

Inteligencia Artificial en el espacio:

un catalizador para el desarrollo de la Nueva Economía Espacial

Por:

Doctor Ingeniero Marco Lisi

Ministerio de Asuntos Exteriores Italiano,
junta directiva de la Agencia Espacial Italiana.

RESUMEN

Este artículo investiga la intersección de la Inteligencia Artificial (IA) con la economía espacial y sus profundas implicaciones geopolíticas. La inteligencia artificial está impulsando cada vez más las misiones espaciales, las redes de satélites y la utilización de recursos, remodelando así el panorama global de la industria espacial.

Los avances hechos posibles por la IA, están impulsando las oportunidades económicas y la competencia entre naciones en sectores relacionados con el espacio y los efectos geopolíticos resultantes. Desde los servicios satelitales hasta la exploración lunar y marciana, la IA está preparada para convertirse en una fuerza impulsora que dé forma al equilibrio de poder en el ámbito espacial, convirtiéndolo en un tema fundamental para los encargados de formular políticas, los estrategas y los líderes de la industria.

La Inteligencia Artificial está desempeñando un papel esencial a la hora de abrir un nuevo panorama a las actividades espaciales, lo que comúnmente se conoce como la Nueva Economía Espacial. Esta tecnología se ha integrado perfectamente en diversos aspectos de las actividades espaciales, convirtiéndose en un catalizador de cambios sin precedentes en la economía espacial.

Las naciones, organizaciones e industrias están aprovechando cada vez más la inteligencia artificial para mejorar las operaciones de los satélites, procesar macrodatos recopilados 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.

Palabras clave: Economía Espacial, democratización, desarrollo, Inteligencia Artificial, tecnología.

ABSTRACT

This article investigates the intersection of Artificial Intelligence (AI) with the space economy and its profound geopolitical implications. Artificial intelligence is increasingly driving space missions, satellite networks and resource management, thereby reshaping the global landscape of the space industry.

The advances made possible by AI are driving economic opportunities and competition between nations in space-related sectors and the resulting geopolitical effects. From satellite services to lunar and Mars exploration, AI is poised to become a driving force shaping the balance of power in space, making it a critical topic for policy-makers, strategists and leaders. of the industry.

Artificial Intelligence is playing an essential role in opening a new landscape for space activities, what is commonly known as the "New Space Economy." This technology has been seamlessly integrated into various aspects of space activities, becoming a catalyst for unprecedented changes in the space economy.

Nations, organizations and industries are increasingly leveraging artificial intelligence to improve satellite operations, process "big data" collected from space, improve spacecraft design and revolutionize space exploration. At the same time, AI introduces geopolitical dynamics that are profoundly reshaping the geopolitical landscape of space activities.

Keywords: Space Economy, democratization, development, Artificial Intelligence, technolog

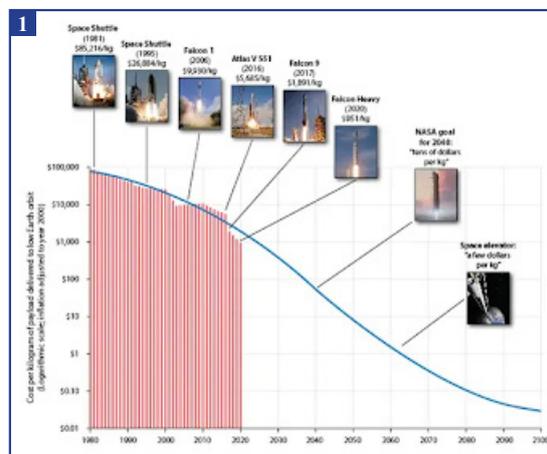
La Nueva Economía Espacial

La Nueva Economía Espacial (“New Space Economy”, NSE), también conocida como Espacio 4.0, es un término que hace referencia a la comercialización y democratización de la exploración espacial. Se trata de cerrar la brecha entre la exploración espacial y la inversión de capital de riesgo, de modo que esta nueva economía abra oportunidades para que entidades privadas inviertan y hagan negocios en actividades espaciales.

Tradicionalmente, la exploración espacial era dominio exclusivo de las agencias espaciales gubernamentales, impulsada por las ambiciones de las superpotencias y por la búsqueda de conocimiento científico, pero en las últimas décadas se ha visto un cambio hacia una mayor comercialización. Este cambio está impulsado en gran medida por los avances tecnológicos que han reducido el costo de acceso al espacio y reducido el tamaño y la masa de los satélites (pequeños, micro y nanosatélites, o CubeSats), lo que hace factible la participación de empresas privadas.

A modo de ejemplo, en los últimos años los costos de los lanzamientos pesados a la órbita terrestre baja (LEO) han caído de 65.000 dólares por kilogramo a 1.500 dólares por kilogramo (en dólares de 2021), una disminución de más del 95%.

Costo por kilogramo de carga útil entregada a la órbita terrestre baja

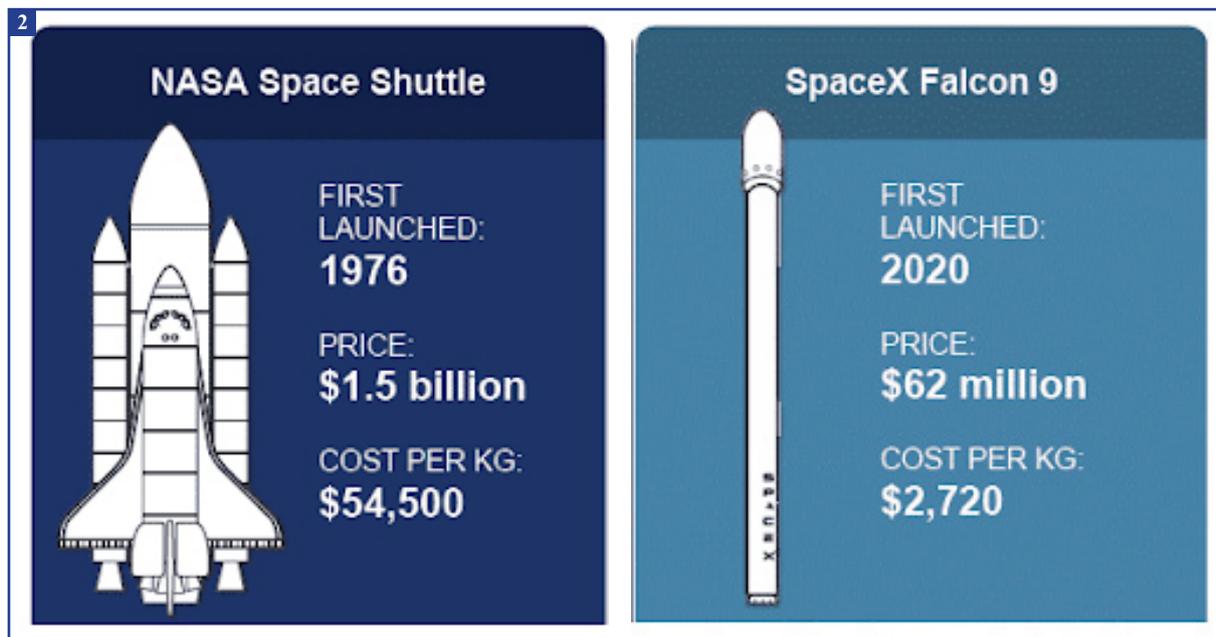


(Fuente: FutureTimeline.net, 2018)

Esta espectacular reducción de costos ha ido de la mano con el surgimiento de nuevos proveedores de lanzamientos comerciales (por ejemplo, SpaceX) que priorizan la eficiencia y han desarrollado componentes reutilizables para vehículos de lanzamiento.

En lo que respecta al hardware, el diseño asistido por computadora, la impresión 3D y otras innovaciones (incluida la misma inteligencia artificial) han ayudado a reducir costos al simplificar el proceso de fabricación y mejorar las cadenas de suministro.

Reducción de los costes de lanzamiento con lanzadores reutilizables



(Fuente: <https://www.eversana.com/insights/a-spacex-philosophy-to-launching-in-pharma/>)

Dos propulsores reutilizables SpaceX Falcon Heavy realizan un aterrizaje simultáneo después de poner en órbita el primer cohete Falcon Heavy el 6 de febrero de 2018



(Fuente: [Space.com](https://www.space.com))

En lo que respecta al hardware, el diseño asistido por computadora, la impresión 3D y otras innovaciones (incluida la misma inteligencia artificial) han ayudado a reducir costos al simplificar el proceso de fabricación y mejorar las cadenas de suministro.

