

Contribución de los satélites de observación de la Tierra con capacidades IMINT a la Seguridad Nacional

*Fernando Touceda Rodríguez
Antonio José Medina Fuentes
Arturo Rodríguez Torres*

Resumen

Los Sistemas Espaciales de Observación de la Tierra (SEOT) son una fuente de obtención de información que permite la elaboración de la inteligencia asociada a la toma de decisiones que dan respuesta a la inmensa mayoría de las amenazas identificadas en la Estrategia de Seguridad Nacional del 2021. Por otro lado, también se han convertido en un elemento esencial para la preparación y conducción de cualquier operación llevada a cabo por las Fuerzas Armadas españolas.

Para poder comprender las capacidades que proporcionan los SEOT actualmente y las que pueden ofrecer en el futuro, se hace necesario describir cómo han ido evolucionando a lo largo de su corta historia, adaptando sus prestaciones a los últimos avances tecnológicos. Resaltar la reciente irrupción de la inteligencia artificial y de la automatización de procesos a través del *machine learning*, con la aplicación de técnicas para analizar una inmensa cantidad de datos proporcionados diariamente por constelaciones de satélites, cada vez más pequeños y más numerosos.

Los cambios en la doctrina espacial y la rápida evolución de las amenazas sobre estas capacidades, sugieren la necesidad de realizar ciertos cambios para mejorar las capacidades espaciales propias, para adaptarse a las amenazas emergentes, mantener ventajas estratégicas y asegurar la resiliencia y efectividad de estas capacidades de potencias mundiales en un entorno espacial cada vez más competitivo y conflictivo.

Palabras clave

SEOT, Inteligencia artificial, NewSpace, Constelación, Revisita.

Contribution of Earth observation satellites with IMINT capabilities to National Security

Abstract

The Earth Observing Systems (EOS) are a source to obtain information that allows the development of intelligence associated with

decision-making that responds to the vast majority of threats identified in the 2021 National Security Strategy. On the other hand, they have also become an essential element for the preparation and conduct of any operation carried out by our Armed Forces.

In order to understand the capabilities that EOS currently provide and those they can offer in the future, it is necessary to describe how they have evolved throughout their short history, adapting their features to the latest technological advances. Highlight the recent emergence of artificial intelligence and process automation through «machine learning», with the application of techniques to analyse a vast amount of data provided daily by satellite constellations, increasingly smaller and more numerous.

Changes in space doctrine and the rapid evolution of threats to these capabilities suggest the need to make certain changes to improve our space capabilities, to adapt to emerging threats, maintain strategic advantages and ensure the resilience and effectiveness of these capabilities of world powers in an increasingly competitive and conflictive space environment.

Keywords

SEOS, Artificial intelligence, NewSpace, Constellation, Revisit.

1 Introducción

La industria del cine realiza producciones cinematográficas de gran impacto para el espectador siempre que en ellas aparecen satélites con capacidades IMINT (Inteligencia de Imágenes), a partir ahora se denominarán como SEOT (Sistemas Espaciales de Observación de la Tierra). Los efectos especiales son tan excelentes que el espectador sale del cine con la sensación de que todo lo que ha visto es real: vídeo persistente sobre una zona con resolución espacial milimétrica, imágenes térmicas que permiten ver personas en el interior de edificios, capacidad para cambiar el horario de paso de los satélites por una zona y otras licencias del guionista incluidas con el fin de que el espectador vea una buena película de entretenimiento.

La física y otros factores impiden las maravillas cinematográficas descritas y establecen las capacidades reales que tienen los SEOT y lo que se puede esperar de ellos en el presente y en el futuro a corto plazo.

Se intentará dar respuesta a estas cuestiones sin olvidar el estado de la industria aeroespacial española, dejando presente que, por motivos de clasificación de la información, se omitirán datos con esta consideración. Se puede afirmar que los SEOT son una fuente de obtención de información que permite la elaboración de la inteligencia asociada a la toma de decisiones que dan respuesta a la inmensa mayoría de las amenazas identificadas en la Estrategia de Seguridad Nacional del 2021 (ESN 21).

