

Artículo Nº 11 / 2026

CONCIENCIA DEL DOMINIO ESPACIAL (SPACE DOMAIN AWARENESS, SDA) Y LOS DESECHOS ESPACIALES



Por Álvaro Aguirre Warden, Director de Asuntos Espaciales.
30 de julio de 2024. 08 Min. de lectura.

Introducción

Durante gran parte del siglo XX, el espacio ultraterrestre fue considerado principalmente como un ámbito asociado a la exploración científica y a la competencia estratégica entre grandes potencias. Sin embargo, durante las últimas décadas, este entorno ha experimentado una transformación profunda debido a la incorporación progresiva de nuevos actores estatales, comerciales y académicos. La reducción de los costos de lanzamiento, la miniaturización de componentes electrónicos y el desarrollo de nuevas arquitecturas satelitales han permitido ampliar significativamente el acceso al espacio.

Actualmente, los sistemas espaciales constituyen infraestructuras críticas para múltiples actividades humanas. Las comunicaciones globales, los sistemas de posicionamiento y navegación, la observación terrestre, la predicción meteorológica, la gestión de emergencias y numerosas aplicaciones militares dependen directamente de capacidades ubicadas en órbita. Esta creciente dependencia ha convertido al espacio en un dominio estratégico cuya seguridad influye directamente sobre la estabilidad económica, política y militar de los Estados.



Ecosstm Fuente: GMV

No obstante, el aumento acelerado de la actividad espacial también ha generado nuevos desafíos. La acumulación de desechos espaciales, la congestión orbital, la posibilidad de colisiones y el desarrollo de capacidades antisatélite han incrementado la vulnerabilidad de los sistemas espaciales.

De acuerdo con la European Space Agency (ESA), miles de objetos permanecen actualmente en órbita terrestre, incluyendo satélites activos, cuerpos de cohetes y fragmentos generados por fallas, explosiones y eventos destructivos.

Este escenario plantea una interrogante fundamental: ¿cómo pueden los operadores espaciales mantener una comprensión precisa y oportuna de un entorno cada vez más complejo? La respuesta se encuentra en el desarrollo de capacidades avanzadas de Conciencia del Dominio Espacial, concepto que supera la visión tradicional de seguimiento orbital al incorporar una comprensión integral de los objetos, sus características, comportamiento, propietarios e implicancias operacionales.

El dominio espacial y el incremento de la complejidad operacional

El dominio espacial puede definirse como el entorno que se extiende más allá de la región donde los efectos atmosféricos dejan de influir significativamente sobre los objetos en vuelo. Según la doctrina estadounidense de operaciones espaciales conjuntas, este dominio comprende todos los elementos asociados al empleo del espacio, incluyendo satélites, estaciones terrestres, enlaces de comunicación y los sistemas necesarios para operar capacidades espaciales.

Históricamente, las actividades espaciales estuvieron concentradas en un número reducido de gobiernos con capacidades tecnológicas avanzadas. Sin embargo, esta situación ha cambiado con la incorporación de empresas privadas y organizaciones comerciales capaces de desarrollar, lanzar y operar grandes cantidades de satélites. Un ejemplo representativo es la aparición de constelaciones satelitales de órbita baja compuestas por cientos o miles de unidades, diseñadas para proporcionar servicios globales de comunicaciones y observación.

Esta proliferación ha generado beneficios significativos al ampliar el acceso a servicios espaciales y fomentar la innovación tecnológica. Sin embargo, también ha modificado las características del entorno orbital, aumentando la densidad de objetos y reduciendo los márgenes disponibles para una operación segura. El espacio, anteriormente caracterizado por una relativa disponibilidad de posiciones orbitales, se encuentra actualmente sometido a niveles crecientes de congestión.

Según la National Aeronautics and Space Administration (NASA), los desechos espaciales representan uno de los principales riesgos para las operaciones orbitales debido a las elevadas velocidades relativas entre objetos. Incluso fragmentos pequeños pueden producir daños significativos sobre satélites operativos, generando a su vez nuevos fragmentos y aumentando la probabilidad de un fenómeno conocido como síndrome de Kessler, donde una reacción en cadena de colisiones podría comprometer determinadas regiones orbitales.

La complejidad del entorno espacial actual exige, por tanto, capacidades que permitan no solamente detectar objetos, sino comprender el contexto operacional en el que estos se encuentran. Esta necesidad constituye el fundamento de la evolución conceptual desde la SSA hacia la SDA.

De la Conciencia Situacional Espacial (SSA) a la Conciencia del Dominio Espacial (SDA)

La Conciencia Situacional Espacial (Space Situational Awareness, SSA) surgió inicialmente como una capacidad orientada al conocimiento básico del entorno orbital mediante la detección, seguimiento y catalogación de objetos espaciales. Su principal objetivo consistía en determinar dónde se

encontraban los objetos, cuál era su trayectoria y qué riesgos inmediatos podían representar para otros sistemas.