Son bien conocidos algunos ejemplos notables de éxito e innovación tecnológica que involucran a empresas privadas.

SpaceX (Space Exploration Technologies Corp.), fundada por Elon Musk, es una empresa privada pionera en el sector aeroespacial y de 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 global de Internet de banda ancha. SpaceX ha logrado hitos importantes, como la primera nave espacial con financiación privada en alcanzar la órbita, la primera nave espacial con financiación privada en acoplarse a la Estación Espacial Internacional (ISS) y la primera empresa privada en lanzar astronautas al espacio.

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

Otra empresa involucrada en el turismo espacial es Virgin Galactic, fundada por Sir Richard Branson, cuyo objetivo es ofrecer vuelos espaciales suborbitales a clientes que pagan, permitiéndoles experimentar la ingravidez y ver la curvatura de la Tierra.

Dos empresas, entre muchas, que se ocupan respectivamente de las telecomunicaciones y de la observación de la Tierra: OneWeb y Planet Labs. OneWeb es una empresa de comunicaciones global centrada en la construcción de una constelación de satélites de órbita terrestre baja (LEO) para proporcionar servicios de Internet de alta velocidad

y baja latencia. El objetivo es cerrar la brecha digital y ofrecer conectividad en regiones remotas y desatendidas. OneWeb ha lanzado numerosos satélites como parte de su red de banda ancha hasta ahora y es probablemente el competidor más directo de la constelación Starlink de SpaceX.

Planet Labs se especializa en obtener imágenes de la Tierra a través de su flota de pequeños satélites. Estos CubeSats capturan imágenes de alta resolución de la superficie de la Tierra y las ponen a disposición de todos los usuarios potenciales, pagando una tarifa. La empresa tiene como objetivo crear un mapa "vivo" de la Tierra que se actualice diariamente.

La NSE está siendo testigo de una expansión global, con un número récord de países y actores comerciales que invierten en programas espaciales. El aumento del interés se desprende del hecho de que actualmente hay satélites registrados en órbita de más de 80 países.

Este creciente interés en las actividades espaciales está estimulando inversiones económicas que se extienden más allá de la infraestructura espacial tradicional y afectan a muchos sectores diferentes de la economía global.

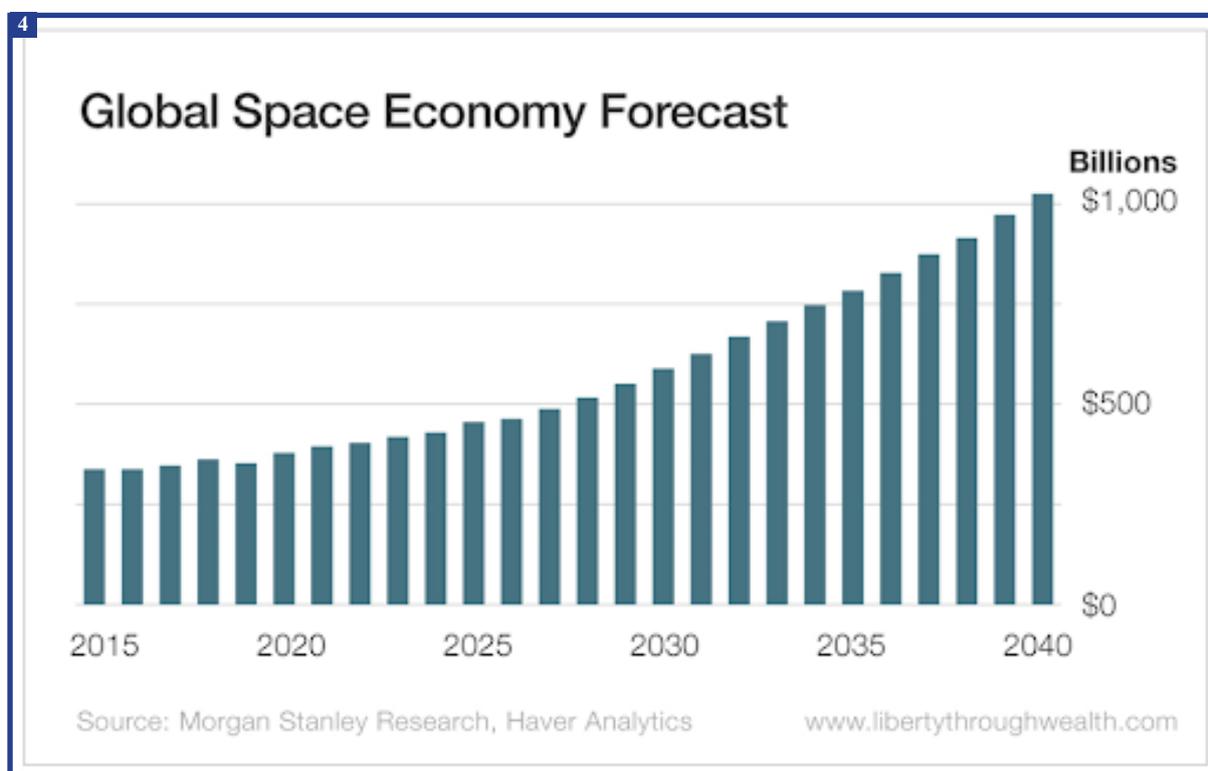
Según un informe de 2022, el valor de la nueva economía espacial es de al menos 469 mil millones de dólares, generado principalmente al permitir o mejorar las actividades en la Tierra, pero un valor futuro significativo podría provenir de funciones que tienen lugar completamente en órbita, como el mantenimiento en el espacio, investigación y desarrollo, producción y extracción de minerales de asteroides.

Un competidor algo directo de SpaceX es Blue Origin, fundada por Jeff Bezos, un fabricante aeroespacial privado y una empresa de servicios de vuelos espaciales. Se centra en el desarrollo de tecnologías de cohetes reutilizables para reducir el coste de acceso al espacio. El cohete suborbital New Shepard de Blue Origin está diseñado para el turismo espacial, mientras que su cohete orbital New

Glenn está destinado al lanzamiento de satélites comerciales y otras misiones.

Otra empresa involucrada en el turismo espacial es Virgin Galactic, fundada por Sir

Richard Branson, cuyo objetivo es ofrecer vuelos espaciales suborbitales a clientes que pagan, permitiéndoles experimentar la ingravidez y ver la curvatura de la Tierra.



Las oportunidades económicas dentro de la economía espacial se están expandiendo exponencialmente. En el centro de estas oportunidades se encuentran los servicios satelitales. Los satélites, tanto en órbita terrestre baja como en órbita geoestacionaria, se han convertido en herramientas indispensables para las telecomunicaciones, las retransmisiones televisivas, 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 una navegación de precisión.

Los datos y las imágenes satelitales han revolucionado industrias como la agricultura, la silvicultura y la gestión de desastres. Ofrecen información sobre el cambio ambiental, la salud de los cultivos y la gestión de recursos, lo que los convierte en herramientas valiosas para los tomadores de decisiones en todo el mundo. Los beneficios económicos de dichos servicios son sustanciales y ofrecen

una mayor eficiencia y asignación de recursos, al tiempo que reducen costos y riesgos.

