobernanza espacial, ya que las naciones tratan de crear un entorno espacial estable y predecible para las actividades económicas.

El NSE también presenta varios retos, como la cantidad de basura espacial que orbita la Tierra, que según la NASA es actualmente del orden de 9000 t. La basura espacial, debido al creciente número de satélites en órbita alrededor de la Tierra y a la llegada de las llamadas «Mega Constelaciones», podría suponer una amenaza, tanto para las naves espaciales tripuladas como para las no tripuladas.

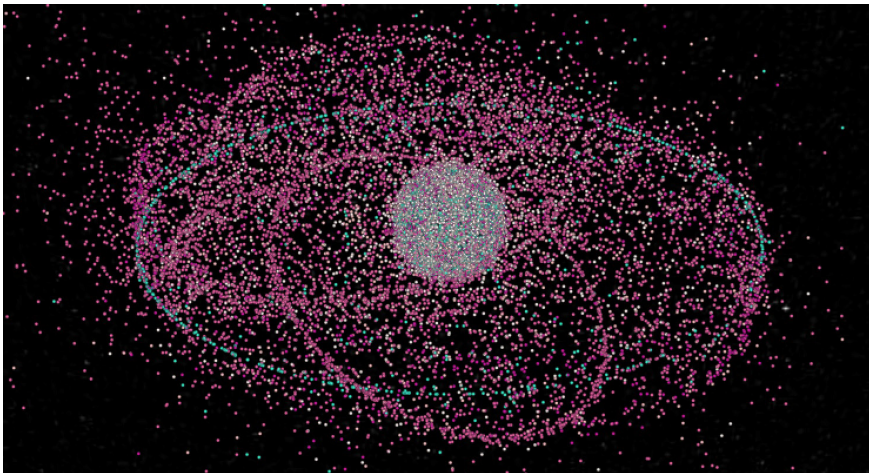


Figura 5. La asombrosa cantidad de objetos espaciales que rodean el planeta. Fuente: HPC Wire, 2022

Otras posibles cuestiones a tener en cuenta son las legales y reglamentarias, ya que el actual marco político y jurídico internacional no se diseñó pensando en la NSE.

En el contexto de la nueva economía espacial, la inteligencia artificial (IA) se perfila como un catalizador clave de las futuras actividades espaciales.

La unión de la inteligencia artificial y la exploración espacial está abriendo nuevos horizontes, acelerando la innovación y mejorando la eficacia de las misiones espaciales.

### 3. Inteligencia artificial

Antes de describir el papel de la inteligencia artificial, convendría establecer algunas definiciones básicas y acordar una taxonomía común.

La inteligencia artificial (IA) se refiere al desarrollo de sistemas informáticos o programas que pueden realizar tareas que simulan las funciones cognitivas humanas y adaptarse a diferentes situaciones, lo que normalmente requiere la intervención humana.

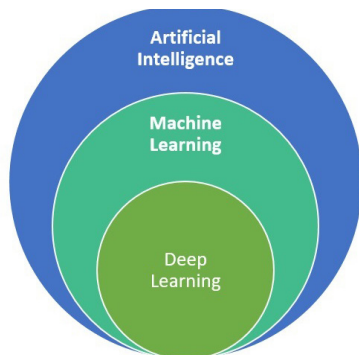
La IA como disciplina no es nueva y la investigación sobre ella se ha desarrollado a lo largo de más de cincuenta años.

La primera aproximación a la IA fue la de los sistemas basados en reglas (también denominados sistemas expertos), los cuales funcionan con reglas y lógica predefinidas, es decir, instrucciones explícitas, para tomar decisiones y realizar tareas.

Para superar las limitaciones de los sistemas expertos, principalmente la necesidad de un conjunto de definiciones muy detallado y exhaustivo para cada dominio de aplicación, se desarrolló un enfoque más flexible y evolucionado, el aprendizaje automático (*machine learning*, ML).

El ML consiste en entrenar un modelo sobre los datos para que reconozca patrones y haga predicciones o tome decisiones sin estar explícitamente programado. La fase de entrenamiento puede ser supervisada, es decir, con intervención humana, o no supervisada.

Un subconjunto del aprendizaje automático y su evolución posterior es el aprendizaje profundo (*deep learning*, DL).



**Figura 6. Inteligencia artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Fuente: Nadia Berchane, M2 IESCI, 2018**

El DL utiliza redes neuronales con múltiples capas (redes neuronales profundas) para analizar y aprender de los datos. En la red neuronal, las dos fases, de entrenamiento a partir de los datos y de definición del modelo, se producen al mismo tiempo, a costa, eso sí, de una mayor potencia de cálculo, un mayor conjunto de datos de entrada y un periodo de aprendizaje más largo.

En comparación con los sistemas expertos, los enfoques de aprendizaje automático (y aprendizaje profundo) requieren menos estructura: simplificando al extremo, introducimos datos en la máquina y vemos qué conclusiones obtiene.

En otras palabras, los algoritmos de *machine learning* tienen una característica peculiar: superan el paradigma de programación estándar, ya que el programador no tiene que pensar en todas las eventualidades en las que se puede encontrar la máquina para hacerla actuar en diferentes situaciones. La máquina, en cambio, se entrena y, por tanto, se vuelve capaz de adaptarse por sí misma a diferentes contextos, adquiriendo cierta autonomía y mostrando algunos comportamientos que se asemejan a la inteligencia de un ser humano.

