

LIBRO I

DOMINIO ESPACIAL

**Poder, Competencia y Estrategia en la Militarización
del Espacio en el Siglo XXI**

Editores Académicos:

**Carlos Enrique Álvarez Calderón
Leidy Diana Girón Hernández**



EMAVI
SELLO EDITORIAL

Catalogación en la publicación - Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”

Dominio Espacial: Poder, Competencia y Estrategia en la Militarización del Espacio en el Siglo XXI

Dominio Espacial Poder, Competencia y Estrategia en la Militarización del Espacio en el Siglo XXI.
/ Editores académicos: Álvarez Calderón, Carlos Enrique; Girón Hernández, Leidy Diana; -Santiago de Cali: Sello Editorial Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” EMAVI; 2025.

324 páginas; ilustraciones col, cuadros, gráficos; 17x24 cm.

Incluye bibliografía al final

1ra. Edición:

ISBN: 978-628-7865-07-5

ISBN (Digital): 978-628-7865-10-5

1.- Espacio Exterior– Colombia 2. Espacio ultraterrestre– Colombia – 3. Militarización espacial-
4. geopolítica

I. Córdoba Avendaño, Luis Carlos (prefacio); II. Álvarez Calderón, Carlos Enrique (autor); III. Salamanca Rodríguez, Edgar Alexander (autor); IV. Rojas Castro, Giovanni (autor); V. Barrero-Barrero, David (autor); VI. Baquero Valdés, Fabio (autor); VII. Ganem Hernández, Naily Akid (autor); VIII. Sánchez Pesca, Kerly (autor); IX. Poveda Zamora, Guillermo Alberto (autor); X. Roza Cepeda, Yerim Andrés (autor); XI. Mancera Perilla, María Paula (autor); XII. Mallarino Velandia, Eliana Jhasbleidy (autor); XIII. Colombia. Fuerza Aeroespacial Colombiana. Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” (EMAVI).

358 -dc 21.

LC UG633.A48 2005

Catálogo SIBFuP 991390324207231



Dominio Espacial: Poder, Competencia y Estrategia en la Militarización del Espacio en el Siglo XXI

© Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” (EMAVI)

© EMAVI Sello Editorial

© Carlos Enrique Álvarez Calderón y Leidy Diana Girón Hernández (eds. académicos)



Esta publicación se desarrolló con el aval y apoyo institucional de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana - EPFAC, que facilitó los recursos necesarios para su realización.

Institución colaboradora

Dirección

Brigadier General Oscar Mauricio Gómez Muñoz

Escuadrón Investigación EMAVI

Carrera 8 # 58-67 (La Base) Cali-Colombia

Teléfono: +57 (2) 488 1000, Ext. 68841

Subdirección

Coronel Luz Stella Franco Yopez

Subdirectora y Jefe de Estado Mayor

Apoyo Gestión de Publicaciones Científicas

PS. Diana María Mosquera Taramuel

diana.mosquerat@emavi.edu.co

Comando Grupo Académico

Teniente Coronel Germán Andrés Arias Cortés

Corrección de Estilo:

Lorena Marcela Bustos Tamayo

Comandante Escuadrón Investigación y Jefe Sello Editorial

Mayor Héctor Fabio Calvo Valencia

Diseño y Diagramación Editorial:

Paola Forero Tamayo

Comandante Escuadrilla de Formación y Desarrollo Investigativo

Teniente Juan Pablo Contreras Sabogal

1ra. Edición: 100 ejemplares

Santiago de Cali, Valle del Cauca, 2025

Publicado en Colombia–Published in Colombia

Las instituciones editoras de esta obra no se hacen responsable de las ideas expuestas bajo su nombre, las ideas publicadas, los modelos teóricos expuestos o los nombres aludidos por los autores. El contenido publicado es responsabilidad exclusiva de los autores, no refleja la opinión de las directivas, el pensamiento institucional de las Universidades editoras, ni genera responsabilidad frente a terceros en caso de omisiones o errores.

El Sello Editorial de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons, que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente.

LIBRO I

DOMINIO ESPACIAL

**Poder, Competencia y Estrategia en la Militarización
del Espacio en el Siglo XXI**

Editores académicos:

Carlos Enrique Álvarez Calderón
TC. Leidy Diana Girón Hernández

Autores:

Carlos Enrique Álvarez Calderón, Édgar Alexander Salamanca Rodríguez, Giovanni Rojas Castro, Eliana Jhasbleidy Mallarino Velandia, David Barrero-Barrero, Fabio Baquero Valdés, Naily Akid Ganem Hernández, Kerly Sánchez Pesca, Guillermo Alberto Poveda Zamora, Yerim Andres Rozo Cepeda y María Paula Mancera Perilla.



EMAVI
SELLO EDITORIAL



**Consulta nuestras publicaciones también en el
Sistema de Información de Bibliotecas de la Fuerza Pública
- SIBFuP**

Contenido relacionado

<https://www.emavi.edu.co/es/investigacion/editorial-emavi>

Citanos:

Álvarez Calderón, C. E. y Girón Hernández, L. D. (Eds. académicos) (2025). *Dominio Espacial: Poder, Competencia y Estrategia en la Militarización del Espacio en el Siglo XXI*. EMAVI Sello Editorial.

Palabras clave: aeroespacial, Colombia, estrategia, innovación, militarización, poder, seguridad, espacio exterior.

CONTENIDO

Prefacio.....	7
----------------------	----------

Prólogo.....	9
---------------------	----------

Capítulo 1.

Great Power Competition y la Militarización del Espacio en el siglo XX.....	13
--	-----------

Carlos Enrique Álvarez Calderón

/ Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

BG. Edgar Alexander Salamanca Rodríguez

/ Fuerza Aeroespacial Colombiana

CR. Giovanni Rojas Castro

/ Fuerza Aeroespacial Colombiana

Capítulo 2.

Competencia Estratégica y Armamentización del Dominio Espacial en el siglo XXI.....	73
--	-----------

Carlos Enrique Álvarez Calderón

/ Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

CR. Eliana Jhasbleidy Mallarino Velandia

/ Fuerza Aeroespacial Colombiana

Capítulo 3.

Militarización Espacial: Supervivencia Humana respecto a la Seguridad Nacional.....	125
--	------------

David Barrero-Barrero

Fabio Baquero Valdés

Naily Akid Ganem Hernández

/ Escuela Superior de Guerra “Rafael Reyes Prieto”

Capítulo 4.