Es necesario precisar que, como en otros campos, el desarrollo de los SEOT ha corrido en paralelo a los avances tecnológicos de cada momento. Valga como ejemplo la necesidad de disponer de la imagen lo antes posible, por parte del mando, lo que potenció el desarrollo del sensor opto-electrónico. Es decir, la actual tecnología para obtener fotos en un teléfono móvil tiene su origen en la obtención de imágenes desde cientos de kilómetros de la Tierra.

Hay muchos factores a tener en cuenta en un SEOT, aunque para este artículo se pueden utilizar tres que básicamente lo caracterizan: el sensor que obtiene la imagen, la plataforma que proporciona todos los servicios necesarios para que el sensor obtenga las imágenes y se almacenen, y las comunicaciones que permitirán transmitir la imagen a la Tierra para su posterior análisis.

El recorrido de este artículo finalizará con los desafíos de las capacidades espaciales ante las amenazas emergentes y actuales.

2 Limitación orbital. Capacidad de la constelación

Las fórmulas que permiten conocer la velocidad de un satélite alrededor de la Tierra, en función de la altura sobre esta, son sencillas. Hasta los



SISTEMAS ESPACIALES DE OBSERVACION DE LA TIERRA
OPERADOS POR LAS FAS 1995-2024



estudiantes de la ESO pueden resolver problemas relacionados con órbitas. Indicar fórmulas excede de este artículo, por lo que solo cabría precisar que, un SEOT en órbita polar, a una altura en el entorno de los 600 km, tiene las siguientes características:

- La velocidad del satélite es de 25 000 km/h.
- El tiempo en realizar una vuelta alrededor de la Tierra (una órbita), estaría entorno a los noventa minutos. La mitad de ese tiempo en la Tierra es de día y la otra es de noche, definiéndose, respectivamente, como ciclos diurno y nocturno de la órbita.
- Los satélites no necesitan combustible para mantener la velocidad indicada, su motor son las leyes de Kepler, pero sí que demandan propelente principalmente para mantener la altura, puesto que la fuerza de la gravedad de la Tierra hace que se degrade paulatinamente. Para ello, disponen de propulsores que permiten corregir su altura, realizar otras maniobras menores para minimizar el riesgo de colisiones con otros artefactos o con restos espaciales, así como correcciones de actitud para mantener su orientación con respecto a la Tierra.
- Con la velocidad indicada, los satélites alcanzan, en un día, alrededor de quince órbitas sobre la superficie terrestre. Como bien se sabe, la Tierra no está estática y, como resultado de su movimiento de rotación, la distancia en el Ecuador de dos órbitas consecutivas puede alcanzar unos 2700 km. La rotación y la configuración orbital polar, van a ser los factores que permitan que el satélite pueda acceder a prácticamente toda la superficie terrestre y, en función de la latitud de la zona, ancho de toma, número de satélites y capacidad de balanceo, se podrá cubrir el mismo punto de la superficie terrestre en uno o varios días.
- Hay un parámetro fundamental que se define durante el diseño de la órbita del satélite: la hora del paso por el Ecuador. Los SEOT se diseñan para que en el ciclo diurno de la órbita pasen por un lugar determinado siempre a la misma hora local solar, privilegiando la obtención de un hemisferio. Este tipo de órbitas se denominan «heliosíncronas». De esta manera, imágenes tomadas del mismo punto de la superficie terrestre en diferentes fechas, tendrán las mismas condiciones de iluminación, facilitándose así la labor del fotointérprete. Lo mismo ocurriría en el ciclo nocturno de la órbita.

La principal conclusión que se extrae de las características indicadas es que un solo satélite no permite acceder todos los días a cualquier parte de la superficie terrestre, su resolución temporal es baja y siempre pasa a la misma hora por un lugar determinado. Cómo se obtiene uno o varios accesos diarios a una misma zona: con una constelación compuesta por varios satélites en diferentes órbitas de tal modo que, a mayor número de

satélites, mayor número de accesos diarios. Por tanto, cuando se habla de resolución temporal de Pléiades, CSO, Blacksky, Skysat, entre otros, se hace referencia al acceso diario a una zona que permite la constelación de satélites que lo forman.

3 Capacidades de los SEOT actuales y futuro

Antes de describir el estado actual se darán unas pequeñas pinceladas históricas de los SEOT, recordando que los satélites son un reflejo de la tecnología existente en cada momento.