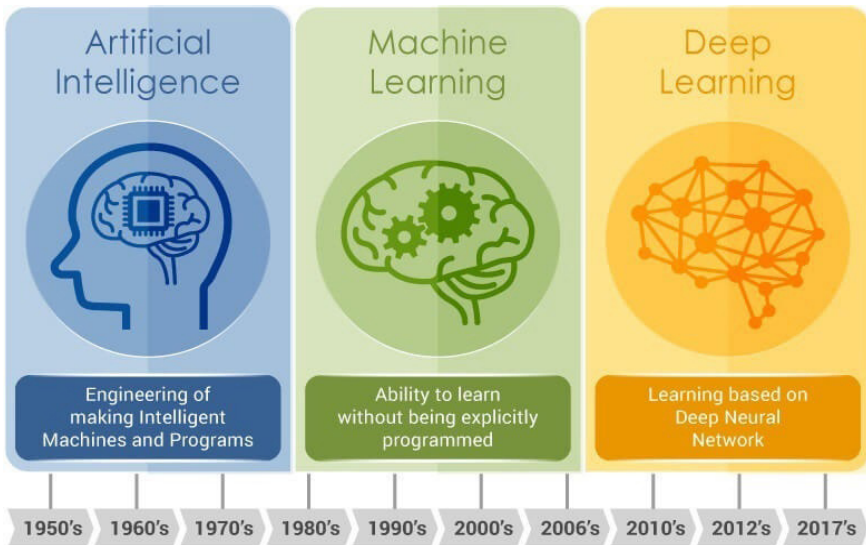


Figura 7. Evolución de la IA. Fuente: Edge ai+visión Alliance. Disponible en: <https://www.embedded-vision.com>

Las aplicaciones de la IA se están disparando en diversos sectores, como la sanidad, las finanzas, la educación, la seguridad y la fabricación, entre otros.

Sin embargo, aunque la IA presenta enormes oportunidades de innovación y eficiencia, también plantea problemas éticos y sociales, como el desplazamiento de puestos de trabajo, el sesgo de los algoritmos y cuestiones de privacidad.

#### 4. La IA en el espacio: habilitar la economía espacial

La sinergia dinámica entre la IA y la economía espacial se manifiesta principalmente en cinco sectores diferentes:

1. Operaciones y comunicaciones por satélite.
2. Robótica y exploración espaciales.
3. Análisis de datos en tiempo real y fuera de línea.
4. Diseño, pruebas y adquisición de naves espaciales.
5. Seguridad.

En los párrafos siguientes se analizará en detalle cada uno de los sectores.

##### 4.1. Operaciones y comunicaciones por satélite impulsadas por la IA

La IA está dotando a los satélites, más que nunca, de la capacidad de gestionar de forma autónoma diversas tareas, desde los ajustes de órbita hasta la evitación de colisiones y la transmisión de datos.

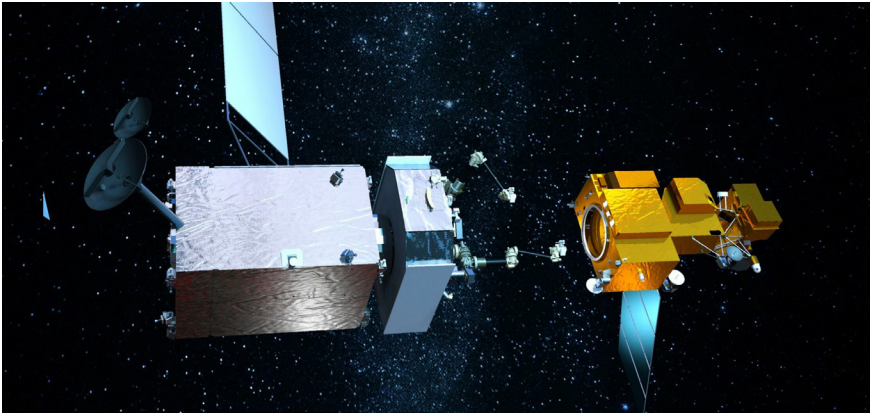
La IA ha revolucionado las operaciones por satélite, haciéndolas más ágiles, adaptables y resistentes. Los procesos autónomos de toma de decisiones son el núcleo de esta transformación. Los satélites están ahora equipados con algoritmos de IA que les permiten realizar multitud de tareas con una intervención humana mínima, por ejemplo, ajustes de órbita, evitación de colisiones y gestión de recursos.

Los algoritmos autónomos de toma de decisiones permiten a las naves espaciales identificar obstáculos, adaptarse a retos imprevistos y navegar por los complejos campos gravitatorios de los cuerpos celestes. Este nivel de autonomía reduce la necesidad de supervisión e intervención humanas constantes, lo que permite realizar misiones más ambiciosas y rentables.

Especialmente eficaz es la adopción de la IA en la optimización de trayectorias. En el espacio, cada gota de combustible importa.

Los algoritmos de IA tienen en cuenta múltiples variables, como las fuerzas gravitatorias, la dinámica orbital y los objetivos de la misión, para calcular las trayectorias más eficientes en términos de consumo de combustible.

Los riesgos de la misión se reducen sustancialmente al aumentar el nivel de conocimiento de la situación en torno a la nave espacial. Las técnicas de IA utilizadas para fusionar datos procedentes de múltiples sensores, como cámaras, radares y espectrómetros, pueden identificar posibles colisiones con otras naves espaciales o desechos espaciales, proporcionando alertas tempranas.



**Figura 8. Nave espacial robótica de mantenimiento, ensamblaje y fabricación en órbita 1 (OSAM-1) basada en IA. Fuente: NASA**

También es necesario un cambio de paradigma cuando se consideran las operaciones en tierra: mientras que la miniaturización de la tecnología ya ha permitido una reducción significativa del coste del segmento espacial, el coste del segmento terrestre no escala con el tamaño y la masa del satélite. Una vez más, la IA puede simplificar los sistemas terrestres y reducir el número de operadores especializados y altamente cualificados que trabajan por turnos las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

El resultado es una infraestructura espacial que funciona eficazmente incluso en los escenarios más complejos y dinámicos.