Órbitas Estratégicas: Física Fundamental de la Guerra Orbital y el Combate Astrodinámico en el Segunda Región Astropolítica.....155

Carlos Enrique Álvarez Calderón

/ Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

MG. Kerly Sánchez Pesca

/ Fuerza Aeroespacial Colombiana

CR. Guillermo Alberto Poveda Zamora

/ Fuerza Aeroespacial Colombiana

Capítulo 5

NavWar: Estrategia de Contrapoder Espacial.....233

CR. Guillermo Alberto Poveda Zamora

/ Fuerza Aeroespacial Colombiana

Carlos Enrique Álvarez Calderón

/ Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

Capítulo 6.

El Uso Militar del Espacio Exterior: Comparando los Casos de la Guerra del Golfo y la Guerra Ruso-Ucraniana.....283

Carlos Enrique Álvarez Calderón

CR. Yerim Andrés Rozo Cepeda

TC. María Paula Mancera Perilla

/ Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

PREFACIO

El amanecer del siglo XXI ha marcado el inicio de una era transformadora, en la que la convergencia de tecnologías avanzadas, imperativos estratégicos y aspiraciones globales han reconfigurado la esencia misma del compromiso humano con el cosmos. Para Colombia, una nación que lucha por redefinir su posición en el escenario global, la exploración y utilización del espacio exterior ofrecen una oportunidad sin precedentes para aprovechar la innovación, fomentar el desarrollo nacional y contribuir a la estabilidad internacional.

En tal sentido, este libro titulado *Dominio Espacial: Poder, Competencia y Estrategia en la Militarización del Espacio en el Siglo XXI*, refleja un esfuerzo colectivo de la Fuerza Aeroespacial Colombiana para abordar las profundas implicaciones de la militarización del espacio y articular una visión para el compromiso estratégico de Colombia con este dominio crítico.

El espacio ultraterrestre se ha convertido en una piedra angular de la civilización moderna, impulsando avances en las comunicaciones, la navegación y el monitoreo ambiental, al mismo tiempo que emerge como un dominio disputado donde se desenvuelven rivalidades geopolíticas. Desde la carrera espacial de la Guerra Fría hasta la militarización actual de las órbitas, las aspiraciones de la humanidad en el espacio están entrelazadas con la dinámica del poder, la competencia y la cooperación. Esta realidad subraya la necesidad de que las naciones, en particular las potencias emergentes como Colombia, desarrollen estrategias integrales que aprovechen el potencial del espacio para el desarrollo pacífico y la seguridad nacional.

Este libro representa una contribución fundamental al discurso académico y estratégico sobre el espacio. Cada capítulo profundiza en temas críticos, desde la trayectoria histórica de la competencia espacial entre las grandes potencias hasta los desafíos contemporáneos de la guerra espacial, la soberanía tecnológica y la gobernanza del dominio espacial. Destaca la trayectoria, las aspiraciones y las iniciativas de Colombia, plasmadas en programas como el FACSAT y su compromiso de fomentar una cultura aeroespacial, mientras se prepara para enfrentar los desafíos de este entorno complejo.

La Fuerza Aeroespacial Colombiana ha comprendido desde hace mucho tiempo que el dominio del aire, el espacio y el ciberespacio no es simplemente una cuestión de avance tecnológico sino una transformación cultural. Este libro es a la vez un reflejo de este espíritu y una guía para los esfuerzos futuros

encaminados a fortalecer el papel de Colombia en la comunidad espacial mundial. Al integrar la interpretación histórica como ciencia humana, la formulación y proyección de la estrategia como arte de la acción orientada a objetivos, y los procesos de innovación como prácticas de transformación y mejoramiento, este capítulo ofrece una aproximación multidimensional a la interacción crítica entre poder, seguridad y progreso científico en el espacio.

Por consiguiente, estas breves líneas tienen por objeto invitar a los académicos, profesionales y formuladores de políticas a explorar las complejidades del espacio como un dominio de oportunidades y riesgos. Llama a los lectores a reconocer el potencial transformador de la exploración espacial para Colombia y a sumarse a la visión de un futuro en el que el espacio no sea solo un dominio de interés estratégico sino una frontera compartida y cooperativa para toda la humanidad.

En nombre de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, extendiendo mi gratitud a los colaboradores de este volumen, cuya experiencia y dedicación han hecho posible esta publicación. Confío en que este libro inspirará debates informados, iniciativas audaces y estrategias visionarias que darán forma al futuro de la participación de Colombia en el ámbito espacial.

General Luis Carlos Córdoba Avendaño

Comandante

Fuerza Aeroespacial Colombiana

2025

PRÓLOGO

En la vasta extensión geográfica que se proyecta más allá de la atmósfera de la Tierra se encuentra un dominio que ha cautivado la imaginación de la humanidad y ha desafiado su ingenio: el espacio exterior. El espacio, que, en el pasado fue el reino de los sueños y las aspiraciones lejanas, se ha convertido en el último teatro de la ambición humana, donde el descubrimiento científico y la innovación tecnológica se encuentran con la competencia geopolítica y la estrategia militar. En este intrincado y cambiante panorama, la Fuerza Aeroespacial Colombiana busca establecer una voz y una presencia, abogando por el uso responsable, la previsión estratégica y las capacidades robustas en esta última frontera.

A medida que avanza el siglo XXI, la militarización del espacio refleja la búsqueda de la humanidad de seguridad y dominio en medio de un orden global cada vez más complejo. El espacio ya no es un santuario exclusivo de la exploración científica; es una arena disputada donde los Estados afirman su poder y salvaguardan sus intereses. La dinámica de esta competencia, moldeada por los avances en la tecnología satelital, la inteligencia basada en el espacio y las estrategias contra-espaciales, ofrece tanto oportunidades como desafíos para actores emergentes como Colombia. Para un Estado como el colombiano, estratégicamente posicionada en el ecuador, el desarrollo de capacidades espaciales no es meramente un esfuerzo tecnológico sino una visión transformadora para su seguridad nacional, crecimiento económico y posición global.

Por consiguiente, esta publicación de investigación científica titulada *Dominio Espacial: Poder, Competencia y Estrategia en la Militarización del Espacio en el Siglo XXI*, aborda estos elementos críticos a través de las lentes de la historia, la formulación y el trazado de la estrategia, y el mejoramiento de la tecnología. De ahí que la exploración y militarización del espacio se han convertido en elementos definitorios del poder y la seguridad global en el siglo XXI. El libro examina las dimensiones multifacéticas de esta transformación, presentando una comprensión matizada de cómo el espacio está reconfigurando los paisajes estratégicos y las ambiciones nacionales. Con base en lo anterior, el libro se estructura en cinco capítulos, a saber:

El Capítulo 1, titulado “La competencia entre grandes potencias y la militarización del espacio en el siglo XX”, analiza la carrera espacial de la era de la Guerra Fría, destacando la rivalidad entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Explora cómo esta competencia estableció al espacio como un dominio fundamental para afirmar el dominio tecnológico y estratégico.