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

Uno de los aspectos clave de la NSE es la democratización del espacio. En el pasado, sólo un puñado de países tenían los recursos y la tecnología para emprender misiones espaciales. Hoy en día, una gama mucho más amplia de actores, incluidas economías emergentes, empresas privadas e incluso individuos, pueden contribuir a la exploración espacial. Esto ha llevado a un aumento en el número de satélites en órbita, sondas espaciales a planetas distantes y planes para misiones

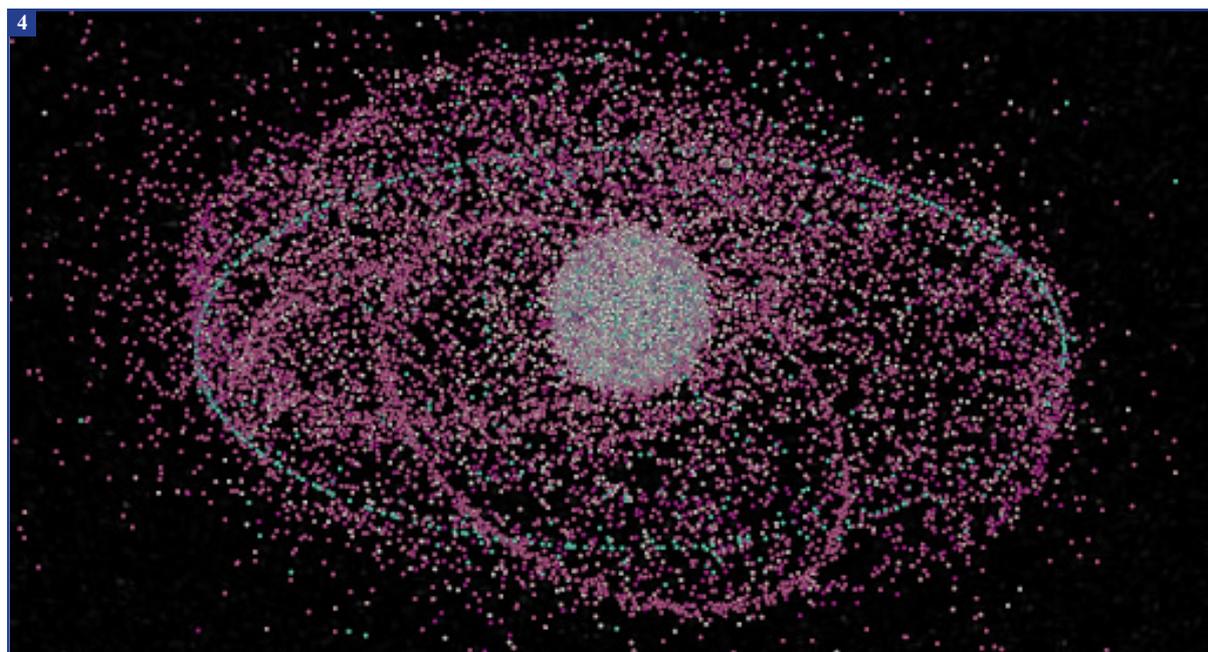
tripuladas a la Luna y Marte y la creación de puestos avanzados permanentes en el espacio y colonias fuera de la Tierra.

Una característica destacada de la Nueva Economía Espacial es la colaboración internacional: los gobiernos y las industrias privadas se unen para desarrollar y comercializar tecnologías espaciales, con el objetivo común de hacer negocios. Estas asociaciones conducen a inversiones, tecnologías y oportunidades compartidas. Los esfuerzos conjuntos son esenciales no sólo para compartir costos, sino también para aprovechar los conocimientos y las experiencias colectivas. Esta colaboración también promueve la diplomacia en la

gobernanza espacial, a medida que las naciones buscan crear un entorno espacial estable y predecible para las actividades económicas.

El NSE también presenta varios desafíos, como la cantidad de desechos espaciales que orbitan alrededor de la Tierra, que la NASA estima que ahora es del orden de 9.000 toneladas. Los desechos espaciales, debido al creciente número de satélites que orbitan alrededor de la Tierra y a la aparición de las llamadas "Mega Constelaciones", podrían representar una amenaza tanto para las naves espaciales tripuladas como para las no tripuladas.

La increíble cantidad de objetos espaciales que rodean el planeta



(Fuente: HPC Wire, 2022)

Otras posibles cuestiones a considerar son las legales y regulatorias, ya que el actual marco político y legal internacional no fue diseñado teniendo en cuenta la ENE.

En el contexto de la Nueva Economía Espacial, la Inteligencia Artificial se perfila como un catalizador clave para futuras actividades espaciales.

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

La Nueva Economía Espacial

Antes de describir el papel de la Inteligencia Artificial, quizá valga la pena establecer algunas definiciones básicas y acordar una taxonomía común.

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

El primer enfoque de la IA fue el de los sistemas basados en reglas (también llamados sistemas expertos, “Expert Systems”), sistemas que operan con reglas y lógica predefinidas, es decir, instrucciones explícitas, para tomar decisiones y realizar tareas.

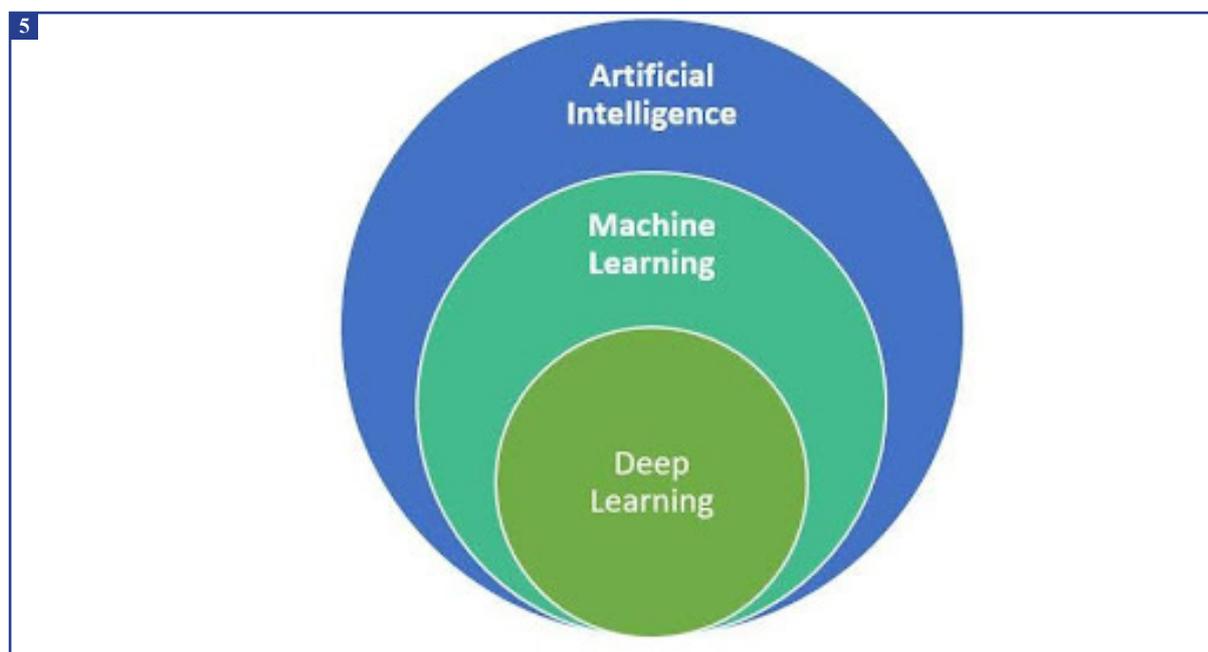
Para superar las limitaciones de los sistemas expertos, principalmente la necesidad de un conjunto de definiciones muy detallado y exhaustivo para cada dominio de aplicación,

se ha desarrollado un enfoque más flexible y avanzado, el aprendizaje automático (“Machine Learning”, ML).

El aprendizaje automático implica entrenar un modelo a través de datos reales para desarrollar patrones y realizar predicciones o decisiones sin estar programado explícitamente. La fase de entrenamiento puede ser supervisada, es decir, con intervención humana, o sin supervisión.

Un subconjunto del aprendizaje automático y su evolución posterior es el aprendizaje profundo (“Deep Learning”, DL).