Además, la IA mejora la propia columna vertebral de las redes de comunicaciones espaciales. La velocidad y eficacia con que se transmiten los datos entre la Tierra y el espacio ha aumentado en los últimos años, debido también a la adopción de tecnologías avanzadas, como las comunicaciones ópticas. Los algoritmos de

IA optimizan la recepción de señales, ajustan los patrones de los haces en tiempo real y asignan los recursos de comunicación de forma inteligente. De este modo se maximiza la velocidad de transmisión de datos, se minimiza la latencia y se mantiene la fiabilidad de la comunicación, incluso ante interferencias o cambios en las condiciones ambientales. Este nivel de sofisticación de las comunicaciones es decisivo para permitir no solo la observación de la Tierra y la investigación científica, sino también servicios críticos como la predicción meteorológica y la conectividad global a internet.

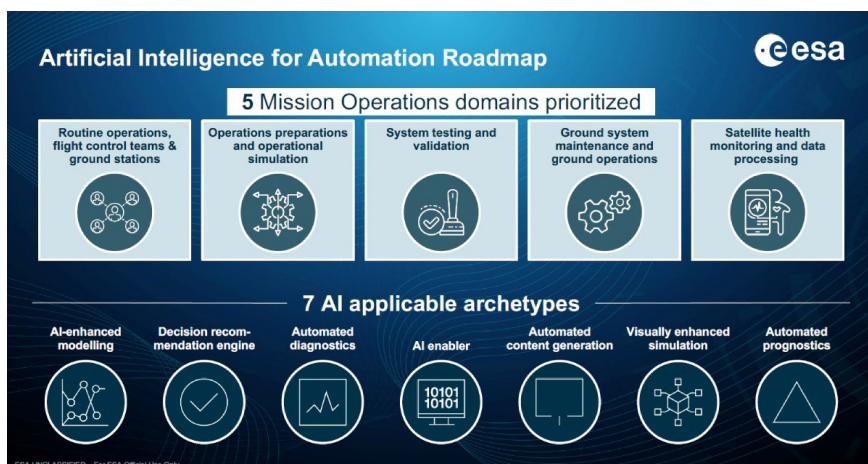


Figura 9. Hoja de ruta de la ESA para la aplicación de la IA a las operaciones de las misiones espaciales. Fuente: ESA

#### 4.2. Avances en la exploración espacial impulsados por la IA

En el campo de la exploración espacial, las aportaciones de la IA son impresionantes.

La exploración espacial requiere niveles muy altos de autonomía y automatización. El control remoto total desde la Tierra es difícil, si no imposible, debido a las estrictas restricciones de las comunicaciones: ventanas de comunicación limitadas, largas latencias de comunicación y ancho de banda limitado. Por ejemplo, una señal de radio tarda entre cinco y veinte minutos en recorrer la distancia entre Marte y la Tierra, dependiendo de la posición de los planetas.

La IA permite a las naves espaciales realizar tareas rutinarias y tomar decisiones sin comunicación constante con la Tierra, reduciendo así la dependencia de las comunicaciones.

Las exploraciones del espacio profundo pueden ser de tres tipos:

- Predecibles (pero a menudo extremadamente complejas).
- Impredecible.
- Que requieren una respuesta en tiempo real.

La navegación autónoma, facilitada por algoritmos de IA, permite a las naves espaciales navegar lejos de la Tierra, aterrizar en cuerpos celestes, afrontar y adaptarse a situaciones inesperadas con un grado de confianza bastante alto.

Las misiones robóticas se benefician enormemente de la IA, ya que permite a los vehículos exploradores y de aterrizaje explorar de forma autónoma las superficies planetarias y realizar tareas complejas como la recogida y el análisis de muestras. Estos robots utilizan la IA para el análisis del terreno, el reconocimiento de objetos y la navegación, lo que les permite tomar decisiones en función de su entorno.

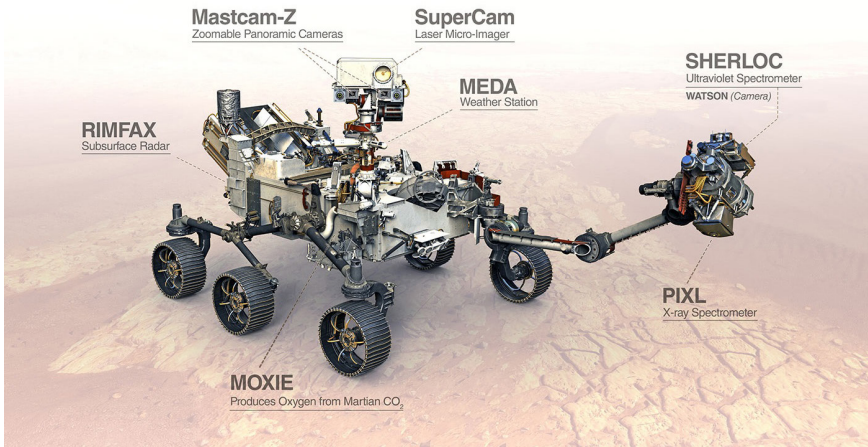


Figura 10. Mars Perseverance Rover de la NASA, basado en IA. Fuente: NASA

Además, el análisis de datos basado en IA acelera el proceso de descubrimiento científico, ya que tamiza el enorme volumen de datos recogidos durante las misiones y ayuda a los científicos a descifrar los fenómenos cósmicos.

La IA también ha dejado su huella en el ámbito de la utilización de recursos y la sostenibilidad. A través de la utilización de recursos *in situ* (ISRU), la IA desempeña un papel vital en la extracción y el procesamiento de recursos en los cuerpos celestes, desbloqueando potencialmente una gran cantidad de recursos

para futuras misiones a la Luna, Marte y más allá. Esto es fundamental para mantener a largo plazo los esfuerzos de exploración y colonización humana en el espacio.