El 4 de octubre de 1957 la URSS, con el Sputnik, es el primer país que logra lanzar un satélite artificial con una carga útil dedicada a medir diversos parámetros de la atmósfera. Tuvo una vida útil de tres semanas. A los tres meses y tras completar 1440 órbitas, se desintegró en su reentrada a la atmósfera. Este fue el primer hito de la llamada «carrera espacial» de los EE. UU y la URSS, que culminó con el americano Neil Armstrong pisando la superficie lunar el 20 de julio 1969.

Los EE. UU. trabajaron en varios proyectos, todos clasificados, destacando el programa secreto Corona, desarrollado por la CIA. Consistente en un programa de reconocimiento de la Tierra y en el contexto de la Guerra fría, permitió desde 1960 hasta 1972, la obtención de fotografías¹ de zonas de la URSS y de otros potenciales adversarios. El 19 de agosto de 1960 la CIA recuperó las primeras imágenes de este satélite, mediante una cápsula de reentrada en la atmósfera y su posterior captura desde un avión.

Desde finales de los años cincuenta y hasta mediados de los ochenta, la tecnología para obtener imágenes era la fotográfica (procesos químicos) y, atendiendo a los factores principales de un satélite, se consideraban las siguientes características:

- El sensor era un objetivo de alta calidad óptica.
- La plataforma albergaba un contenedor de película con una bobina de acetato de sales de plata que podía llegar hasta los 10 000 m.
- Las comunicaciones consistían en separar la cápsula que albergaba la película ya sensibilizada a la Tierra y, en su fase final, ralentizar su llegada con el despliegue de un paracaídas y la recuperación por un avión, mediante una canasta de recogida diseñada al efecto. Ni que decir tiene, que varias cápsulas nunca fueron recuperadas. Una vez en tierra se realizaba el procesado químico de revelado de la película y su posterior envío a los analistas de imagen.

¹ Sin entrar en definiciones conceptuales, una fotografía es aquella obtenida por procesos químicos, teniendo como material sensible una emulsión de sales de plata sobre un acetato o cristal, mientras que una imagen es la obtenida utilizando dispositivos que transforman la luz en datos digitales que forman la misma.

Con la misión del Discover XIII de los EE. UU, lanzado el 10 de agosto de 1960, se consigue recuperar, por primera vez en la historia, un objeto lanzado al espacio, en este caso la cápsula con la película sensibilizada.

Con el paso de los años, los satélites mejoran sus prestaciones en relación al instrumento óptico, las bandas del espectro electromagnético que adquirían y la resolución espacial. Pero seguía siendo necesario el envío de la película fotográfica a la Tierra, que ralentizaba el acceso a la información por parte de los fotointérpretes. Conscientes de esta limitación, la Fuerza Aérea Americana y la Central de Inteligencia Americana, promueven la investigación de sensores que no utilizasen técnicas fotoquímicas para la formación de la imagen, desarrollando el CCD (dispositivo de carga acoplada) como sustituto de las sales de plata. La cinta magnética regrabable, en lugar de la película fotográfica, como soporte de almacenamiento masivo a bordo del satélite². Todo ello junto con la posterior transmisión de la señal portadora de la imagen a antenas receptoras en tierra. El 19 de diciembre de 1976, con el lanzamiento de un satélite americano denominado KH-11, comienza la era digital de los SEOT.

El estado actual de los SEOT está teniendo un desarrollo que solo puede calificarse como espectacular. Hay SEOT que, al no poder descargar la imagen obtenida inmediatamente a una antena receptora en tierra, la envía a satélites geoestacionarios para su descarga en estaciones terrenas, disminuyendo significativamente la latencia y el tiempo necesario para que la imagen esté a disposición del analista.

Los SEOT convencionales ópticos y radar como son el PAZ, CSO, CosmoSkymed NG y Pléiades, entre otros, se han adaptado al tiempo actual. La mayor parte de ellos son de uso dual (civil/militar) para repartir los altos costes de diseño, fabricación y lanzamiento. Permiten a los países participantes disponer de una soberanía y discreción en el empleo militar del SEOT, fiabilidad de los diferentes subsistemas que lo forman y una alta vida útil.