Inteligencia artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo



(Fuente: Nadia Berchane, M2 IESCI 2018)

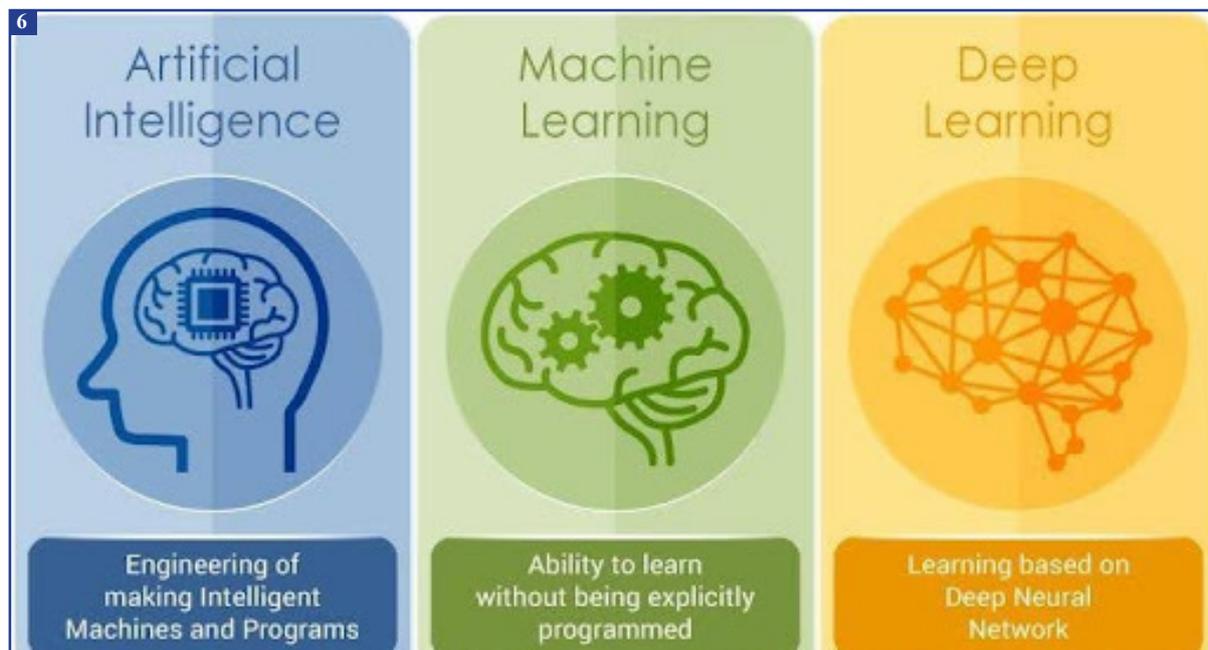
DL utiliza redes neuronales con múltiples capas (redes neuronales profundas) para analizar y aprender de los datos. En la red neuronal, las dos fases de entrenamiento a partir de datos y definición del modelo ocurren simultáneamente, pero a expensas de una mayor potencia informática, un mayor conjunto de datos de entrada y un período de aprendizaje más largo.

En comparación con los sistemas expertos, los enfoques de aprendizaje automático (y aprendizaje profundo) requieren menos estructura: simplificando demasiado, intro-

ducimos datos en la máquina y vemos qué información 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 a diferentes contextos, adquiriendo cierta autonomía y mostrando algunos comportamientos que se asemejan a la inteligencia de un ser humano.

Evolución de la IA



(Fuente: Nadia Berchane, M2 IESCI 2018)

Las aplicaciones de la IA se están disparando en diversas industrias, incluidas la atención médica, las finanzas, la educación, la seguridad, la manufactura y más.

Sin embargo, si bien la IA presenta enormes oportunidades para la innovación y la eficiencia, también plantea preocupaciones éticas y sociales, como el desplazamiento de puestos de trabajo, sesgos en los algoritmos y preocupaciones sobre la privacidad.

La Nueva Economía Espacial

Las aplicaciones de la IA se están disparando en diversas industrias, incluidas la atención médica, las finanzas, la educación, la seguridad, la manufactura y más.

Sin embargo, si bien la IA presenta enormes oportunidades para la innovación y la eficiencia, también plantea preocupaciones éticas y sociales, como el desplazamiento de puestos de trabajo, sesgos en los algoritmos y preocupaciones sobre la privacidad.

IA en el espacio: Un catalizador para la economía espacial

La sinergia dinámica entre la IA y la economía espacial es evidente principalmente en cinco sectores diferentes:

1. operaciones y comunicaciones por satélite;
2. robótica y exploración espacial;
3. análisis de datos en tiempo real y fuera de línea;
4. diseño, prueba y adquisición de naves espaciales;
5. seguridad.

En los siguientes párrafos se analizará en detalle cada sector individual

1. Operaciones y comunicaciones por satélite impulsadas por IA

La inteligencia artificial está dotando a los satélites de la capacidad de realizar de forma autónoma diversas tareas, desde ajustes de órbita hasta evitar colisiones y transmisión de datos.

La inteligencia artificial ha revolucionado las operaciones satelitales, haciéndolas más ágiles, adaptables y resilientes. La toma de decisiones autónoma está en el centro de esta transformación. Los satélites ahora están equipados con algoritmos de inteligencia artificial que les permiten realizar multitud de tareas con una

mínima intervención humana, como ajustes de órbita, prevención de colisiones y gestión de recursos.

Los algoritmos autónomos de toma de decisiones permiten a las naves espaciales identificar obstáculos, adaptarse a desafíos inesperados y navegar por los complejos campos gravitacionales de los cuerpos celestes. Este nivel de autonomía reduce la necesidad de supervisión constante e intervención humana, lo que permite misiones más ambiciosas y rentables.

La adopción de la IA en la optimización de la trayectoria es particularmente eficaz. En el espacio, cada gota de combustible cuenta.

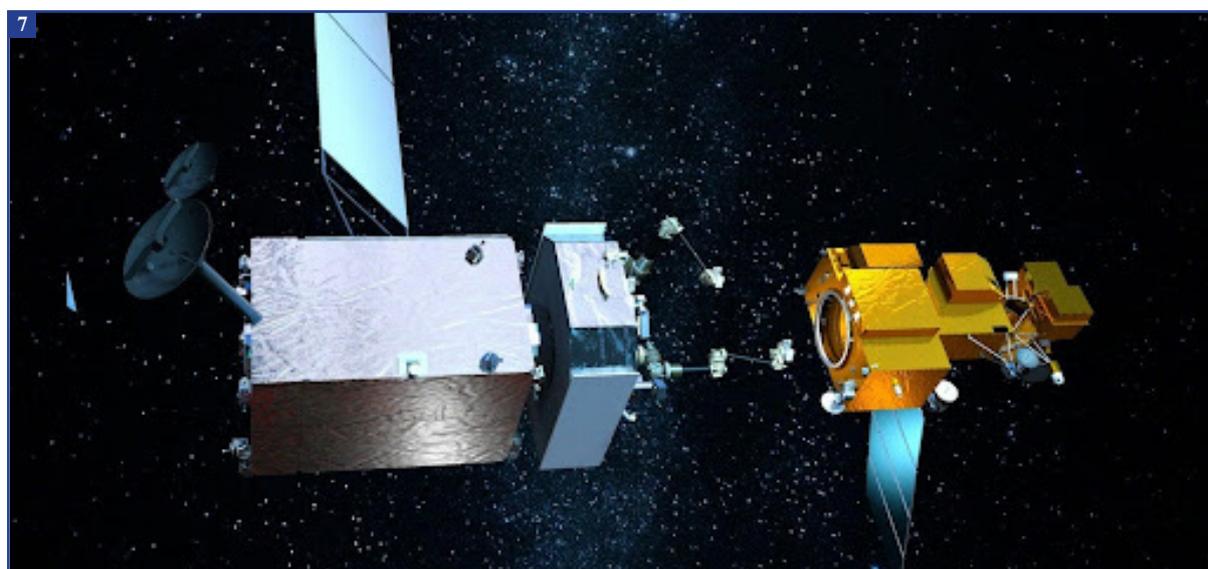
Los algoritmos de IA consideran múltiples variables, como fuerzas gravitacionales, dinámica orbital y objetivos de la misión, para calcular las rutas más eficientes en combustible.

También es necesario un cambio de paradigma al considerar las operaciones terrestres: si bien la miniaturización de la tecnología ya ha permitido una reducción significativa en el costo del segmento espacial, el costo del segmento terrestre no se reduce con el tama-

ño y la masa del satélite. Una vez más, la IA puede optimizar los sistemas terrestres y reducir la cantidad de operadores dedicados y altamente capacitados que trabajan en turnos las 24 horas, los 7 días de la semana. El resultado es una infraestructura espacial que opera eficientemente incluso en los escenarios más complejos y dinámicos.