El concepto de utilización de recursos *in situ* (ISRU) está a la vanguardia de estos avances. La robótica y las tecnologías mineras impulsadas por la IA están a punto de revolucionar la extracción de recursos en los cuerpos celestes, proporcionando potencialmente las materias primas necesarias para la exploración y la habitación humana a largo plazo. La Luna y Marte, con su abundancia de recursos, son objetivos privilegiados para la ISRU.

#### 4.3. IA y análisis de datos espaciales

La inteligencia artificial muestra todo su potencial como herramienta de procesamiento y análisis de datos de teledetección por satélite.

La observación de la Tierra por satélite ya se basaba, en gran medida, en técnicas de tratamiento digital de imágenes para analizar datos procedentes, por ejemplo, de sensores ópticos o de radar de apertura sintética (SAR), pero la fotointerpretación, la fase del proceso que más valor añadido aporta, seguía siendo terreno de la experiencia humana hasta hace pocos años.

Las técnicas de IA hacen posible una «Integración y Fusión de Datos» eficaz, es decir, la integración de datos procedentes de múltiples sensores de satélite y la combinación de datos de satélite con observaciones terrestres u otras fuentes, mejorando la precisión y pertinencia de la información extraída de las imágenes de satélite.

El tratamiento de datos de satélite con técnicas de IA permite extraer información de forma más eficaz y precisa y analizar los datos casi en tiempo real, lo que abre nuevas aplicaciones en diversos campos, como:

- Reconocimiento y clasificación de imágenes, donde se emplean algoritmos de IA para identificar y clasificar objetos, características y patrones en imágenes de observación de la Tierra, incluida la identificación automática de tipos de cobertura del suelo, zonas urbanas, vegetación, masas de agua y cambios a lo largo del tiempo.
- Detección de cambios y anomalías, es decir, detección de cambios en la superficie terrestre a lo largo del tiempo. Comparando imágenes de satélite u otros datos de obser-



vacación de la Tierra en distintos momentos, los modelos de aprendizaje automático pueden identificar cambios como la deforestación, la expansión urbana, los cambios en el uso del suelo, los efectos de catástrofes naturales, o identificar sucesos como vertidos de petróleo, incendios forestales o condiciones medioambientales anómalas que pueden requerir atención inmediata.

- Cartografía de la cubierta terrestre, para crear mapas detallados de la cubierta y el uso del suelo. Los algoritmos de IA pueden clasificar los tipos de ocupación del suelo en imágenes de satélite, distinguiendo entre categorías como bosques, zonas urbanas, masas de agua y tierras agrícolas. Esta información es crucial para la vigilancia del medio ambiente, la gestión de los recursos, la ordenación del territorio y la planificación urbana, la gestión del transporte y el seguimiento de las actividades humanas. Además, las mismas técnicas ayudan a detectar y analizar cambios en el medio ambiente a lo largo del tiempo, como la deforestación, la expansión urbana o las alteraciones en las masas de agua.
- Supervisión de cultivos y agricultura de precisión: en este caso, la IA se aplica a la supervisión y gestión de las actividades agrícolas. Los datos de satélites y drones, combinados con algoritmos de aprendizaje automático, permiten una agricultura de precisión al proporcionar información sobre la salud de los cultivos, predecir el rendimiento y optimizar la asignación de recursos.
- Investigación atmosférica y climática, donde la IA se utiliza en el análisis de datos atmosféricos y climáticos obtenidos de satélites de observación de la Tierra, lo que permite una vigilancia medioambiental eficaz y con capacidad de respuesta.



Figura 11. Aprendizaje profundo para imágenes de satélite.  
Fuente: Deepsense.ai

#### 4.4. Diseño, pruebas y adquisición de IA y naves espaciales

La IA extiende su influencia al diseño y las pruebas de las naves espaciales, así como a la adquisición de piezas de la cadena de suministro de los subcontratistas, lo que contribuye a aumentar la eficacia, la rentabilidad y la innovación.

El diseño generativo, basado en algoritmos de IA, puede explorar numerosas posibilidades de diseño y optimizar los componentes de las naves espaciales en función de objetivos y restricciones predefinidos. Por ejemplo, aplicada a las estructuras de las naves espaciales, la IA puede optimizar su diseño, mejorando la integridad estructural y minimizando al mismo tiempo el peso y el coste.

La simulación basada en IA se utiliza para simular y modelar distintos aspectos del diseño de naves espaciales, como el análisis térmico, la integridad estructural, la compatibilidad electromagnética (CEM) y la aerodinámica. Esto permite a los ingenieros predecir y optimizar el comportamiento de las naves espaciales en diversas condiciones. En términos más generales, la IA simplifica el desarrollo de «gemelos digitales», modelos digitales sofisticados y completos que pueden utilizarse para simular el comportamiento de una nave espacial en una misión fuera de la Tierra en la seguridad y comodidad de un centro de control de misión.

Una fase esencial, pero tradicionalmente larga y costosa, del proceso de desarrollo de una nave espacial es la de las pruebas y la validación.

El competitivo entorno comercial de la nueva economía espacial exige que los productos estén en el mercado en el momento y al precio adecuados. Para lograr este objetivo es necesario reducir los plazos de desarrollo y despliegue.

Por otra parte, la realización de grandes constelaciones de satélites para comunicaciones móviles o multimedia exige producir un gran número de naves espaciales en un plazo notablemente breve. Los conceptos tradicionales de producción espacial ya no son adecuados para satisfacer los requisitos de estos proyectos innovadores.

Es necesario un cambio de paradigma en la forma de diseñar y producir satélites, con el objetivo de ofrecer un producto mejor

y más flexible, a menor coste y en menos tiempo (el *Time-to-Market* es el rey).

En cuanto a los métodos de ensamblaje, integración y pruebas/verificación (AIT/AIV), se requiere un estilo de producción en cadena, junto con instalaciones de producción expresamente diseñadas para la fabricación en serie.