El Capítulo 2, titulado “Competencia Estratégica y Armamentización del Dominio Espacial en el siglo XXI”, aborda la dinámica actual de la competencia espacial entre Los Estados, con un enfoque en los avances tecnológicos, el surgimiento de nuevos actores espaciales y el equilibrio cambiante de poder en un mundo multipolar.

El Capítulo 3, titulado “Militarización Espacial: Supervivencia Humana respecto a la Seguridad Nacional”, profundiza en la naturaleza de doble uso de las tecnologías espaciales y las implicaciones de la militarización de los activos espaciales para la supervivencia humana y la seguridad global.

El Capítulo 4, titulado “Órbitas Estratégicas: Física Fundamental de la Guerra Orbital y el Combate Astrodinámico en el Segunda Región Astropolítica”, examina los fundamentos de la física y la mecánica orbital, y su influencia en el desarrollo de las operaciones militares en los regímenes orbitales de la Tierra.

El Capítulo 5, titulado “NavWar: Estrategia de Contrapoder Espacial”, analiza el uso de la guerra electrónica y cibernética para afectar los sistemas de navegación satelitales, explorando a su vez las estrategias y tecnologías diseñadas para proteger estos sistemas de los adversarios. Finalmente, el Capítulo 6, titulado “El uso militar del espacio ultraterrestre: análisis comparativo de la Guerra del Golfo y la Guerra Ruso-Ucraniana”, ofrece un análisis comparativo de cómo se han empleado las tecnologías espaciales en los conflictos modernos, ilustrando su papel transformador en las operaciones militares.

Cada capítulo está elaborado meticulosamente por expertos de diversos campos, lo que garantiza una perspectiva multidimensional sobre las intersecciones de la ciencia, la defensa y la política. Al entrelazar estos temas, este libro busca arrojar luz sobre el papel fundamental del espacio en la configuración del futuro de la seguridad, la defensa y la gobernanza global. Cada capítulo de este libro contribuye a una comprensión más amplia de los desafíos y las oportunidades que plantea la militarización y armamentización del espacio, ofreciendo perspectivas para el compromiso

estratégico de Colombia con este dominio crítico. Dejemos por lo tanto que este libro sirva como un faro para investigadores científicos, formuladores de políticas y profesionales que se esfuerzan por navegar por las complejidades de la era espacial con sabiduría, ambición y propósito.

CAPÍTULO 1.

Great Power Competition y la Militarización del Espacio en el siglo XX^{1*}

Carlos Álvarez Calderón²

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

BG. Edgar Alexander Salamanca Rodríguez³

CR. Giovanni Rojas Castro⁴

Fuerza Aeroespacial Colombiana

Resumen: Este capítulo explora la competencia espacial entre grandes potencias y su impacto en la seguridad global. Analiza cómo el espacio ha evolucionado de un dominio de exploración científica a un ámbito estratégico clave para el poder militar y la tecnología. A partir del concepto de Great Power

1 * Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación “Desarrollo Espacial en Colombia y aportes de la Fuerza Aeroespacial Colombiana”, del grupo de investigación “GICMA” de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, categorizado en A por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL140489. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

2 Profesional Oficial de Reserva de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Candidato a Doctor en Estudios Estratégicos, Seguridad y Defensa de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Magister en Relaciones Internacionales de la Pontificia Universidad Javeriana y Magister en Coaching Ontológico Empresarial de la Universidad San Sebastián (Chile). Politólogo de la Pontificia Universidad Javeriana. Becario del Centro de Estudios Hemisféricos de Defensa “William J. Perry”. Docente Investigador de la Escuela Superior de Guerra, Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Escuela de Inteligencia Aérea y Academia Naval de Estudios Estratégicos. Columnista de la Revista Aeronáutica de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Código ORCID: 0000-0003-2401-2789. Contacto: carlos.alvarez@esdeg.edu.co.

3 Brigadier General de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Administrador Aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”. Magister en Seguridad y Defensa Nacional, Especialista en Comando y Diplomado del Curso de Altos Estudios Militares de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Oficial con formación en Altos Estudios Militares. Diplomado del Programa de Alta Dirección Empresarial – PADE en la Universidad de la Sabana. Actualmente se desempeña como Jefe de Educación Aeronáutica y Espacial. Código ORCID: 0009-0007-7760-9585. Contacto: edgar.salamanca@fac.mil.co

4 Oficial de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Administrador Aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”, Especialista en Seguridad y Defensa Nacional de la Escuela Superior de Guerra. Código ORCID: 0009-0000-8863-5649 Contacto: giovanni.rojas@fac.mil.co.

Competition, se examinan las dinámicas de rivalidad y cooperación entre Estados Unidos y la Unión Soviética, y sus esfuerzos por dominar el espacio exterior en el Siglo XX. El capítulo también revisa cuatro doctrinas sobre el uso del espacio: Santuario, Supervivencia, Control y Terreno Elevado, cada una proponiendo diferentes aplicaciones estratégicas. Finalmente, se destacan los riesgos y oportunidades de esta militarización, señalando la importancia de desarrollar capacidades espaciales en países emergentes, como Colombia, para mantener una posición competitiva en un contexto geopolítico cada vez más complejo. Este análisis es esencial para comprender el papel del espacio en la defensa y el desarrollo nacional.

Palabras clave: Espacio Exterior; Rivalidad; Competencia; Estado; Carrera Espacial.

Introducción

El amanecer de la era espacial, marcado por el lanzamiento del *Sputnik 1* en 1957, desencadenó no sólo una carrera por la exploración científica, sino también una competencia por el dominio en la última frontera⁵. Más de seis décadas después, el panorama geopolítico ha evolucionado y el espacio ultraterrestre ya no es sólo un dominio para la exploración o la comunicación, sino un escenario crítico para la competencia militar entre los Estados más poderosas del mundo. La militarización del espacio, impulsada por los avances tecnológicos y las ambiciones estratégicas, ha transformado este tradicional dominio neutral en un campo de batalla disputado donde las grandes potencias buscan afirmar su influencia y asegurar sus intereses.