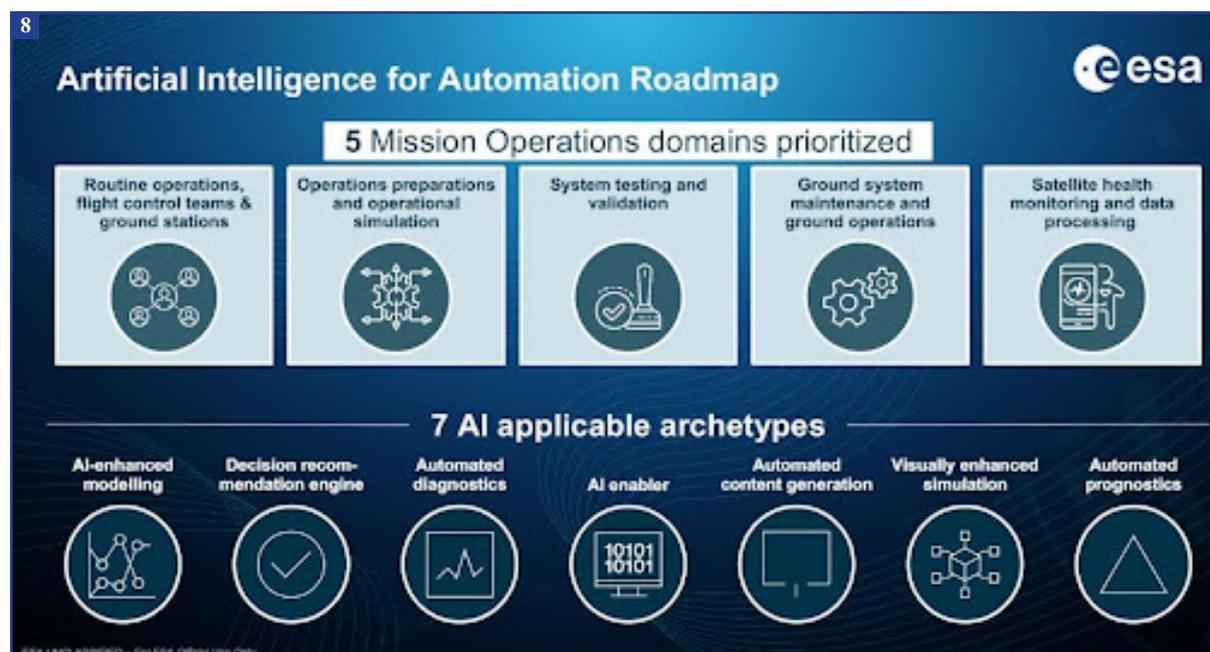
Además, la IA mejora la columna vertebral de las redes de comunicaciones espaciales. La velocidad y eficiencia con la que se transmiten datos entre la Tierra y el espacio ha aumentado en los últimos años, también gracias a la adopción de tecnologías avanzadas, como las comunicaciones ópticas. Los algoritmos de inteligencia artificial optimizan la recepción de señales, ajustan el haz de antena en tiempo real y asignan recursos de comunicación de forma inteligente. Esto garantiza que se maximicen las velocidades de datos, se minimice la latencia y la comunicación siga siendo confiable, incluso en caso de interferencias o condiciones ambientales cambiantes. Este nivel de sofisticación de las comunicaciones es fundamental para permitir no sólo la observación de la Tierra y la investigación científica, sino también servicios críticos como la previsión meteorológica y la conectividad global a Internet.

Nave espacial robótica OSAM-1 (servicio, ensamblaje y fabricación en órbita 1) basada en IA



(Fuente: NASA)

Hoja de ruta de la ESA para aplicar la IA a las operaciones de misiones espaciales



(Fuente: ESA)

2. Avances impulsados por la IA en la exploración espacial

En el campo de la exploración espacial, las contribuciones 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, de lograr, debido a las estrictas limitaciones de comunicación: ventanas de comunicación limitadas, largas latencias de comunicación y ancho de banda limitado. Por ejemplo, una señal de radio tarda de 5 a 20 minutos en recorrer la distancia entre Marte y la Tierra, dependiendo de las posiciones de los planetas.

La inteligencia artificial permite que las naves espaciales realicen tareas rutinarias y tomen decisiones sin una comunicación constante con la Tierra, reduciendo así la dependencia de la comunicación.

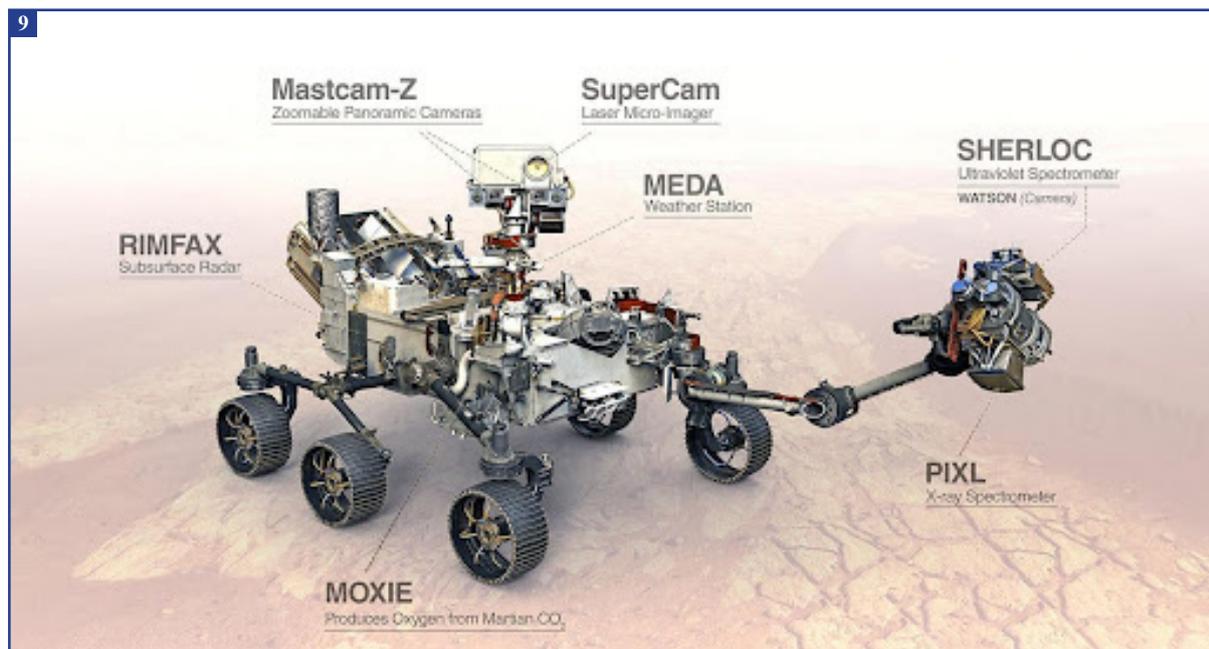
La exploración del espacio profundo puede ser de tres tipos:

1. predecible (pero a menudo extremadamente complejo);
2. impredecible;
3. que requiere una respuesta en tiempo real.

La navegación autónoma, habilitada por algoritmos de inteligencia artificial, permite a las naves espaciales alejarse de la Tierra, aterrizar en cuerpos celestes y afrontar y adaptarse a situaciones inesperadas con un alto grado de seguridad.

Las misiones robóticas se benefician de la inteligencia artificial, ya que permite a los rovers y módulos de aterrizaje explorar de forma autónoma superficies planetarias, realizando tareas complejas como recolectar y analizar muestras. Estos robots utilizan inteligencia artificial para el análisis del terreno, el reconocimiento de objetos y la navegación, lo que les permite tomar decisiones en función de su entorno.

Mars Perseverance Rover de la NASA impulsado por inteligencia artificial



(Fuente: NASA)

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

La inteligencia artificial también ha dejado su huella en el ámbito del uso de recursos y la sostenibilidad. A través de la utilización de recursos in situ (ISRU), la IA desempeña un papel fundamental en la extracción y procesamiento de recursos en cuerpos celestes, lo que podría desbloquear una gran cantidad de recursos para futuras misiones a la Luna, Marte y más allá. Esto es fundamental para apoyar los esfuerzos de exploración y colonización humana a largo plazo en el espacio.

El concepto de utilización de recursos in situ (ISRU) está a la vanguardia de estos desarrollos. La robótica y las tecnologías mineras basadas en inteligencia artificial están preparadas para 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 principales para la ISRU.

3. Avances impulsados por la IA en la exploración espacial.

La Inteligencia Artificial muestra todo su potencial como herramienta de procesamiento y análisis de datos de teledetección satelital.

La observación de la Tierra por satélite ya dependía en gran medida de técnicas de procesamiento de imágenes digitales para analizar datos, por ejemplo de sensores ópticos o radares de apertura sintética (SAR), pero la fotointerpretación, la fase del proceso con mayor valor añadido, seguía siendo dominio de la experiencia humana hasta que hace pocos años.