Aquí la IA viene al rescate, contribuyendo a la automatización de los procesos de prueba, lo que permite la evaluación rápida y completa de los componentes y sistemas de las naves espaciales. Esto incluye pruebas funcionales, pruebas de estrés y pruebas de rendimiento, garantizando la fiabilidad antes del lanzamiento.

Además, durante las pruebas, la IA puede detectar anomalías o comportamientos inesperados en los sistemas de las naves espaciales. Esta detección temprana ayuda a los ingenieros a resolver los problemas con prontitud y mejora la fiabilidad general de la nave espacial.

La IA se está aplicando eficazmente a la evolución de los subsistemas a bordo de un objeto espacial (por ejemplo, un satélite). Un ejemplo representativo es el de los sistemas autónomos de vigilancia de naves espaciales.

Los sistemas de monitorización de la salud de las naves espaciales (HM), también denominados sistemas FDIR (*Fault, Detection, Isolation, and Recovery*), son esenciales para alcanzar los objetivos de disponibilidad, fiabilidad y seguridad de las naves espaciales.

La tecnología anterior se basaba en el conocimiento experto, que verificaba si los valores de telemetría estaban dentro de unos límites predefinidos o se salían de ellos (técnica *Out-of-Limits*, OOL).

En comparación con los sistemas expertos, los FDIR basados en IA pueden aprender continuamente de nuevos datos y experiencias, mejorando con el tiempo las capacidades de detección y recuperación de fallos. La IA puede integrar el conocimiento del dominio y las reglas expertas con los nuevos datos recopilados a lo largo de la vida operativa y, a continuación, emplear el razonamiento de diagnóstico para determinar la causa raíz de un fallo. Esto puede ser especialmente útil en sistemas complejos en los que la relación entre los síntomas y las causas profundas no siempre es directa.

#### 4.5. IA y seguridad de los sistemas espaciales

La IA desempeña un papel importante en la mejora de la seguridad de los sistemas espaciales.

A medida que evoluciona la tecnología, los sistemas espaciales se hacen más complejos, interconectados y vulnerables a diversas amenazas.

Las tecnologías espaciales, con su papel en la localización y la temporización, la teledetección y las comunicaciones, son esenciales en la prestación de servicios digitales a escala mundial y vitales para el rendimiento y la supervivencia de nuestras infraestructuras críticas. Por estas razones, los sistemas espaciales deben estar garantizados y protegidos contra ataques intencionados y no intencionados, en términos de confidencialidad, disponibilidad, integridad, continuidad y calidad de servicio.

La convergencia entre defensa y espacio era ya uno de los temas más debatidos en todo el mundo.

La guerra de Ucrania ha demostrado dramáticamente con toda su evidencia que las preocupaciones y disposiciones en materia de seguridad deben extenderse a todos los activos espaciales. La percepción comúnmente compartida es que el espacio corre el riesgo de convertirse en el escenario de una futura guerra, si no lo ha sido ya.

Además de los ciberataques, dirigidos principalmente contra las infraestructuras del segmento terreno (centros de control, estaciones terrestres de control, instalaciones de lanzamiento), hoy en día son posibles varias amenazas físicas, que van desde las «armas antisatélite de energía cinética» hasta las «armas de energía directa» y las interferencias de radiofrecuencia.

Un arma antisatélite cinética puede ser un misil lanzado desde la Tierra al espacio hasta interceptar un satélite ya en órbita y destruirlo por impacto, o un satélite «asesino» que se pone en órbita y permanece allí a la espera de ser utilizado, modificando su órbita.

En ambos casos, a un ataque de «energía cinética», basado en el impacto físico con un satélite «objetivo» y su destrucción, le sigue también la consecuencia inevitable de la producción de «desechos», que siguen permaneciendo en órbita, aumentando la ya preocupante cantidad de basura espacial alrededor de la Tierra.



Figura 12. Ataque físico cinético antisatélite (A-SAT) de ascenso directo. Fuente: Centro de Estudios Estratégicos e Internacionales

Las armas de energía directa suelen dirigirse contra activos en órbita y pueden realizarse como rayos láser de alta energía o haces de radiofrecuencia generados en tierra, capaces de «cegar» satélites y dañar sus equipos electrónicos. También pueden generarse «destellos» destructivos de energía de radiofrecuencia mediante la explosión de pequeñas bombas nucleares en la ionosfera (pulso electromagnético, EMP).

La integración de la IA en la seguridad de los sistemas espaciales podría llegar a ser esencial para garantizar la resistencia y la protección de estos sistemas frente a una amplia gama de



Figura 13. Panorama de las amenazas de la IA. Fuente: Agencia de Ciberseguridad de la Unión Europea - ENISA

amenazas intencionadas y no intencionadas, incluidos los ciberrataques, los accesos no autorizados, los ataques físicos y los peligros medioambientales.

Un ámbito clave en el que la IA puede aportar una mejora sustancial es el de la detección y el análisis de amenazas.

Los algoritmos de IA pueden analizar grandes conjuntos de datos para identificar anomalías o patrones inusuales que puedan indicar una amenaza para la seguridad. Esto es especialmente importante para detectar accesos no autorizados o posibles ciberrataques contra sistemas espaciales. Además, los sistemas de IA pueden reconocer patrones asociados a actividades maliciosas, ayudando a detectar y responder a incidentes de seguridad con mayor rapidez y eficacia.

En lo que respecta a la ciberseguridad, los algoritmos de IA ayudan a identificar vulnerabilidades en el *software* y la infraestructura de red del sistema espacial. Esto permite tomar medidas proactivas para abordar las debilidades potenciales antes de que puedan ser explotadas. La IA también se utiliza para desarrollar sistemas avanzados de detección y prevención de intrusiones, que pueden identificar y neutralizar ciberrataques en tiempo real.