La militarización del espacio exterior refleja patrones más amplios de competencia entre grandes potencias, donde actores estatales como los Estados Unidos, China y Rusia compiten por la superioridad tecnológica y el control sobre dominios estratégicos clave. Para estas grandes potencias, el espacio ultraterrestre ofrece más que sólo prestigio científico; proporciona ventajas

5 El término “última frontera” se ha popularizado para referirse al espacio ultraterrestre como un ámbito todavía en gran medida inexplorado y cargado de posibilidades estratégicas, científicas y económicas. Su origen está asociado al imaginario cultural estadounidense de la “frontera” (frontier), vinculada al proceso de expansión hacia el oeste en los siglos XVIII y XIX, que Frederick J. Turner (1893) conceptualizó como un motor de identidad y progreso nacional. Tras el lanzamiento del *Sputnik 1* en 1957, esta noción se trasladó al espacio exterior, representado como la nueva frontera a conquistar. En este sentido, la expresión “última frontera” no alude únicamente a un límite físico, sino a un espacio simbólico y estratégico donde confluyen la exploración científica, la competencia por el poder y la construcción de visiones de futuro para la humanidad.

críticas en la guerra, ya que la capacidad de dominar el espacio se traduce en una importante influencia geopolítica en la Tierra, lo que convierte al poder espacial en un pilar central de las estrategias de seguridad nacional.

En consecuencia, comprender la lógica de la competencia entre grandes potencias en el espacio ultraterrestre resulta de gran utilidad para los estudios estratégicos en Colombia, especialmente dado el cambiante panorama geopolítico y el creciente papel del espacio en la seguridad nacional, el desarrollo económico y la investigación científica, ya que a medida que el espacio exterior se convierte en un dominio en disputa, las implicaciones para el posicionamiento estratégico, las políticas de defensa y las ambiciones espaciales del Estado colombiano son profundas.

Por consiguiente, este capítulo inicia con la descripción de los fundamentos teóricos y conceptuales del Great Power Competition, analizando los cuatro tipos de competencia que suelen suscitarse entre los Estados del sistema internacional. Esta sección proporciona una base teórica para comprender el concepto de competencia entre grandes potencias y explica las características básicas de una “gran potencia”. Al examinar teorías y definiciones de competencia versus conflicto, proporciona a los lectores un marco para diferenciar entre rivalidad y confrontación armada. Esta perspectiva teórica es esencial para analizar la dinámica de la competencia espacial entre superpotencias. En la siguiente sección, se proporciona ejemplos concretos que ilustran cómo se ha desarrollado la competencia entre grandes potencias a lo largo de la historia, destacando lecciones clave que son relevantes para entender las dinámicas actuales, particularmente en el dominio espacial. Al analizar ejemplos históricos, esta sección ayuda a los lectores a entender cómo las potencias han competido por la supremacía en diversas áreas, incluyendo la tecnología, el territorio y la influencia política.

Posteriormente, desarrolla un análisis histórico de la carrera espacial de la era de la Guerra Fría entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Esta sección analiza hitos clave como el lanzamiento del Sputnik y el desarrollo de los primeros satélites de reconocimiento. Al destacar la naturaleza de doble uso de las tecnologías espaciales para fines civiles y militares, ilustra cómo el espacio se militarizó desde el comienzo mismo de su exploración. Al estudiar cómo la competencia entre las grandes potencias impulsó la militarización del espacio durante el siglo XX, ofrece algunas luces que permiten entender la dinámica actual de la rivalidad entre potencias espaciales y las implicaciones futuras de esta creciente competencia.

A medida que los Estados expanden sus capacidades militares más allá de la atmósfera, la competencia entre grandes potencias se intensifica. ¿Qué consecuencias tendrá esta dinámica para el equilibrio de poder en la Tierra? ¿Podría el espacio convertirse en un nuevo escenario de confrontación directa? Este capítulo propone un análisis integral de cómo la rivalidad interestatal impulsa la militarización del dominio espacial y qué dilemas plantea para la seguridad global y la gobernanza internacional del espacio exterior.

Fundamentos Teóricos del Great Power Competition

La competencia entre grandes potencias (CGP) se refiere a la rivalidad y competencia estratégica entre los Estados más poderosos del mundo en su intento de afirmar o mejorar su influencia internacional en los asuntos políticos, económicos y militares. Una gran potencia (o super potencia), tiene tres características destacadas: capacidad, conducta y la atribución de status por parte de otros Estados en el sistema internacional. Efectivamente, las grandes potencias poseen capacidades excepcionales que van más allá de los de otros Estados-nación, y utilizan su poder⁶ para perseguir objetivos de política exterior de amplio alcance que se extienden más allá de su esfera de influencia inmediata (Álvarez, Barón y Monroy, 2018).

La CGP se produce cuando grandes potencias compiten por ventajas estratégicas, lo que a menudo implica una combinación de cooperación, competencia y confrontación en múltiples dominios. Según la Real Academia Española (RAE), la palabra “competencia” puede significar una disputa o contienda entre dos o más personas sobre algo, o también, como la oposición o rivalidad entre dos o más personas que aspiran a obtener la misma cosa (RAE, 2024). Esta definición distingue la palabra “competencia” de la palabra “conflicto”, que, de acuerdo con la RAE, hace más bien referencia a una

6 El “poder”, entendido como la capacidad de influenciar el comportamiento de otro actor, se caracteriza generalmente por atributos absolutos, relativos y transitorios. El poder estatal se manifiesta en dos aspectos principales (Álvarez, Barón y Monroy, 2018): el poder duro (*hard power*), que implica el uso coercitivo de la fuerza militar, económica o diplomática, y el poder blando (*soft power*), que abarca el uso de la capacidad persuasiva del Estado, mediante interacciones cooperativas y colaborativas que logran influencia a través de la atracción; estas interacciones incluyen acuerdos económicos y militares, cooperación científica, compromisos culturales y sociales, relaciones diplomáticas, entre otras. El concepto de poder inteligente (*smart power*), se utiliza ocasionalmente hoy en día para referirse a las decisiones políticas que combinan con éxito el poder coercitivo y el poder persuasivo del Estado. Sin embargo, el poder agudo (*sharp power*) ha surgido como un término popular para caracterizar los actos de manipulación, interferencia o engaño de un Estado con el fin de debilitar o deformar significativamente el sistema político o el orden social de un Estado rival. En consecuencia, Álvarez, Barón y Monroy (2018) señalan que la combinación de estrategias de poder duro, poder blando y poder agudo se conceptualizan como poder astuto (*astute power*).

situación de combate, lucha, pelea o enfrentamiento armado; por ende, el conflicto (o la guerra) se puede entender como un tipo particularmente feroz de rivalidad.