Las técnicas de IA hacen factible una "integración y fusión de datos" efectiva, es decir, la integración de datos de múltiples sensores satelitales y la combinación de datos satelitales con observaciones desde tierra u otras fuentes, mejorando la precisión y relevancia de la información extraída de las imágenes satelitales.

El procesamiento de datos satelitales con técnicas de IA permite una extracción de información más eficiente y precisa y un análisis de datos casi en tiempo real, abriendo nuevas aplicaciones en diversos campos, tales como:

- Reconocimiento y clasificación de imágenes, donde se utilizan algoritmos de inteligencia artificial para identificar y clasificar objetos, características y patrones en imágenes de observación de la Tierra, incluida la identificación automática de tipos de cobertura terrestre, áreas urbanas, vegetación, masas de agua y cambios en el tiempo;
- Detección de cambios y anomalías, es decir, la detección de cambios en la superficie de la Tierra a lo largo del tiempo. Al comparar imágenes satelitales u otros datos de observación de la Tierra en diferentes momentos, los modelos de aprendizaje automático pueden identificar cambios como la deforestación, la expansión urbana, los cambios en el uso de la tierra, los efectos de los desastres naturales o identificar eventos como derrames de petróleo, incendios o condiciones ambientales anormales. condiciones que pueden requerir atención inmediata;
- Mapeo de cobertura terrestre, para crear mapas detallados de cobertura y uso del suelo. Los algoritmos de inteligencia artificial pueden clasificar los tipos de cobertura del suelo en imágenes de satélite, distinguiendo entre categorías como bosques, áreas urbanas, masas de agua y tierras agrícolas. Esta información es fundamental para el seguimiento ambiental, la gestión de recursos, el uso del suelo 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 deforestación, expansión urbana o alteraciones de los cuerpos de agua;
- Monitoreo de cultivos y agricultura de precisión: en este caso la IA se aplica en el monitoreo y gestión de actividades agrícolas. Los datos de satélites y drones, combinados con algoritmos de aprendizaje automático, permiten la agricultura de precisión al proporcionar información sobre la salud de los cultivos, predecir los rendimientos 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, permitiendo así un seguimiento ambiental eficaz y receptivo.

“Deep Learning” para imágenes satelitales



(Fuente: Deepsense.ai)

4. Diseño, pruebas y adquisición de inteligencia artificial y naves espaciales.

La IA amplía su influencia en el diseño y las pruebas de naves espaciales y en el abastecimiento de piezas a través de la red de subcontratistas, lo que ayuda a aumentar la eficiencia, la rentabilidad y la innovación.

El diseño generativo, basado en algoritmos de inteligencia artificial, puede explorar numerosas posibilidades de diseño y optimizar los componentes de la nave espacial en función de objetivos y limitaciones predefinidos. Por ejemplo, aplicada a las estructuras de las naves espaciales, la IA puede optimizar su diseño, mejorar la integridad estructural y minimizar el peso y el costo.

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 (EMC) 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 facilita el desarrollo de “gemelos digitales” (“Digital Twins”), modelos digitales sofisticados y completos que pueden usarse 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 prueba y validación.

El entorno empresarial competitivo de la Nueva Economía Espacial requiere que los productos estén en el mercado en el momento adecuado y al precio adecuado. Para lograr esto, se requieren reducciones en el tiempo de desarrollo e implementación.

Por otro lado, la creación de grandes constelaciones de satélites para comunicaciones móviles o multimedia requiere la producción de muchas naves espaciales en un tiempo notablemente corto. Los conceptos tradicionales de fabricación espacial ya no son adecuados para satisfacer las necesidades de estos proyectos innovadores.

Es necesario un cambio de paradigma en la forma en que se diseñan y producen los satélites, con el objetivo de ofrecer un producto mejor y más flexible, a menores costos y en tiempos más cortos (el tiempo de comercialización es el rey).

En cuanto a los métodos de ensamblaje, integración y prueba/verificación (AIT/AIV), se requiere un estilo de

producción en línea de ensamblaje, junto con instalaciones de fabricación diseñadas específicamente para la producción en masa.

Aquí la inteligencia artificial viene al rescate, contribuyendo a la automatización de los procesos de prueba y permitiendo una evaluación rápida y completa de los componentes y sistemas de la nave espacial. Esto incluye pruebas funcionales, pruebas de estrés y pruebas de rendimiento, garantizando la confiabilidad antes del lanzamiento.

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

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

Los sistemas de monitoreo del estado de las naves espaciales ("Health Monitoring", HM), también conocidos como sistemas de falla, detección, aislamiento y recuperación ("Fault, Detection, Isolation and Recovery", FDIR), son esenciales para lograr los objetivos de disponibilidad, confiabilidad 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 límites predefinidos o se desviaban fuera de ellos (técnica "Out-of-Limits", OOL).

En comparación con los sistemas expertos, el FDIR basado en IA puede aprender continuamente de nuevos datos y experiencias, mejorando las capacidades de detección y recuperación de fallas con el tiempo. La IA puede integrar el conocimiento del dominio y las reglas expertas con nuevos datos recopilados

durante la vida operativa y luego utilizar el razonamiento de diagnóstico para determinar la causa raíz de una falla. Esto puede resultar especialmente útil en sistemas complejos donde la relación entre los síntomas y las causas fundamentales no siempre es sencilla.

5. Inteligencia artificial 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 la tecnología evoluciona, los sistemas espaciales se vuelven cada vez más complejos, interconectados y vulnerables a diversas amenazas.

Las tecnologías espaciales, con sus funciones en ubicación y sincronización, teledetección y comunicaciones, son esenciales para la prestación de servicios digitales en todo el mundo y vitales para el desempeño y la supervivencia de nuestra infraestructura crítica. Por estos motivos, los sistemas espaciales deben estar garantizados y protegidos de ataques intencionados y no intencionados, en términos de confidencialidad, disponibilidad, integridad, continuidad y calidad del servicio.

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

La guerra en Ucrania ha demostrado dramáticamente con toda su evidencia que las preocupaciones y disposiciones 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 es que aún no lo ha sido.

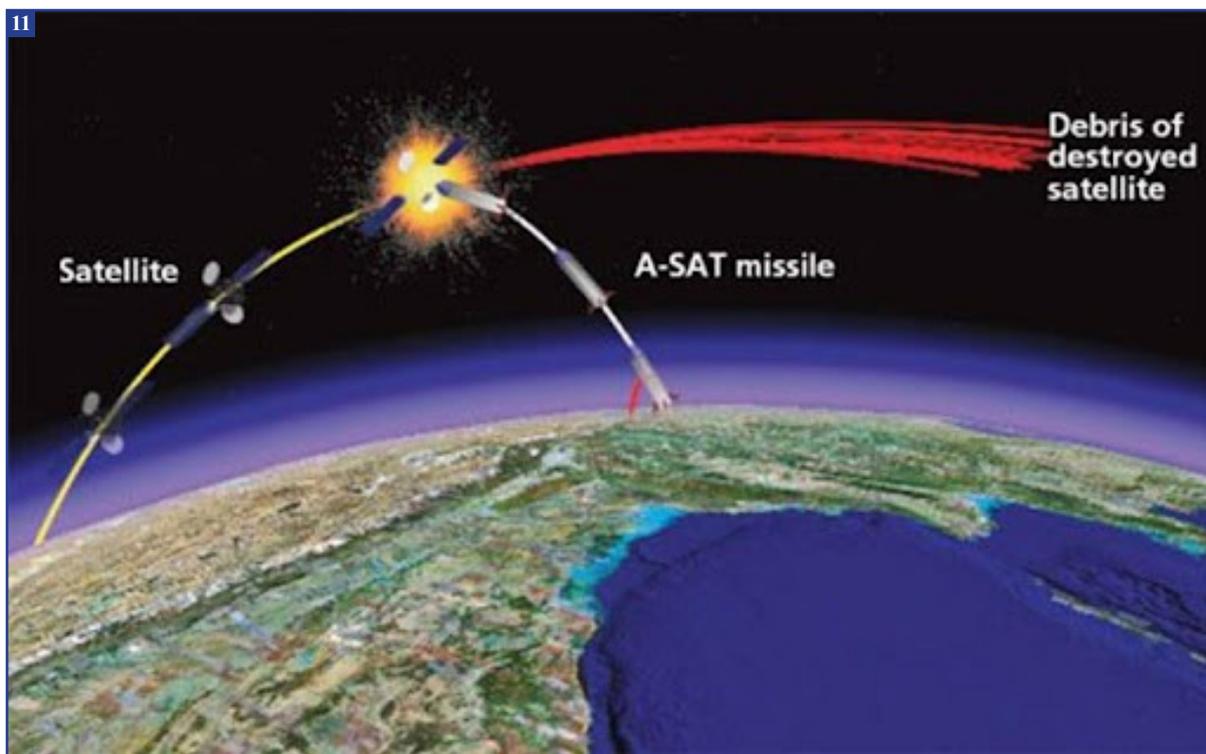
Además de los ciberataques, dirigidos principalmente contra infraestructuras del segmento terrestre (centros de control, estaciones terrestres de control, instalaciones de lanzamiento), ahora son posibles diversas amenazas físicas, que van desde "armas antisatélites de energía cinética"

hasta "armas de energía dirigida" y interferencia a radiofrecuencia.