Aunque estas funciones continúan siendo esenciales, la naturaleza actual del entorno espacial requiere una perspectiva más amplia. La cantidad de actores involucrados, la diversidad de sistemas espaciales y la posibilidad de actividades hostiles han demostrado que conocer únicamente la posición de un objeto resulta insuficiente.

La SDA incorpora elementos adicionales relacionados con la identificación, caracterización y evaluación del comportamiento de los objetos espaciales. Esta capacidad busca responder preguntas fundamentales: ¿qué objeto se encuentra en órbita?, ¿quién lo opera?, ¿qué capacidades posee?, ¿cuál es su comportamiento esperado?, ¿representa un riesgo accidental o una acción deliberada?

De esta manera, la SDA integra información proveniente de sensores espaciales y terrestres, bases de datos, análisis de inteligencia y sistemas de mando y control. Su propósito no es únicamente observar el espacio, sino generar conocimiento operacional que permita apoyar decisiones estratégicas y tácticas.

La evolución hacia la SDA refleja un cambio fundamental en la manera de comprender el dominio espacial: desde un enfoque centrado en objetos hacia un enfoque centrado en el entorno operacional completo.

Los desechos espaciales como desafío para la seguridad y sostenibilidad espacial

Los desechos espaciales constituyen actualmente uno de los principales desafíos para la continuidad de las operaciones en el entorno orbital. Estos elementos corresponden a objetos artificiales sin capacidad funcional que permanecen alrededor de la Tierra, incluyendo fragmentos derivados de explosiones, colisiones, fallas estructurales, etapas superiores de vehículos de lanzamiento y satélites fuera de servicio.

Aunque muchos de estos objetos poseen dimensiones reducidas, sus elevadas velocidades orbitales pueden convertirlos en elementos altamente peligrosos para los sistemas espaciales operativos.

La problemática de los desechos espaciales está directamente relacionada con el crecimiento sostenido de la actividad humana en órbita. Cada lanzamiento, misión espacial o despliegue de satélites incorpora nuevos elementos al entorno orbital, aumentando la probabilidad de encuentros peligrosos.

La proliferación de constelaciones comerciales de satélites pequeños ha intensificado este fenómeno, debido a la incorporación masiva de nuevos objetos en regiones orbitales de alta utilización, particularmente en la órbita terrestre baja (Low Earth Orbit, LEO).

La Inter-Agency Space Debris Coordination Committee ha señalado que la mitigación de desechos espaciales requiere la adopción de medidas durante todo el ciclo de vida de los sistemas espaciales, incluyendo diseño, lanzamiento, operación y disposición final. Estas medidas buscan reducir la generación de nuevos fragmentos y limitar la posibilidad de eventos que puedan afectar la sostenibilidad del entorno espacial.



Desde la perspectiva de la Conciencia del Dominio Espacial, los desechos espaciales representan un desafío particular debido a su naturaleza dual. Por una parte, constituyen un peligro (hazard) cuando son consecuencia de eventos accidentales, fallas técnicas o procesos naturales. Por otra parte, pueden transformarse en un factor asociado a una amenaza (threat) cuando su origen está relacionado con acciones deliberadas destinadas a afectar sistemas espaciales.

Esta distinción resulta fundamental para la planificación operacional, debido a que un objeto no identificado o una variación inesperada en su comportamiento puede requerir análisis adicionales para determinar si corresponde a un riesgo natural, una anomalía técnica o una actividad intencional.

En consecuencia, la SDA proporciona las herramientas necesarias para diferenciar fenómenos espaciales rutinarios de situaciones que pueden comprometer la seguridad de una misión.

Eventos antisatélite (ASAT) y generación intencional de desechos orbitales

Uno de los aspectos más relevantes dentro del análisis de seguridad espacial corresponde al desarrollo y empleo de capacidades antisatélite (Anti-Satellite Weapons, ASAT). Estas tecnologías tienen como objetivo degradar, neutralizar o destruir sistemas espaciales adversarios, convirtiéndose en una manifestación de la creciente competencia estratégica en el dominio espacial.

Los sistemas ASAT pueden clasificarse en diferentes categorías, incluyendo interceptores cinéticos de ascenso directo, sistemas coorbitales, capacidades lanzadas desde aeronaves y tecnologías de energía dirigida. Entre ellos, los interceptores cinéticos resultan particularmente preocupantes debido a la cantidad de fragmentos que pueden generar al impactar contra un satélite en funcionamiento.

Un ejemplo significativo ocurrió en 2007, cuando China realizó una prueba antisatélite contra el satélite meteorológico Fengyun-1C, generando una gran cantidad de fragmentos rastreables y numerosos fragmentos menores difíciles de catalogar. Posteriormente, en 2009, la colisión accidental entre el satélite Iridium 33 y el satélite ruso Cosmos 2251 produjo uno de los mayores eventos de generación de desechos espaciales registrados hasta ese momento.