En el segmento espacial, la IA mejora, en primer lugar, el conocimiento de la situación espacial. Como ya se ha mencionado, la IA puede rastrear eficazmente los objetos espaciales, predecir sus trayectorias e identificar posibles colisiones o anomalías. Esto es crucial para evitar colisiones en entornos orbitales abarrotados, pero también posibles ataques cinéticos.

En términos más generales, los sistemas de IA embarcados pueden programarse para responder de forma autónoma a las amenazas a la seguridad, minimizando el tiempo de respuesta y reduciendo el riesgo de error humano. Estos sistemas pueden adaptarse a la evolución de las amenazas, aprendiendo y actualizando continuamente sus mecanismos de defensa. Esta adaptabilidad es esencial para adelantarse a las ciberamenazas sofisticadas.

Una última aportación de la IA a la seguridad espacial, aunque no por ello menos importante, es su contribución al desarrollo de protocolos de comunicación seguros, técnicas de cifrado y mecanismos de autenticación para proteger la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos entre sistemas espaciales.

La IA puede emplearse para desarrollar y mejorar algoritmos de cifrado, incluidas técnicas criptográficas avanzadas, y para establecer sistemas de gestión de claves que adapten dinámicamente las claves de cifrado, dificultando así que los adversarios comprometan la seguridad de los canales de comunicación por satélite.

## 5. Implicaciones geopolíticas de la IA en el espacio

La integración de la inteligencia artificial (IA) en las actividades espaciales es más que un avance tecnológico, es una fuerza revolucionaria con implicaciones que van más allá de las oportunidades económicas, pues conlleva profundas implicaciones geopolíticas. A medida que las naciones y organizaciones aprovechan el poder de la IA en el ámbito espacial, no solo están configurando el futuro de la exploración espacial, sino también redefiniendo el equilibrio de poder mundial, desencadenando la competencia y necesitando nuevos enfoques diplomáticos y normativos.

Entre las consideraciones geopolíticas que exigen atención, la seguridad nacional es una preocupación primordial.

Los activos espaciales mejorados con IA desempeñan un papel vital en la vigilancia, el reconocimiento y las comunicaciones militares. Garantizar la seguridad de estos activos se convierte en una prioridad, lo que exige medidas de protección frente a posibles amenazas.

Las naciones están aprovechando la IA para la vigilancia y el reconocimiento desde el espacio. Los sistemas de IA pueden analizar grandes cantidades de datos procedentes de satélites y proporcionar información sobre posibles amenazas a la seguridad.

Aparte del uso en tiempo real o casi real de las imágenes de satélite, la IA puede ayudar a extraer enormes archivos de imágenes, a menudo de código abierto, recopilados a lo largo de los años (por ejemplo, las bases de datos de constelaciones de Copérnico, disponibles gratuitamente para todos los usuarios potenciales). La situación se asemeja, en cierto modo, a descubrir y traducir textos antiguos en latín y griego, copiados a mano por monjes medievales y conservados durante siglos en las bibliotecas de los monasterios.

Esta revisión de las imágenes satelitales históricas contribuirá a vigilar las zonas de conflicto y las regiones fronterizas, detectando cambios en el terreno, las infraestructuras o las actividades

militares, pero también a descubrir recursos naturales (minerales, petróleo, gas) o explotar nuevos servicios orientados al usuario.

No hay que subestimar el cambio potencial en el poder económico provocado por la IA, que permitirá a los países emergentes competir con las economías establecidas en determinados sectores, de los que estaban excluidos por falta de acceso al espacio. Al desarrollar capacidades autóctonas de IA, los países emergentes pueden reducir su dependencia de tecnologías extranjeras y reforzar su soberanía tecnológica.

En el plano político, el espacio vuelve a ser, como en los años sesenta, el campo de batalla de la competencia y las rivalidades entre las naciones que realizan actividades espaciales. El desarrollo y despliegue de la IA en la exploración espacial contribuyen al liderazgo tecnológico de una nación, mejorando su estatus en la comunidad espacial mundial.

Estados Unidos y China están inmersos en una competitiva carrera espacial, en la que ambas naciones invierten grandes sumas en tecnologías de IA para la exploración del espacio, las operaciones por satélite y las capacidades basadas en el espacio.

Los países de la Unión Europea, colectivamente, a través de la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Agencia de la Unión Europea para el Programa Espacial (EUSPA), y a nivel de agencias espaciales nacionales individuales, están llevando a cabo, de manera activa, iniciativas espaciales impulsadas por la IA. Cabe mencionar, a modo de ejemplo, el programa Copernicus, que utiliza la IA para el análisis de datos procedentes de satélites de observación de la Tierra.

Otros países, como Rusia, con su larga y gloriosa tradición espacial, e India, Japón, Corea del Sur y los Emiratos Árabes Unidos (EAU) también están invirtiendo en iniciativas espaciales impulsadas por la IA.

Las empresas espaciales privadas, en particular las de Estados Unidos (por ejemplo, SpaceX, Blue Origin), están contribuyendo sustancialmente al desarrollo de iniciativas espaciales impulsadas por la IA, a menudo liderando la innovación.

Aunque la competencia es evidente, tanto a nivel nacional como privado, también hay casos de colaboración internacional en iniciativas espaciales impulsadas por la IA.

La diplomacia desempeñará un papel cada vez más importante en la gobernanza del espacio: las naciones y los consorcios



industriales se embarcan en misiones complejas, comparten trayectorias orbitales y pretenden explotar recursos fuera de la Tierra, por lo que la necesidad de normas, directrices y acuerdos claros adquiere gran importancia.

Es necesaria una nueva gobernanza espacial, con acuerdos internacionales y marcos de gobernanza que regulen las tecnologías espaciales de la IA en sectores controvertidos, como la gestión del tráfico espacial, la reducción de los desechos orbitales y la asignación del espectro.

Hasta ahora, el único derecho internacional que rige las actividades espaciales y proporciona algunos principios éticos y jurídicos generales es el Tratado sobre el Espacio Exterior (TES) de las Naciones Unidas.

El Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre, formalmente conocido como *Tratado sobre los Principios que Deben Regir las Actividades de los Estados en la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre, incluso la Luna y otros Cuerpos Celestes*, fue adoptado por la Asamblea General de las Naciones Unidas y abierto a la firma el 27 de enero de 1967, y entró en vigor el 10 de octubre de 1967.

En síntesis, el TSO prohíbe el uso de recursos espaciales en conflictos bélicos; promueve la cooperación y el uso pacífico del espacio en beneficio de toda la humanidad; prescribe evitar la contaminación nociva del espacio y los cuerpos celestes y los cambios adversos en el medio ambiente de la Tierra; busca la coordinación de las actividades espaciales entre los Estados.

Algunas recomendaciones del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre son, sin embargo, obsoletas y corren el riesgo de ser superadas en la práctica por los hechos. Un ejemplo es la recomendación de que la Luna y otros cuerpos celestes no sean objeto de apropiación nacional por ningún medio, lo que contrasta evidentemente con los proyectos de minería comercial ya previstos, destinados a extraer y procesar materias primas en los asteroides.

También es necesaria una mayor gobernanza del espacio a escala internacional y nacional tras la creación de fuerzas espaciales o comandos espaciales dentro de los países, como respuesta a la evolución de la importancia estratégica del espacio y al reconocimiento de que las capacidades espaciales son fundamentales para la seguridad nacional. Varios países, como Estados Unidos,

China, Rusia, Reino Unido, Francia, Brasil y Japón, han creado entidades militares o de defensa dedicadas a las operaciones espaciales.

En el ámbito comercial, Estados Unidos cuenta con la *Commercial Space Launch Act*, aprobada originalmente en 1984 y modificada desde entonces, una ley que otorga al Departamento de Transporte de Estados Unidos la supervisión reguladora de los vuelos espaciales comerciales, indemniza a las empresas por grandes daños a terceros e informa las regulaciones para los vuelos espaciales humanos comerciales. En 2015, también se aprobó la Ley de Competitividad del Lanzamiento Espacial Comercial de EE. UU., diseñada para fomentar los vuelos espaciales comerciales y la innovación. Por cierto, esta ley concede a las empresas privadas el derecho a poseer los recursos recogidos en el espacio, como los materiales procedentes de la minería de asteroides, lo que contrasta de forma evidente con el Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas.

Recientemente, el 23 de enero de 2024, durante la Conferencia Espacial Europea, funcionarios de la Comisión Europea anunciaron que están preparando la publicación, para marzo de 2024, de un borrador de la primera Ley Espacial Europea Completa.

Con el objetivo de construir un verdadero mercado único espacial en la UE, la ley debería ayudar a armonizar el actual «régimen espacial muy diverso» dentro de la UE, donde once Estados miembros tienen sus propias leyes nacionales sobre el espacio. La legislación propuesta se centrará en tres ámbitos: seguridad, resistencia y sostenibilidad, pero es probable que también contenga disposiciones sobre el uso de la inteligencia artificial en el espacio.

## 6. Conclusión

De lo expuesto hasta ahora se desprende que la IA, como en todos los demás ámbitos de nuestra sociedad, tiene el potencial de influir radicalmente en el futuro de las actividades espaciales y de convertirse en un poderoso catalizador de profundos cambios geopolíticos en la economía espacial.

A medida que las naciones aprovechan cada vez más las capacidades de la IA para la exploración espacial, las operaciones de satélites y los esfuerzos estratégicos, han surgido nuevas oportunidades de competencia, colaboración e innovación que refuerzan aún más el progreso de la nueva economía espacial.

Es probable que las naciones con capacidades avanzadas de IA obtengan una ventaja estratégica, no solo en la exploración del cosmos, sino también a la hora de asegurar sus intereses nacionales mediante capacidades espaciales mejoradas. La confluencia de la IA y las tecnologías espaciales está remodelando la dinámica de poder tradicional y fomentando una nueva carrera espacial en la que la destreza tecnológica en IA podría convertirse en sinónimo de influencia geopolítica.

Las implicaciones geopolíticas de la IA son aún más evidentes a nivel estratégico. A medida que el espacio se militariza cada vez más, la importancia estratégica de proteger los activos espaciales mediante tecnologías basadas en la IA adquiere una importancia capital. Las naciones están invirtiendo mucho en conocimiento de la situación espacial, ciberseguridad y sistemas autónomos para proteger su infraestructura espacial. El desarrollo y el despliegue de la IA en este contexto contribuyen a un creciente dominio de la seguridad nacional que se extiende más allá de las fronteras terrestres.

Junto a las numerosas ventajas, la IA también plantea muchas dudas e introduce nuevos riesgos potenciales, incluso en las actividades espaciales.

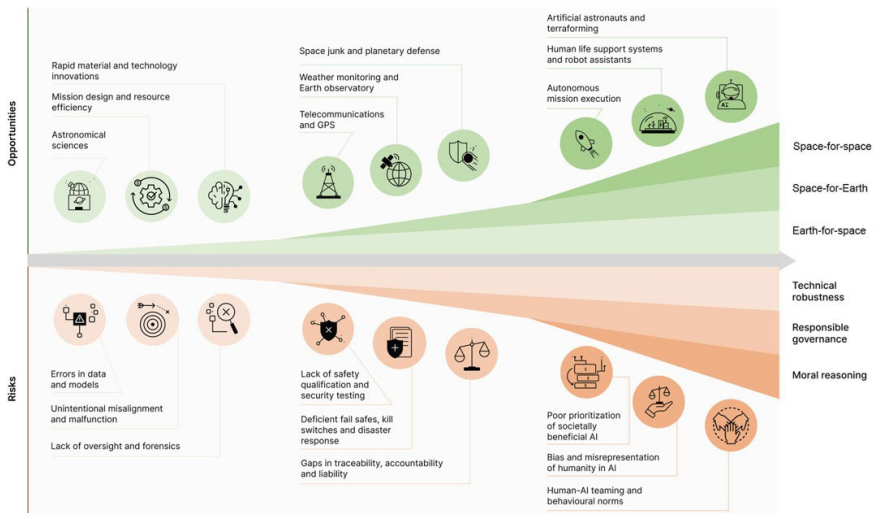


Figura 14. IA en el espacio: riesgos y oportunidades. Fuente: Frontiers. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/frspt.2023.1199547>