Un arma cinética antisatélite 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 esperando a 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 continúan permaneciendo en órbita, aumentando la ya preocupante cantidad de basura espacial alrededor de la Tierra.

Ataque físico cinético de ascenso directo antisatélite (A-SAT)



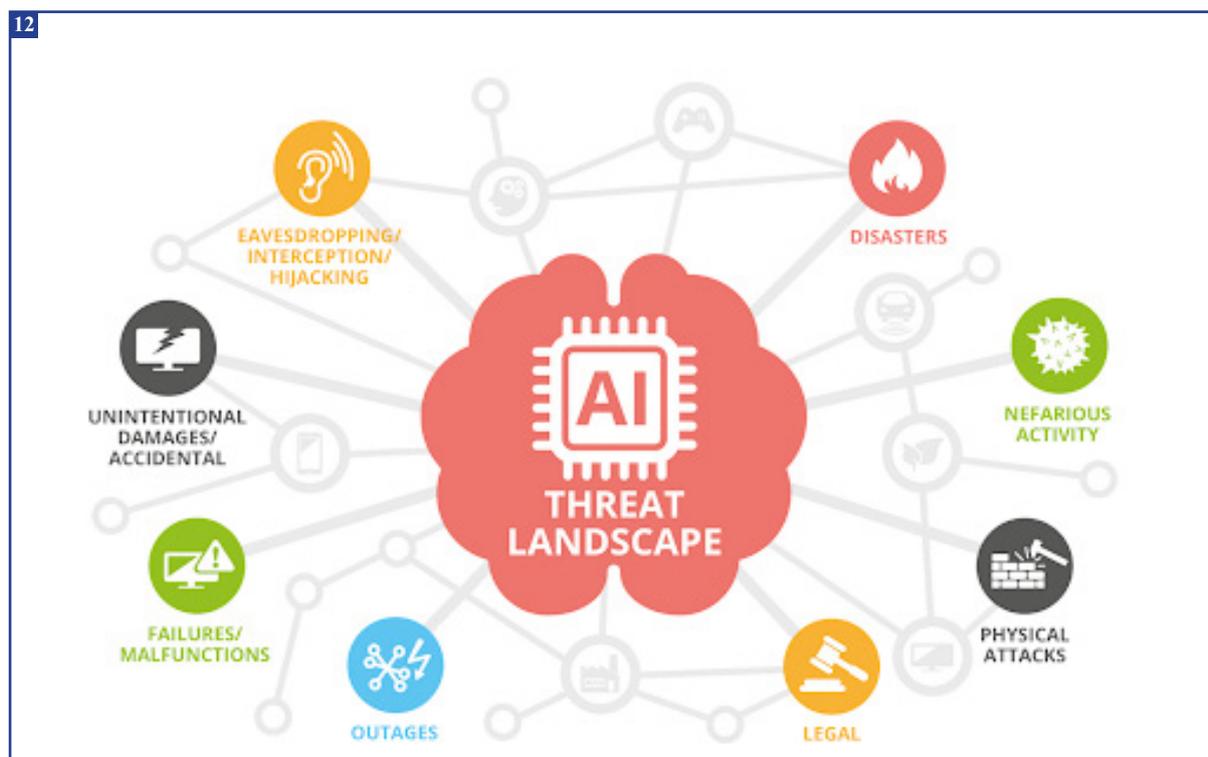
(Fuente: Centro de Estudios Estratégicos e Internacionales)

Las armas de energía dirigida generalmente se dirigen contra activos en órbita y pueden fabricarse como rayos láser de alta energía o rayos de radiofrecuencia generados desde tierra que pueden "cegar" a los satélites y dañar sus equipos electrónicos. Los "destellos" destructivos de energía de radiofrecuencia también pueden generarse mediante la explosión de pequeñas bombas nu-

cleares en la ionosfera ("Pulso Electromagnético", EMP).

La integración de la IA en la seguridad de los sistemas espaciales podría resultar esencial para garantizar la resiliencia y la protección de estos sistemas contra una amplia gama de amenazas intencionales y no intencionales, incluidos ciberataques, acceso no autorizado, ataques físicos y riesgos ambientales.

Panorama de amenazas de IA



(Fuente: Agencia de Ciberseguridad de la Unión Europea - ENISA)

Un área clave en la que la IA puede proporcionar mejoras sustanciales es la detección y el análisis de amenazas.

Los algoritmos de IA pueden analizar grandes conjuntos de datos para identificar anomalías o patrones inusuales que podrían indicar una amenaza a la seguridad. Esto es particularmente importante para detectar accesos no autorizados o posibles ataques cibernéticos a sistemas espaciales. Además, los sistemas de inteligencia artificial pueden reconocer patrones asociados con actividades maliciosas, lo que ayuda a detectar y responder a incidentes de seguridad de manera más rápida y efectiva.

En cuanto a la ciberseguridad, los algoritmos de inteligencia artificial ayudan a identificar vulnerabilidades dentro del software y la infraestructura de red del sistema espacial. Esto le permite tomar medidas proactivas para abordar posibles debilidades antes de que puedan ser explotadas. La inteligencia artificial también se está utilizando para desarrollar sistemas avanzados de detec-

ción y prevención de intrusiones, capaces de identificar y neutralizar ciberataques en tiempo real.

En cuanto al segmento espacial, la IA mejora ante todo la conciencia de la situación espacial. Como ya se mencionó, la IA es capaz de rastrear de manera eficiente 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 a bordo se pueden programar para responder de forma autónoma a las amenazas a la seguridad, minimizando los tiempos de respuesta y reduciendo el riesgo de error humano. Estos sistemas pueden adaptarse a las amenazas en evolución aprendiendo y actualizando continuamente sus mecanismos de defensa. Esta adaptabilidad es esencial para adelantarse a las amenazas cibernéticas sofisticadas.

Una última contribución de la IA a la seguridad espacial, pero no 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 se puede utilizar para desarrollar y mejorar algoritmos de cifrado, incluidas técnicas criptográficas avanzadas, y para establecer sistemas de gestión de claves adaptando dinámicamente las claves de cifrado, lo que dificulta que los adversarios comprometan la seguridad de los canales de comunicación por satélite.

Conclusiones

De lo presentado hasta ahora, queda claro que la IA tiene el potencial de impactar radicalmente el futuro de las actividades espaciales y 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 satelitales y los esfuerzos estratégicos, se han abierto nuevas oportunidades de competencia, colaboración e innovación, lo que fortalece aún más el avance de la Nueva Economía Espacial.

Es probable que las naciones con capacidades avanzadas de IA obtengan una ventaja estratégica, no sólo en la exploración del cosmos, sino también en la protección de sus intereses nacionales a través de capacidades espaciales mejoradas. La confluencia de la IA y las tecnologías espaciales está remodelando la dinámica de poder tradicional y promoviendo una nueva carrera espacial en la que la destreza tecnológica de la 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 inteligencia artificial adquiere una importancia crítica. Las naciones están invirtiendo fuertemente en conciencia ambiental espacial, ciberseguridad y sistemas autónomos para proteger su infraestructura espacial. El desarrollo y despliegue de la IA en este contexto contribuye a un creciente ámbito de seguridad nacional que se extiende más allá de las fronteras terrestres.

Además de sus numerosos beneficios, la IA también plantea muchas dudas e introduce nuevos riesgos potenciales, incluso en las actividades espaciales.