En 2021, Rusia realizó una prueba ASAT contra el satélite Cosmos 1408, generando nuevamente una nube de fragmentos orbitales que afectó las condiciones de seguridad de otras operaciones espaciales. Estos eventos demostraron que las acciones deliberadas contra sistemas espaciales pueden producir efectos que trascienden al objetivo inicial, afectando a múltiples operadores y aumentando la vulnerabilidad colectiva del entorno orbital.

Desde la perspectiva de la SDA, estos acontecimientos evidencian la necesidad de disponer de capacidades capaces no solamente de rastrear fragmentos, sino también de interpretar actividades espaciales y determinar posibles intenciones. La diferencia entre un fragmento inerte producto de una colisión y un objeto asociado a una acción hostil requiere información adicional proveniente de inteligencia, análisis técnico y seguimiento continuo.

La SDA como elemento fundamental para la gestión del tráfico espacial

La creciente densidad orbital ha impulsado el desarrollo de la gestión del tráfico espacial (Space Traffic Management, STM), cuyo objetivo es coordinar las actividades espaciales para reducir riesgos de colisión y mejorar la seguridad operacional. Dentro de este proceso, la SDA cumple una función esencial al proporcionar la información necesaria para identificar riesgos y apoyar la toma de decisiones.

Las evaluaciones de aproximación orbital (conjunction assessments) constituyen una de las aplicaciones más importantes derivadas de la vigilancia espacial. Estas evaluaciones permiten determinar la probabilidad de encuentro entre dos objetos espaciales y generar advertencias para que los operadores puedan ejecutar maniobras evasivas cuando sea necesario.



Fuente: Phys.org

La evolución tecnológica ha permitido ampliar progresivamente la cantidad de objetos que pueden ser observados y rastreados. Sin embargo, persisten desafíos asociados a la detección de objetos pequeños, la incertidumbre en los cálculos orbitales y la necesidad de integrar información procedente de múltiples sensores.

La SDA responde a estos desafíos mediante la combinación de capacidades de vigilancia, análisis de datos, inteligencia y mando y control. Esta integración permite pasar de una visión descriptiva del entorno espacial hacia una comprensión predictiva, donde los operadores pueden anticipar escenarios futuros y adoptar medidas preventivas.

En este contexto, la SDA no debe entenderse únicamente como una capacidad tecnológica, sino como un proceso integral de generación de conocimiento operacional. Su valor reside en transformar datos dispersos en información útil para la protección de activos espaciales, la planificación de operaciones y la preservación de la libertad de acción en el espacio.

Conclusión

El dominio espacial se encuentra atravesando una etapa de transformación caracterizada por una creciente expansión de actividades, una mayor participación de actores y un incremento significativo de objetos en órbita. Esta evolución ha generado importantes beneficios tecnológicos y económicos; sin embargo, también ha introducido nuevos riesgos asociados a la congestión orbital, los desechos espaciales y la posibilidad de acciones deliberadas contra sistemas espaciales.

En este escenario, la Conciencia del Dominio Espacial constituye una capacidad esencial para garantizar la seguridad y sostenibilidad del entorno espacial. Su importancia radica en que amplía el concepto tradicional de vigilancia orbital al incorporar información sobre identidad, comportamiento, capacidades e intenciones de los objetos espaciales.

Los desechos espaciales representan uno de los mayores desafíos para la SDA debido a su capacidad de afectar operaciones actuales y futuras. La acumulación progresiva de fragmentos orbitales, junto con el desarrollo de sistemas antisatélite y la proliferación de constelaciones, exige capacidades avanzadas de detección, seguimiento, caracterización y análisis.

Por lo tanto, la preservación del espacio como un entorno seguro requiere una combinación de cooperación internacional, aplicación de normas responsables de comportamiento espacial y desarrollo permanente de capacidades SDA. La habilidad para comprender oportunamente el entorno orbital será un factor determinante para mantener la seguridad, la resiliencia y la libertad de operación de los sistemas espaciales en las próximas décadas.

Bibliografía:

- European Space Agency. (2023). Space Environment Report 2023. European Space Agency.
- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee. (2021). IADC Space Debris Mitigation Guidelines. IADC.
- Joint Chiefs of Staff. (2022). Joint Publication 3-14: Joint Space Operations. U.S. Department of Defense.
- Kessler, D. J., & Cour-Palais, B. G. (1978). Collision frequency of artificial satellites: The creation of a debris belt. *Journal of Geophysical Research*, 83(A6), 2637–2646.
- National Aeronautics and Space Administration. (2021). NASA Spacecraft Conjunction Assessment and Collision Avoidance Best Practices Handbook. NASA.
- National Aeronautics and Space Administration. (2023). Orbital Debris Quarterly News. NASA Orbital Debris Program Office.
- United Nations Office for Outer Space Affairs. (2019). Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities. United Nations.
- U.S. Space Force. (2020). Spacepower: Doctrine for Space Forces. United States Space Force.
- Weeden, B., & Chow, T. (2012). Taking a common approach to space security. *Space Policy*, 28(2), 81–86.