Con base en lo anterior, la mayoría de los tipos de competencia implican un intento de superar a los oponentes sin llegar al nivel de una guerra a gran escala, ya que, en el campo de las relaciones internacionales, la competencia puede llegar a definirse como una condición de interacciones hostiles que no implica una confrontación militar directa entre las partes. De acuerdo con Mazarr (2022), la competencia en el sistema internacional se puede caracterizar generalmente por la existencia de tres componentes fundamentales. En primer lugar, debe existir un sentido percibido de competencia (en otras palabras, los participantes deben verse a sí mismos como participantes en una competencia). En segundo lugar, los participantes deben estar buscando activamente aumentar su autoridad o estatus con respecto a los demás. En tercer lugar, la cuestión por la que los participantes compiten debe ser escaso o de gran importancia.

Entonces, Mazarr et al. (2018) entienden la “competencia” en el sistema internacional como aquel “intento de obtener ventajas, a menudo en relación con otros que se cree que plantean un desafío o una amenaza, a través de la búsqueda egoísta de bienes en disputa como poder, seguridad, riqueza, influencia y estatus” (p.5). La definición anterior supone que los Estados (o coaliciones de Estados) compiten por intereses específicos, como aquellos relacionados con su seguridad nacional. Sin embargo, también compiten por objetivos más amplios, como el liderazgo de la agenda global, el estatus relativo en comparación con otros y la capacidad de ejercer influencia o determinar resultados en asuntos que son importantes para sus intereses. China, por ejemplo, está actualmente involucrada en una competencia con los Estados Unidos para lograr objetivos estratégicos que van más allá de la seguridad del Partido Comunista Chino y la integridad geográfica de su territorio; en efecto, China aspira a establecer una influencia regional dominante, lograr un estatus globalmente equivalente al de Estados Unidos y perseguir otras ambiciones, en campos tan variados como el espacial.

Asimismo, la definición de Mazarr et al. (2018) delinea dos aspectos fundamentales de la competencia en el sistema internacional⁷. En primer lugar, que la competencia es un juego relativo; por consiguiente, es necesario evaluar la influencia, el poder y la posición de los grandes poderes en relación entre

7 Según Álvarez, Barón y Monroy (2018), el concepto de “sistema internacional” puede definirse como el patrón general de las relaciones políticas, económicas y sociales que configuran los asuntos mundiales, o en forma más simple, como el escenario general en que ocurren las relaciones internacionales en un momento dado.

sí y no por separado. En segundo lugar, la competencia no está estrictamente limitada y se produce en varios dominios; por consiguiente, los Estados compiten por muchos bienes en disputa y, por lo tanto, utilizan una variedad de instrumentos estratégicos para lograr una ventaja competitiva.

En efecto, la competencia representa un espectro de interacciones entre los Estados. En un extremo del espectro se encuentra la colaboración, mientras que en el otro existe una abierta confrontación violenta; y entre ambos extremos, los Estados compiten en diferentes niveles de cooperación y conflicto. Mientras que la cooperación y la colaboración tienden a surgir cuando los objetivos geopolíticos están alineados, la confrontación y el conflicto militar surge cuando los objetivos geopolíticos se consideran diferentes y mutuamente inalcanzables.

Cada Estado, en particular las grandes potencias, se esfuerza por lograr una ventaja comparativa en los objetivos tradicionales de poder, como la supervivencia, la prosperidad, el estatus y la influencia. Principalmente, las grandes potencias compiten por ventajas comparativas que pueden analizarse en cinco categorías: política y diplomática, ideológica, informativa, militar y económica. Estas categorías constituyen dimensiones del poder estatal, pues el uso eficaz de las capacidades en cada una de ellas determina el grado de influencia relativa y la obtención de ventajas estratégicas (Álvarez, Corredor y Vanegas, 2018).

A medida que las grandes potencias se involucran en la competencia, estos Estados específicos enfrentan inevitablemente el desafío de realizar una transición en su estatus de poder relativo. El proceso de transición a gran potencia presenta a los Estados emergentes la compleja tarea de establecer sus desequilibrios de poder relativo sin incitar una confrontación directa con el o los Estados dominantes; el proceso de transición también presenta al Estado dominante pero comparativamente débil una decisión desafiante sobre cómo acomodar a su o sus rivales emergentes de una manera que evite tanto un conflicto armado destructivo como una alteración indeseable en su condición deseada de asuntos. En el contexto de una lucha entre grandes potencias, el predictor más fiable del inicio de una guerra es el reconocimiento por una o ambas partes de un cambio percibido e inmutable en la distribución relativa de las capacidades económicas y militares en el sistema internacional. Cuando los Estados perciben un cambio significativo en la alineación relativa del poder en su contra, es más probable que emprendan una acción militar preventiva en comparación con cuando ven un equilibrio de poder estable.

Cuatro Niveles de Competencia en el Sistema Internacional

Desde que el Tratado de Westfalia de 1648 estableció la condición de Estado como la forma oficialmente reconocida de organización geopolítica, la lucha entre los Estados ha sido compleja y ha implicado diversas relaciones entre ellos. Para representar la complejidad de la competencia, los estudios en relaciones internacionales y en seguridad y defensa han empleado distintas dimensiones del poder nacional para describir la competencia entre Estados. De manera recurrente se destacan las dimensiones política y diplomática, militar, económica, informativa y cultural/ideológica. En el ámbito anglosajón, estas suelen organizarse bajo el modelo DIME (Diplomatic, Informational, Military, Economic), mientras que otras propuestas más amplias incorporan factores sociales e infraestructurales (PMESII), e incluso financieros e institucionales (DIMEFIL). Todas estas dimensiones buscan capturar la complejidad de la interacción estratégica en el sistema internacional.

Tabla 1. *Modelos de dimensiones del poder nacional*

Modelo	Dimensiones principales	Enfoque y aplicación
DIME (Diplomatic, Informational, Military, Economic)	Diplomática, Informativa, Militar, Económica	Modelo clásico de la estrategia estadounidense; resume las principales herramientas de poder nacional.
PMESII (Political, Military, Economic, Social, Information, Infrastructure)	Política, Militar, Económica, Social, Informativa, Infraestructural	Ampliación empleada en estudios de planificación estratégica y operacional; incluye factores sociales e infraestructurales como parte del análisis sistémico.
DIMEFIL (Diplomatic, Informational, Military, Economic, Financial, Intelligence, Law)	Diplomática, Informativa, Militar, Económica, Financiera, Inteligencia, Jurídica	Variante más amplia usada en análisis de seguridad nacional; incorpora el papel de las finanzas, la inteligencia y el marco jurídico-institucional.