La irrupción del concepto «NewSpace», consiste en empresas con capital privado que desarrollan, en breve tiempo, necesidades concretas de clientes en plataformas pequeñas (mini satélites). Los costes de puesta en órbita son relativamente pequeños, al asociarse diferentes proyectos de empresas en un solo lanzamiento. Hace quince años el club de los países que tenían un SEOT era muy limitado, ahora, cualquier país tiene la posibilidad de poner en órbita un SEOT aunque esté muy limitada la calidad de la imagen, la recepción y explotación de la información obtenida y el tiempo en órbita (normalmente pocos años).

² Actualmente son discos duros de varios TB de almacenamiento.

El «NewSpace» está permitiendo el desarrollo de grandes constelaciones de satélites comerciales pequeños con altas resoluciones espectrales, temporales y espaciales. Valga como ejemplo la constelación Albedo³ que tiene previsto el lanzamiento de sus primeros satélites (hasta un total de veinticuatro) para la primera mitad de 2025, con una resolución espacial de 10 cm en la banda pancromática, 40 cm en las bandas multispectrales (rojo, verde, azul e infrarrojo cercano), 2 m en la banda del infrarrojo lejano (térmico) y, con la constelación completa, seis accesos diarios a cualquier parte de la superficie terrestre.

El «NewSpace» podría ser un complemento ideal para los SEOT tradicionales, teniendo presente que la discrecionalidad que ofrece el convencional difícilmente se podrá alcanzar con estas nuevas constelaciones, en su mayoría comerciales.

Otro concepto de actualidad muy relacionado con la información que proporcionan los SEOT, es la inteligencia artificial (IA). Uno de los valores añadidos que proporciona esta tecnología es la entrega de un producto elaborado automáticamente que sirva a las necesidades del cliente (detección de cambios e identificación de materiales, entre otros) utilizando procesos IA en tierra, e incluso a bordo del mismo satélite.

En cuanto al futuro de los SEOT, solo se puede hablar a corto plazo (cinco a diez años) señalando las siguientes características:

- Miniaturización de componentes, permitiendo satélites más pequeños, menos pesados y más ágiles.
- Aumento de la vida útil del SEOT con la sustitución del combustible sólido por propulsión eléctrica para realizar las necesarias correcciones orbitales en altura, evasión de artefactos y actitud del satélite, entre otros.
- Alta calidad en los productos procesados a bordo a partir de las imágenes obtenidas gracias a la evolución de la IA y desarrollos asociados a la misma, como el deep learning.
- Aumento del número de bandas espectrales obtenidas.
- Mayor número de accesos diarios a una zona gracias a constelaciones numerosas de satélites, combinado con diferentes inclinaciones orbitales de los mismos.

4 Capacidades actuales y futuras de los SEOT en las FF. AA.

Las Fuerzas Armadas españolas, conscientes de la necesidad de obtener imágenes con fines de inteligencia militar que permitan al mando realizar una adecuada estimación de los riesgos, firmó con Francia e Italia

³ Página oficial SEOT Albedo (marzo 2024). Disponible en: <https://albedo.com>

su adhesión al programa del SEOT óptico Helios 1, lanzándose el primer satélite en 1995. Con posterioridad se participó en el programa del SEOT óptico Helios 2 y el SEOT dual Pléiades HR-1⁴. Con la finalización del programa Helios 2, en diciembre de 2021, y mediante acuerdo bilateral con Francia, se está participando en la actualidad en el SEOT óptico CSO⁵. Por otro lado, al objeto de que las FF. AA tuviesen la capacidad de obtención todo el tiempo, el Ministerio de Defensa firmó, en 2008, un acuerdo marco con la empresa Hisdesat por el que se recibirían diariamente una cuota determinada de imágenes del satélite PAZ, que dispone de un instrumento de radar de apertura sintética (SAR). El lanzamiento del satélite PAZ tuvo lugar en febrero de 2018, desde la Base de Vandenberg (California). Según Hisdesat, las últimas previsiones de vida del sistema hacen indicar que estará operativo hasta 2034.