El principal problema de los sistemas basados en IA es que corren el riesgo de convertirse en "cajas negras", sistemas de los que podemos conocer los datos de entrada y los resultados o decisiones resultantes, con poca o ninguna visibilidad del proceso de toma de decisiones. En esta situación, también es difícil, si no imposible, validar un proceso y corregir sus errores, o mejorarlo, porque diagnosticar un problema es difícil de realizar. Como resultado, esta falta de transparencia podría reducir la confianza en los sistemas basados en IA, especialmente en aplicaciones, como en el espacio, donde la seguridad, la confiabilidad y la responsabilidad son esenciales, lo que plantea cuestiones éticas y regulatorias. De manera más general, la necesidad de explicabilidad en la IA es fundamental en todas las aplicaciones donde las decisiones impactan a los individuos o a la sociedad.

XAI está desarrollando algo de luz sobre el proceso de toma de decisiones de los algoritmos de inteligencia artificial.

XAI significa Inteligencia Artificial Explicable. Se refiere a un conjunto de técnicas y enfoques en inteligencia artificial (IA) y "Machine Learning" (ML) que tienen como objetivo hacer que los procesos de toma de decisiones de los sistemas de IA sean más comprensibles e interpretables para los humanos.

XAI se centra en desarrollar modelos de IA que produzcan resultados que los humanos puedan entender e interpretar fácilmente,

haciendo que el funcionamiento interno del sistema de IA sea más transparente.

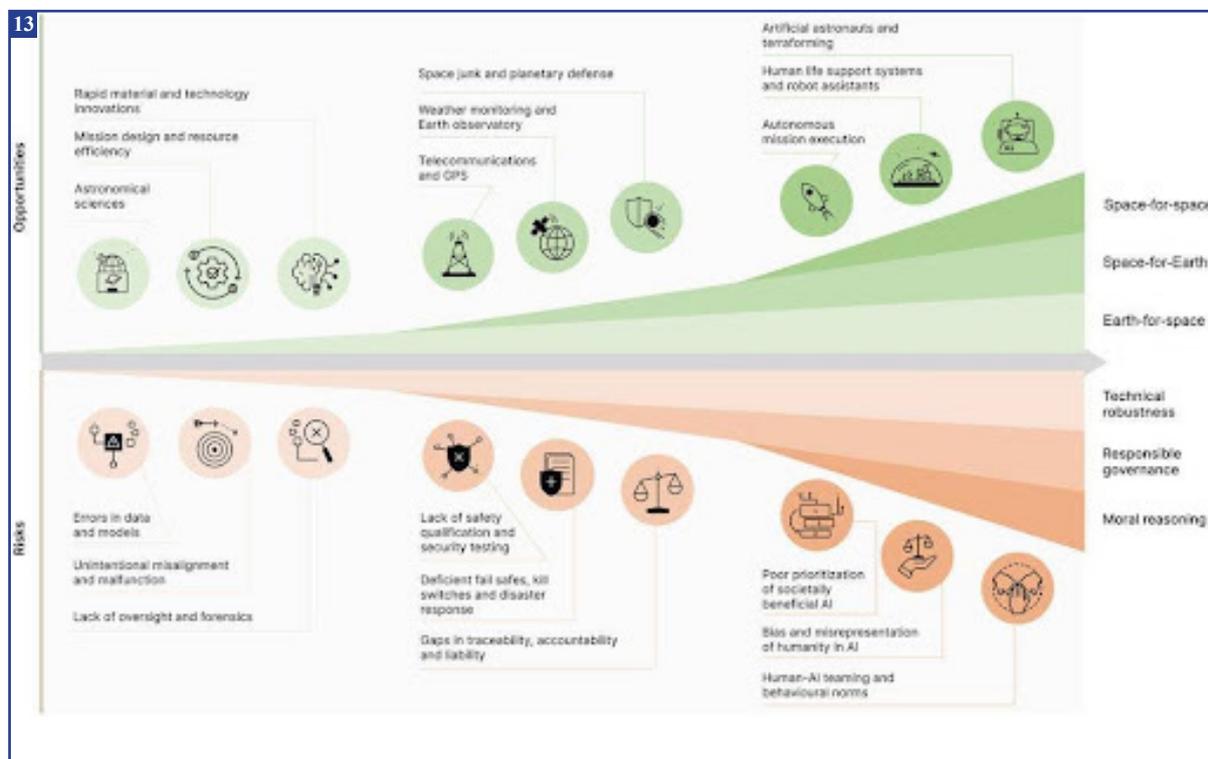
Los futuros marcos regulatorios espaciales deberán incluir requisitos legales de transparencia y explicabilidad en los procesos de toma de decisiones, especialmente cuando los sistemas de IA tienen impactos en la vida de las personas, pesadas responsabilidades económicas y grandes riesgos financieros.

En general, el mayor riesgo asociado con la IA proviene de sobreestimar o subestimar su potencial.

Los sistemas de inteligencia artificial nunca serán una alternativa completa al pensamiento humano: son como "idiot savant", con capacidades y habilidades formidables, resultantes del entrenamiento y procesamiento de enormes cantidades de datos.

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

Panorama de amenazas de IA



(Fuente: Agencia de Ciberseguridad de la Unión Europea - ENISA)

Referencias

- 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*, 91(6), 537-539(3). Aerospace Medical Association.
- Copeland, B.J. (2024). *Artificial intelligence*. Encyclopedia Britannica, 8 Feb. 2024, <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>.
- European Space Agency. (2018). *Artificial intelligence for autonomous space missions*. https://www.esa.int/Applications/Technology_Transfer/AIKO_Artificial_Intelligence_for_Autonomous_Space_Missions.
- European Space Agency. (2022). *Artificial intelligence in space*. https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Artificial_intelligence_in_space.
- Fourati, F., & Alouini, M. (s.f). *Artificial Intelligence for Satellite Communication: A Review*. <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. (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, in *Modern conflict and artificial intelligence*. Centre for International Governance Innovation.
- 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. *The Atlas Report*.
- Richards, C. E., et al. (2023). Safely advancing a spacefaring humanity with artificial intelligence. *Frontiers in Space Technologies*.
- Suess, J. (2022). Jamming and cyber attacks: How space is being targeted in Ukraine. *Royal United Services Institute*.
- Taulli, T. (2019). *Artificial intelligence basics*. Apress.
- United Nations Office for Outer Space Affairs. (2022). *Space Law Treaties and Principles*. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties.html>.
- Weinzierl, M., & Sarang, M. (2021). *The commercial space age is here*. <https://hbr.org/2021/02/the-commercial-space-age-is-here>.



Marco Lisi

El Doctor Ingeniero Marco Lisi es consultor técnico y gerencial, colaborador de varias universidades a nivel internacional en calidad de profesor adjunto, profesor consultor de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU) en la República Dominicana y "visiting professor" de la Universidad de Bradford (Reino Unido).

Desde junio de 2023, ha sido nombrado por el Ministerio de Asuntos Exteriores italiano miembro de la junta directiva de la Agencia Espacial Italiana.

En julio de 2019, se retiró de la Agencia Espacial Europea (ESA), donde trabajó como Asesor Especial en la Dirección de Navegación. Sirvió como Asesor Técnico Principal en la Dirección Ejecutiva de la Agencia Europea GNSS (GSA) y anteriormente fue responsable en la ESA de la ingeniería de sistemas, operaciones y actividades de seguridad del proyecto Galileo.

En octubre de 2012, fue nombrado Asesor Especial de la Comisión Europea sobre las políticas espaciales europeas, cargo que ocupó hasta octubre de 2014.

Después de obtener un doctorado "summa cum laude" en ingeniería en 1980 y un Executive MBA en la Escuela de Administración de IRI en 2000, ha trabajado durante más de cuarenta años en los sectores aeroespacial y de telecomunicaciones, cubriendo puestos directivos en las áreas de investigación y desarrollo, así como en ingeniería y programas, tanto en la industria como en organismos estatales.

El Doctor Ingeniero Lisi es miembro senior del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) y del Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica (AIAA). Es miembro activo del Instituto de Navegación (ION), miembro "Fellow" de la Sociedad Interplanetaria Británica, miembro "Fellow" del Real Instituto de Navegación Británico y "Presidente Honorario Vitalicio" del capítulo italiano del Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas (INCOSE), que fundó en 2008.

El Doctor Ingeniero Lisi posee cinco patentes internacionales y es autor de más de trescientos cincuenta artículos técnicos en revistas y conferencias internacionales. También contribuye a revistas profesionales con ensayos sobre temas sociales, económicos y de gestión.