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, Howard (1974) delineó cuatro aspectos fundamentales de la estrategia nacional que, en su interacción, son indicativos de una situación de guerra exitosa: el operacional-militar, el logístico, el social y el político. En su análisis de la pérdida relativa de poder de Gran Bretaña a fines del siglo XIX y principios del XX, Howard identificó además que estos cuatro ámbitos de lucha entre Estados se manifestaban en contextos de cambio de grandes potencias, lo cual le permitió explicar las tensiones estructurales

de las transiciones hegemónicas. Y Kennedy (1987) enfatizó tres aspectos principales del cambio de grandes potencias: (i) la base económica y productiva de los Estados, (ii) su capacidad militar derivada de dicha base, y (iii) la dimensión político-estratégica encargada de gestionar los recursos y las alianzas. Subrayó que el poder militar depende de la fortaleza económica, y advirtió que las grandes potencias tienden a entrar en declive cuando el gasto bélico excede las posibilidades de su base productiva.

En su conceptualización del extendido espacio competitivo relevante para el futuro entorno de seguridad, Lynch III y Hoffman (2020) establecieron cinco dimensiones del CGP (Tabla 2), basándose en los trabajos de Howard (1974) y Kennedy (1987).

Tabla 2. *Dimensiones de la Competencia de Grandes Potencias*

Dimensión	Howard (1974)	Friedberg (1988)	Kennedy (1987)	Lynch y Hoffman (2020)
Socio-cultural	X			
Militar		X	X	X
Político y Diplomático				X
Ciencia y tecnología	X		X	X
Logística	X			
Ideológica		X		
Económica	X	X	X	X
Financiera		X		
Informacional				X

Fuente: elaboración propia con base en Lynch III y Hoffman (2020).

Lynch III y Hoffman (2020) definen la CGP como un estado de rivalidad sostenida entre potencias mundiales en los ámbitos políticos, económicos, militares e ideológicos, con los objetivos de influir en las reglas internacionales, establecer su dominio e impedir que los rivales obtengan ventajas. Cabe señalar que la “rivalidad” es la relación entre dos o más Estados que compiten regularmente, mientras que la “competencia” es la acción que se lleva a cabo para disputar la supremacía en un campo en particular, como el espacio exterior; es decir, mientras que la competencia, en su definición más amplia, se refiere a la realidad general de la política global, las rivalidades

son enfrentamientos bilaterales⁸ altamente competitivos entre participantes de estatus similar (Rasler, Thompson y Ganguly, 2013).

Por consiguiente, los académicos que evalúan la naturaleza de la política global han identificado al menos cuatro niveles generales de competencia (Mazarr, 2022): 1) Un nivel continuo de competencia entre Estados para maximizar su poder o influencia; 2). Rivalidades bilaterales entre Estados que aspiran al liderazgo del sistema internacional; 3). Rivalidades totalmente militarizadas entre Estados agresivos que están dispuestos al uso de la fuerza; y 4). El concepto ampliamente discutido de competencia, que implica campañas organizadas de acciones para obtener una ventaja sin recurrir a la guerra. Según Mazarr (2022), estos niveles resaltan que la competencia es un estado o circunstancia, más que un enfoque político o estratégico. Entonces, si el sistema internacional opera sobre la premisa de que los Estados participan en diversas formas de competencia para lograr muchos objetivos, cómo lo logran es una cuestión de estrategia (los modos que articulan los medios y fines).

Con respecto al primer nivel de competencia, la mayoría de las teorías en relaciones internacionales sugieren que la comunidad global de Estados exhibe un cierto nivel de poder competitivo y búsqueda de influencia. Algunas teorías, como el realismo clásico, atribuyen este fenómeno a la naturaleza humana y a una supuesta necesidad de poder inherente a los seres humanos, razón por la cual Morgenthau (1993) y otros realistas han sostenido que la competencia es la realidad fundamental del sistema internacional. Sin embargo, los Estados compiten por diversas cuestiones, muchas de las cuales no presentan riesgos significativos a la seguridad nacional; por ejemplo, compiten en disciplinas deportivas o científicas por el reconocimiento, el honor o por alcanzar un mayor estatus dentro de las jerarquías globales. También compiten para atraer inversión y estimular la producción económica, por lo que los esfuerzos de los Estados por alcanzar la excelencia no siempre tienen que ser percibidos como intrínsecamente competitivos.

Empero, una diferenciación valiosa que se encuentra en la literatura es entre los Estados que buscan ganancias absolutas y aquellos que aspiran a ganancias relativas. Es decir, si los gobiernos se esfuerzan por fortalecer su posición en dominios de suma no cero, como el poder económico, varios Estados pueden mejorar simultáneamente su posición sin participar en una feroz competencia a nivel nacional, ya que los esfuerzos de colaboración entre Estados pueden conducir a un aumento de la riqueza. Sin embargo, cualquier noción de

⁸ Un estudio de Maoz y Mor (2002) revela que un número pequeño de rivalidades bilaterales ha influenciado significativamente en el nivel de conflicto en la política global. Efectivamente, Maoz y Mor encontraron que menos del 1% de estas conexiones son responsables de más del 80% de los conflictos significativos que han ocurrido en los últimos dos siglos (Colaresi, Rasler y Thompson, 2008).

ventaja nacional basada en la suma positiva está sujeta a ciertas limitaciones; en efecto, los Estados buscarían ventajas relativas dentro de ese marco, como, por ejemplo, al adoptar políticas comerciales con la intención de lograr una ventaja competitiva sobre otros Estados.

Por lo tanto, la capacidad de los Estados para buscar beneficios de una manera que no sea de suma cero, siempre que el sistema internacional basado en normas así lo permita, subraya que la naturaleza del sistema internacional en un momento dado, determinada por su grado de naturaleza basada en normas, institucionalizada o de suma cero, establece el marco para la competencia (Brands, 2022). Según Álvarez, Corredor y Urbano (2018), la política internacional no es en esencia una actividad exclusivamente competitiva, ya que exhibe focos de cooperación, coordinación e incluso generosidad; evidencia de ello es que las grandes estrategias estatales han apuntado a promover los intereses nacionales utilizando eficazmente toda la gama de comportamientos globales, incluidas la cooperación, la competencia y el conflicto.