Los recientes conflictos armados en Ucrania y en la franja de Gaza, en los que existe un gran número de actores con intereses de información sobre estas zonas, han puesto de manifiesto la dificultad que existe a la hora de obtener una imagen satélite sobre áreas en conflicto. Las grandes potencias disponen de contratos con los principales proveedores comerciales, que copan la capacidad de obtención para el resto de usuarios en estas zonas. Por otro lado, en los sistemas multinacionales gubernamentales, el país con el mayor porcentaje de participación actúa de la misma forma, y dificulta la obtención de aquellos gobiernos con menor porcentaje.

El empleo operativo del SEOT PAZ, a través de un modelo de uso dual del sistema (militar-civil), provee a las FF. AA la capacidad de obtener imágenes radar de forma discreta, prioritaria e independientemente de las condiciones atmosféricas.

Considerando lo anterior, solo los SEOT de fabricación y explotación nacional pueden proporcionar la flexibilidad necesaria para apoyar una respuesta autónoma en un escenario de interés prioritario para España y dicha información no tiene que ser conocida o estar controlada por un gobierno extranjero o por una compañía comercial.

Todo parece indicar que la industria nacional está en condiciones de acometer este reto tecnológico. Por tanto, desde el Ministerio de Defensa, se está haciendo lo posible para tratar de impulsar el desarrollo de sistemas nacionales en los espectros visible, infrarrojo y radar, para que en el futuro se pueda dotar a las FF. AA de estas capacidades de una forma autónoma, discreta y prioritaria.

⁴ La operación de este sistema, por parte de las FF. AA, finaliza en 2012 por falta de recursos económicos.

⁵ El acuerdo técnico con Francia contempla la adhesión al programa CSO por un periodo inicial de cinco años que comenzó en febrero de 2024, más otro opcional de otros cinco años, por lo que la operación del sistema se podría alargar hasta 2034.

Tener este tipo de capacidades nacionales, implicará un incremento considerable de las imágenes que se reciben a diario, pero con similar capacidad de análisis de la información que se dispone actualmente y que se traducirá en que:

- Las herramientas de inteligencia artificial y machine learning jugarán un papel muy importante en el futuro.
- El flujo de trabajo actual tendrá que ir cambiando a un sistema automático de indicadores y alertas⁶, que advierta al analista solo de aquellas imágenes en las que se detecte algo relevante que haya sido previamente definido⁷.

Todo esto sin olvidarnos de las posibilidades que se puedan ofrecer en el futuro a través del concepto «NewSpace», si la industria nacional es capaz de llegar a resoluciones espaciales por debajo de los 50 cm, con grandes constelaciones de satélites pequeños que mejoren considerablemente la capacidad de revisita, la posibilidad de captura de vídeo y el procesamiento de las imágenes a bordo con herramientas de IA. Impulsar desde los estamentos públicos los desarrollos de I+D+i de estas capacidades espaciales, se considera fundamental para poder alcanzar este objetivo.

Todo lo anterior conduce a otro concepto denominado «oportunidad en la obtención»⁸. La tecnología está consiguiendo actualmente capacidades de los SEOT inimaginables en el siglo pasado, que junto con la apuesta de la empresa privada por el acceso al espacio, está permitiendo constelaciones de diferentes SEOT, trasvases de imágenes entre los mismos para su descarga en antenas de recepción terrenas y su inmediata puesta a disposición de los analistas de imagen. A corto plazo, no cabe duda que permitirá, con la adecuada y permanente financiación en el tiempo, estar en condiciones de comunicar al mando que su necesidad puede ser cubierta en un plazo de unas horas desde su solicitud.

⁶ La Estrategia de Seguridad Nacional 2021 promueve el desarrollo de capacidades nacionales para hacer frente a situaciones de crisis, a través de un sistema de indicadores críticos de los distintos ámbitos de la Seguridad Nacional, cuya monitorización y análisis permitan desplegar acciones preventivas y, llegado el caso, la ejecución de medidas de respuesta y conducción en tiempo oportuno.

⁷ Por ejemplo, si se está haciendo el seguimiento de actividad aeronáutica en una determinada base aérea, el sistema de IA debería alertar de forma inmediata al analista de imágenes, si se obtiene una imagen en la que ha variado el número de aeronaves respecto de la obtenida anteriormente.

⁸ La oportunidad en la obtención se define como un conjunto de acciones que deben permitir, ante una crisis de cualquier tipo, estar en condiciones de poder satisfacer los requerimientos IMINT del mando o autoridad en el menor tiempo posible, de tal forma que se contribuya a disminuir los tiempos de respuesta a las crisis permanentes y emergentes, tal y como se establece en la ESN 21.