El principal problema de los sistemas basados en la IA es que corren el riesgo de convertirse en «cajas negras», sistemas de los que podemos conocer los datos a la entrada y los resultados

o decisiones consiguientes, sin ninguna o poca visibilidad sobre el proceso decisorio. En esta situación, también es difícil, si no imposible, validar un proceso y corregir sus errores, o mejorarlo, porque el diagnóstico de un problema es difícil de realizar. Como consecuencia, esta falta de transparencia podría disminuir la confianza en los sistemas basados en IA, sobre todo en aplicaciones como las espaciales, donde la seguridad, la fiabilidad y la responsabilidad son esenciales, lo que plantea problemas éticos y normativos.

En términos más generales, la necesidad de explicabilidad en la IA es crucial en todas las aplicaciones en las que las decisiones afectan a las personas o a la sociedad en general.

Para arrojar algo de luz sobre el proceso de toma de decisiones de los algoritmos de IA, se está desarrollando la XAI.

XAI son las siglas de *Explainable Artificial Intelligence* (Inteligencia Artificial Explicable). Se refiere a un conjunto de técnicas y enfoques en inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (AM) que pretenden hacer que los procesos de toma de decisiones de los sistemas de IA sean más comprensibles e interpretables por los humanos.

La XAI se centra en desarrollar modelos de IA que produzcan resultados fácilmente comprensibles e interpretables por los humanos, haciendo más transparente el funcionamiento interno del sistema de IA.

Los futuros marcos reguladores del espacio tendrán que incluir requisitos legales de transparencia y explicabilidad en los procesos de toma de decisiones, especialmente cuando los sistemas de IA afecten a la vida de las personas, a grandes responsabilidades económicas y a grandes riesgos financieros.

En general, el mayor riesgo asociado a la IA procede de sobreestimar sus potencialidades o de subestimarlas.

Los sistemas de IA nunca serán una alternativa completa al pensamiento humano: son como «sabios idiotas», con capacidades y habilidades fabulosas, derivadas del entrenamiento y el procesamiento de cantidades masivas de datos.

Van a cambiar radicalmente nuestras vidas, nuestra sociedad y el escenario geopolítico, en la Tierra y en el espacio, pero, como cualquier otra herramienta tecnológica, depende de nosotros utilizarlas sabiamente y mantenerlas bajo control.

## Bibliografía

- Agencia Espacial Europea. (2018). *Artificial intelligence for autonomous space missions*. [Consulta: 2024]. Disponible en: [https://www.esa.int/Applications/Technology\\_Transfer/AIKO\\_Artificial\\_Intelligence\\_for\\_Autonomous\\_Space\\_Missions](https://www.esa.int/Applications/Technology_Transfer/AIKO_Artificial_Intelligence_for_Autonomous_Space_Missions).
- Agencia Espacial Europea. (2022). *Artificial intelligence in space*. [Consulta: 2024]. Disponible en: [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Preparing\\_for\\_the\\_Future/Discovery\\_and\\_Preparation/Artificial\\_intelligence\\_in\\_space](https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Artificial_intelligence_in_space).
- Boden, M. A. (s.f.). *Artificial Intelligence, a very short introduction*. Oxford University Press.
- Carter, M. (s.f.). *Minds and computers*. Edinburgh University Press.
- Cinelli, I. (2020). The Role of Artificial Intelligence (AI) in Space Healthcare. *Aerospace Medicine and Human Performance*. Asociación Médica Aeroespacial. Vol. 91, n.º 6, pp. 537-539(3).
- Copeland, B. J. (2024). Artificial intelligence. *Enciclopedia Británica*. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>.
- Fourati, F. y Alouini, M. (2021). *Artificial Intelligence for Satellite Communication: A Review*. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.10899>
- Gal, G. A. et al. (2020). *Artificial intelligence in space*. ArXiv.
- Garanhel, M. (2022). *AI applications in space exploration*. AI Accelerator Institute.
- Hays, D. (2023). *AI Revolution in the New Space Economy: Transforming Business Strategies*.
- Ieracitano, C. et al. (2022). *The use of artificial intelligence for space applications*. Springer.
- Mazzolin, R. (2020). Artificial Intelligence and Keeping Humans «in the Loop». En: *Modern conflict and artificial intelligence*. Centre for International Governance Innovation.
- Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas. (2022). *Space Law Treaties and Principles*. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://www.unoosa.org/oosa/en/our-work/spacelaw/treaties.html>
- Pandya, J. (2019). Geopolitics of artificial intelligence. *Forbes*.
- Reiss, L. (2023). *4 Geopolitical Risks of the Rise of Artificial Intelligence (AI) for the Global Security*. Informe Atlas.

- Richards, C. E. *et al.* (2023). *Safely advancing a spacefaring humanity with artificial intelligence*. *Frontiers in Space Technologies*.
- Suess, J. (2019). *Jamming and cyberattacks: How space is being targeted in Ukraine*. Londres, Reino Unido. Royal United Services Institute.
- Taulli, T. (2019). *Artificial intelligence basics*. *Apress*.
- Weinzierl, M. y Sarang, M. (2021). The comercial space age is here. *HarvardBusinessReview*. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://hbr.org/2021/02/the-commercial-space-age-is-here,%202021>.