Con relación al segundo nivel de competencia, las rivalidades son eventos altamente competitivos que generalmente incluyen participantes de capacidades similares y se llevan a cabo por alcanzar el dominio regional o global (Rasler, Thompson y Ganguly, 2013). Como ya se mencionó, si bien la competencia pertenece a la realidad general de la política global, las rivalidades son contiendas bilaterales particulares entre Estados antagónicos. Aunque el concepto de “rivalidad” tiene una base teórica más sólida que el de la “competencia”, existe desacuerdo entre los académicos sobre la definición del concepto de “rivalidad”. No obstante, la mayoría de estas definiciones incorporan algunas características esenciales: intensidad, duración, conflicto entre individuos de estatus social similar y sentimientos compartidos de animosidad. Por ejemplo, Valeriano (2012) define la rivalidad como un estado de hostilidad histórica duradera entre dos Estados que es muy probable que resulte en un conflicto armado o una crisis importante. Asimismo, algunos investigadores (Gochman y Maoz, 1984; Diehl, 1985; Scott, 1996; Diehl y Goertz, 2000) sostienen que para que un conflicto sea considerado una rivalidad, debe plantear de forma constante una amenaza de guerra y dar lugar a un número sustancial de disputas militarizadas.

Debido a estas variaciones en la definición, académicos en los estudios en seguridad y defensa han producido listas superpuestas, aunque algo diferentes, de rivalidades históricas: Scott (1997) reconoció 63 rivales de larga data, Maoz y Mor (2002) registraron 110, y Klein, Goertz y Diehl (2006) contabilizaron 120 (junto con 170 “proto-rivalidades” o rivalidades de corto plazo). Pero según Colaresi, Rasler y Thompson (2008), la cuestión clave en la rivalidad

es la negación de ganancias a un competidor directo, ya que la rivalidad se basa en el supuesto de un juego de suma cero en el que un actor busca garantizar su propia seguridad destruyendo o inmovilizando a otro Estado nacional. En lugar de priorizar un interés propio, los gobiernos involucrados en una competencia de este tipo son mucho más propensos a hacer esfuerzos deliberados para evitar que un adversario obtenga una ventaja, incluso si eso resulta en comprometer su propia seguridad nacional o bienestar económico.

En referencia al tercer nivel de competencia, si bien los conflictos de seguridad son una característica común de la mayoría de las rivalidades bilaterales, no todas las grandes potencias son igualmente propensas a escalar hacia conflictos armados. Empero, los estudios sobre política global han definido un grupo de Estados particularmente agresivos que utilizan las fuerzas militares como instrumentos duraderos de control político, frecuentemente con el objetivo de conquistar y dominar países vecinos o lejanos (como la Alemania nazi y el Japón imperial durante los años 1930 y 1940). Este tipo de actores suelen estar descontentos con su posición actual y dispuestos a participar en amplias operaciones militares para rectificar el desequilibrio. Algunos académicos (Schweller, 1994; Davidson, 2002; Johnston, 2003; Russell, 2014; Kastner y Saunders, 2014) denominan a este tipo de actores como Estados “revisionistas”, los cuales se caracterizan por el fomento de una alta militarización y sus ambiciosos objetivos de conquista.

Sin embargo, muy pocos Estados encarnan en la actualidad la noción pura de un revisionista militarizado dispuesto a emprender extensas campañas de conquista militar, aunque la Federación de Rusia es ahora el más cercano a esta categoría. En efecto, el objetivo de Rusia es restablecer el equilibrio en el sistema internacional, el cual ha gravitado en las últimas décadas alrededor de los Estados Unidos; para ello, Rusia ha buscado afirmar su dominio sobre un grupo de países vecinos en los últimos años. Como lo evidencia la invasión rusa de Ucrania, Rusia está dispuesta a adoptar estrategias del poder duro para alcanzar estos objetivos; Rusia tiene el potencial de emprender acciones militares coercitivas de ese tipo contra otros países vecinos y demostrar sus capacidades militares en menor medida en otros lugares, como el Oriente Medio y África.

Por su parte, la República Popular de China también tiene aspiraciones revisionistas sustanciales. Más que Rusia, está decidida a redirigir el sistema internacional lejos de los Estados Unidos y hacia sí misma, erosionando así la posición de Estados Unidos como líder reconocido en el sistema internacional; además, sus aspiraciones territoriales en Taiwán y en los mares de la China Oriental y Meridional son ambiciosas, y para alcanzar estos

objetivos, ha estado dispuesta a utilizar la presión económica y las tácticas militares de intimidación. Sin embargo, China también sigue siendo un revisionista moderado y no parece estar al borde de representar un peligro militar significativo para la zona.

Finalmente, con relación al cuarto nivel de la competencia, en la teoría tradicional de las relaciones internacionales, la competencia se considera una condición inherente a la política global que puede alcanzar una mayor intensidad en épocas de rivalidad bilateral directa. En el discurso actual sobre la seguridad nacional y la política de defensa, la competencia se entiende generalmente como el uso estratégico de los medios del arte de gobernar para lograr una ventaja que está por debajo del nivel de un conflicto armado. La competencia se refiere fundamentalmente a actividades distintas de la guerra. Esta cuarta noción de competencia no es excluyente con ninguno de los conceptos anteriores. Una gran potencia global tiene la capacidad y muy probablemente participará en amplias peticiones internacionales, rivalidades bilaterales específicas e incluso tipos de rivalidad armada más intensos utilizando métodos y estrategias que no involucran conflicto (Brands, 2022). Cabe señalar que la búsqueda de ventajas en esta “zona gris” es un elemento intrínseco de toda competencia.

Cuatro Casos Históricos de Great Power Competition

Las transiciones de poder en el sistema internacional suelen desarrollarse a lo largo de un período de décadas, en lugar de años. Allison (2017) examinó 16 casos históricos de CGP desde fines del siglo XV hasta el presente, de los cuales 12 de los casos (75 %) culminaron en un conflicto entre grandes potencias. Por su parte, Lacey (2016) examinó rivalidades estratégicas significativas desde la antigüedad hasta la Guerra Fría, revelando que las competencias estratégicas durante períodos de importantes transiciones de poder estatal rara vez concluyen sin al menos una confrontación militar significativa; dos de las excepciones fueron la resolución de la Guerra Fría entre Estados Unidos y la Unión Soviética, así como la aceptación por parte del Reino Unido del dominio estadounidense tras la Segunda Guerra Mundial, las cuales no dieron lugar a una confrontación militar directa significativa.