5 Desafíos de las capacidades espaciales ante las amenazas emergentes y actuales

Durante décadas se ha seguido el método de pasar años desarrollando costosos satélites y luego programar lanzamientos para ponerlos en órbita con meses o más tiempo de antelación. Una vez situados, esos satélites permanecen en sus órbitas, preservando la mayor cantidad de combustible posible, porque cuando ese combustible se haya consumido, su vida útil se habrá terminado.

Ante la rápida evolución de las amenazas que se están produciendo sobre las capacidades espaciales, actualmente se está repensando la anterior fórmula mediante la planificación, construcción y el lanzamiento en órbita de grandes constelaciones de satélites mucho más pequeños. Este concepto permite la estrategia de resiliencia del servicio.

Además, se está añadiendo un nuevo reto: operaciones dinámicas. Ya sea entregando satélites en órbita en días, maniobrando los satélites con más frecuencia y de forma activa, o repostándolos en órbita, se está empezando a remodelar los conceptos operativos para responder y mantenerse a la vanguardia en un dominio cada vez más complejo e impredecible.

La rapidez de puesta en órbita y la resiliencia en órbita se han convertido en principios fundamentales que se deben alcanzar para minimizar el impacto que las actuales y futuras amenazas tienen sobre las capacidades espaciales.

La urgencia de estos nuevos requisitos está impulsada por las amenazas que los operadores ven hoy en día, donde China, Rusia y otros tienen la capacidad de destruir satélites cruciales, cegando potencialmente a sus adversarios, principalmente a Estados Unidos, pero también a otras naciones con capacidades espaciales.

La doctrina espacial de Estados Unidos de junio de 2020 incluía la Movilidad Espacial y la Logística (SM&L) entre las cinco competencias básicas que la USSF necesitaba demostrar.

Fundamentalmente, SM&L incluye «el movimiento y el apoyo del equipo y personal militar... a través del dominio espacial», así como la capacidad de sostener, actualizar y recuperar naves espaciales en órbita, según esta doctrina.

Sin embargo, el concepto ha evolucionado con el tiempo. Actualmente se habla de maniobras casi continuamente, de modo que el satélite, ante cualquier detección de amenaza, muestre que está maniobrando y está cambiando constantemente su órbita, preservando la misión, pero cambiando su órbita.

Tal maniobra no es posible con los satélites que los EE. UU. tienen actualmente en órbita, que solo se lanzaron con suficiente propelente para mantenerse en su situación y nunca fueron diseñados para ser reabastecidos.

Uno de los principios de la guerra es la maniobra. Así que ahora en el dominio espacial aparece la necesidad de aplicarlo también. Esto es el futuro y queda un largo camino por recorrer antes de que el reabastecimiento espacial sea rutinario. Pero la industria está dando respuestas a estos conceptos mediante puertos de reabastecimiento en el espacio (startup Orbit Fab).

Northrop Grumman está ofreciendo reabastecimiento de combustible en órbita a través de su subsidiaria, SpaceLogistics. El proveedor de terminados Blue Origin presentó recientemente su Blue Ring, una nueva nave espacial «enfocada en proporcionar logística y entrega en el espacio», incluido el combustible. Este tipo de capacidades van a complicar el cálculo del adversario. Va a desafiar su pensamiento.

El reabastecimiento de combustible no es el único cambio importante que viene en la forma en la que se hace necesario responder a las nuevas amenazas y requisitos. EE. UU. también está avanzando con su programa Tactically Responsive Space (TacRS), para llevar los satélites a la órbita más rápido que nunca. La capacidad de mover esos satélites y, si es necesario, reemplazarlos rápidamente, cambia los cálculos de costos de cualquier adversario.

Sin embargo, ser más dinámico y receptivo vendrá con posibles desafíos. El mando y el control (C2) en el espacio está a punto de volverse mucho más complejo si los satélites suben más rápido que nunca y se mueven una vez que alcanzan la órbita, especialmente teniendo en cuenta los efectos catastróficos que puede tener una colisión en el espacio. Es necesaria mucha más capacidad C2.

Este enfoque más flexible cambia «la forma de hacer conciencia del dominio espacial». Hacer un seguimiento de un objeto que se mueve dinámicamente es fundamentalmente diferente a cualquier cosa que se hace actualmente. Eso plantea desafíos para una potencia como es EE. UU., pero desafíos aún mayores para los posibles adversarios.

Los cambios en la doctrina espacial y nuevos requisitos, como los mencionados anteriormente, sugieren la necesidad de realizar ciertos cambios para mejorar las capacidades espaciales propias, como lanzar satélites más rápido, tener constelaciones mayores y tener resiliencia en órbita mediante maniobrabilidad, capacidad de repostaje, respuesta dinámica de cambio de posición o de órbita ante una detección de amenaza.

Se pueden identificar algunos cambios requeridos para conseguir la mejora de las capacidades espaciales ante las amenazas potenciales actuales y futuras:

- Lanzamiento de satélites más rápido: para satisfacer la demanda de capacidades de respuesta rápida, simplificar el proceso de lanzamiento de satélites y reducir los tiempos de implementación son esenciales.
- Constelaciones mayores: aumentar el número de elementos que componen las constelaciones de satélites puede mejorar la cobertura, la redundancia y la flexibilidad operativa en las actividades espaciales.
- Resiliencia en órbita:
 - Maniobrabilidad: los satélites con capacidades de maniobra mejoradas pueden evitar amenazas y adaptarse a las dinámicas orbitales cambiantes.
 - Capacidad de repostaje: introducir mecanismos de repostaje puede extender la vida útil de los satélites y mejorar la capacidad operativa de maniobra.
 - Respuesta dinámica a amenazas: implementar sistemas de detección de amenazas en tiempo real y mecanismos de respuesta automatizada rápida pueden garantizar respuestas inmediatas ante potenciales peligros mediante cambios de posición o de órbita.

En conclusión, integrar estos cambios en los Sistemas Espaciales de Observación de la Tierra será fundamental para adaptarse a las amenazas emergentes, mantener ventajas estratégicas y asegurar la resiliencia y efectividad de estas capacidades de las potencias mundiales en un entorno espacial cada vez más competitivo y conflictivo.

Bibliografía

- Defense Space Strategy. (2020). Department of Defense of United States of America.
- Doctrina de Operaciones en el Ámbito Aeroespacial. (2022). *Publicación Doctrinal Conjunta PDC-3.3*. Estado Mayor de la Defensa.
- Gosnold. (2017). Smallsat constellations [en línea]. *SatelliteObservation*. [Consulta: 7 de enero de 2024]. Disponible en: <https://satelliteobservation.net/2017/02/11/smallsat-constellations/>
- Hadley, G. (2024a). Fast & Flexible Space. *Air & Space Forces Magazine*. Vol. 107, N.º 1 y 2. ISSN: 0730-6784. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://www.airandspaceforces.com/article/fast-flexible-space/>

- . (2024b). SPACECOM Boss: 'It's Time' to Embrace In-Orbit Servicing, Refueling for Satellites. *Air & Space Forces Magazine*. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://www.airandspaceforces.com/spacecom-boss-its-time-to-embrace-in-orbit-servicing-refueling-for-satellites/>
- Lang, S. W. (2016). *Project Corona: America's first photo reconnaissance satellite*. [Consulta: 2024]. Disponible en: https://www.army.mil/article/173155/project_corona_americas_first_photo_reconnaissance_satellite
- Martínez Cortés, J. M. (s. f.). *El espacio ultraterrestre. Necesidad de una estrategia de defensa*. Instituto Universitario General Gutiérrez Mellado, UNED. [Consulta: 2024].
- Presidencia del Gobierno. (2021). *Estrategia de Seguridad Nacional 2021*. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://www.dsn.gob.es/es/documento/estrategia-seguridad-nacional-2021>
- Secretary of the Air Force Public Affairs. (2023). Remarks by CSO Gen. Chance Saltzman at the Space Force Association Spacepower Conference, Published Dec. 20, 2023. *United States Spaces Force*. ORLANDO, Fla. (AFNS). [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://www.spaceforce.mil/News/Article-Display/Article/3623358/remarks-by-cso-gen-chance-saltzman-at-the-space-force-association-spacepower-co/>