La posibilidad de un conflicto militar entre las grandes potencias durante períodos de transición de poder en el sistema internacional no está predeterminada. Los neorrealistas afirman que la estructura del sistema internacional puede aliviar la competencia, lo que conduce a resultados sin conflicto directo, siendo un sistema bipolar el más estable en donde la CGP

se manifiesta como una rivalidad sin guerra (Waltz, 1979). Asimismo, 21 elementos sistémicos adicionales pueden ayudar a las grandes potencias a dirigir o disipar su hostilidad más intensa hacia una de las cuatro categorías pacíficas de competencia interestatal: político-diplomática, económica, ideológica o informativa.

Los internacionalistas liberales proponen la teoría de la paz democrática, según la cual los gobiernos con valores ideológicos comunes (como sistemas políticos democráticos y el respeto por los derechos humanos), muestran resistencia a los conflictos importantes entre ellos (Gilpin, 1981). Keohane y Nye (1977) postulan que los Estados que muestran una interconexión económica significativa son más proclives a participar en la competencia dentro de categorías específicas que no escalen hasta la guerra. Los constructivistas como Wendt (1992) sostienen que el liderazgo nacional puede influir en las relaciones y culturas para evitar la confrontación, centrándose en las normas sociales y las similitudes culturales que fomentan identidades y comunidades de paz.

No obstante, las grandes potencias también pueden expresar impulsos agresivos a través de guerras por delegación (guerras proxy), o pueden buscar establecer coaliciones o alianzas para mejorar sus posibilidades de competitividad y supervivencia (Álvarez, Barón y Monroy, 2018). Alternativamente, pueden buscar marcos de colaboración para mitigar el conflicto y prevenir el compromiso militar a través de acuerdos como la Liga de las Naciones (1919-1930) y las Naciones Unidas (1945-presente). Y en última instancia, a partir de la teoría de la paz nuclear, la inmensa capacidad destructiva y las repercusiones a largo plazo de las armas nucleares pueden disuadir la agresión significativa y el derramamiento de sangre entre las grandes potencias⁹ (Rauchhaus, 2009).

Lynch III y Hoffman (2020) analizaron cuatro casos históricos de rivalidades entre grandes potencias que se libraron en un sistema internacional multipolar, parecido al que se subiste en la actualidad. Esos cuatro casos de estudio tienen en común la existencia de una gran potencia preocupada por su relativo declive del poder, así como al menos una potencia emergente que buscaba reconocimiento y estatus, tal como viene ocurriendo en las primeras dos décadas del Siglo XXI. Estas cuatro rivalidades se enfrentaron a desafíos durante épocas de tecnologías emergentes y disruptivas que cambiaron la dinámica económica global.

9 No obstante, una importante excepción fue la guerra entre las potencias nucleares de India y Pakistán en julio de 1999, conocida como la Guerra de Kargil. Si bien ninguno de los dos Estados era una gran potencia según la definición utilizada en este capítulo, el hecho de que cada uno de ellos poseyera grandes ejércitos y los enfrentara en una guerra importante que duró un mes a pesar del espectro de una escalada nuclear es una advertencia contra cualquier ortodoxia que sostenga que la ausencia de guerra entre grandes potencias en la era de las armas nucleares es válida.

Así como a fines del siglo XVIII, las economías rurales y las prácticas comerciales mercantilistas estaban cediendo ante la industrialización y las redes de libre comercio en toda Europa occidental; y así como a finales del siglo XIX y principios del XX, las economías industriales en desarrollo operaban a nivel mundial en un contexto de imperios coloniales en competencia y un número cada vez mayor de redes comerciales proteccionistas, en la actualidad el sistema internacional está pasando de economías industriales y digitalizadas a otras caracterizadas por la disrupción de las tecnologías de la cuarta revolución industrial y la consolidación de la nueva economía espacial (Álvarez, Corzo, Jaimes y Paredes, 2021).

La rivalidad entre Francia y el Reino Unido entre finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX

La rivalidad entre Francia y el Reino Unido tenía profundas raíces históricas que se remontan al siglo XVII. A fines del siglo XVIII, ambas monarquías competían por el predominio en Europa y en los territorios ultramarinos. Francia ejercía una posición preeminente en el ámbito terrestre continental, mientras que el Reino Unido consolidaba su supremacía naval y expandía un imperio colonial que comenzaba a proyectarse más allá de Europa¹⁰. Antes del período revolucionario, Gran Bretaña y Francia ya habían librado varias guerras (como la Guerra de los Siete Años) por la supremacía colonial y económica. En la década de 1790, Gran Bretaña tenía una sólida ventaja como potencia industrial y naval, mientras que Francia seguía siendo una poderosa monarquía europea (Leggiere, 2016). La Revolución Francesa de 1789 cambió drásticamente la dinámica de esta rivalidad, ya que reemplazó a la monarquía francesa por una república, alterando fundamentalmente la base ideológica de la política francesa.

En consecuencia, bajo el liderazgo revolucionario, Francia se propuso difundir los ideales republicanos en toda Europa, desafiando a las monarquías, incluida

10 De acuerdo con Kennedy (1987), durante el siglo XVI, Portugal y España surgieron como potencias mundiales dominantes, caracterizadas por un amplio comercio internacional, superioridad naval y colonias en expansión. En 1578, el rey Sebastián I de Portugal, que carecía de un heredero, pereció en la batalla de Ksar El Kebir. Esto dio lugar a la crisis de sucesión portuguesa de 1580, lo que permitió a Felipe II de España consolidar los dos reinos bajo la monarquía española durante los siguientes 60 años. Felipe II administró mal las colonias portuguesas, declaró la guerra a Inglaterra y sufrió la desastrosa destrucción de una gran parte de la Armada Española en 1588, lo que marcó el fin de la supremacía colonial española. En el siglo XVII, Francia, Inglaterra y los Países Bajos superaron a España y Portugal en el dominio comercial y naval. A partir del Tratado de Westfalia de 1648 y concluyendo con la decadencia de la monarquía española y la Guerra de Sucesión Española (1701-1714), Francia alcanzó una posición dominante en Europa y un protagonismo notable en las colonias globales, que mantuvo a lo largo de todo el siglo XVIII.

la del Reino Unido. Entonces, la Revolución Francesa planteó un desafío ideológico directo a Gran Bretaña y otras monarquías. Francia abogó por el republicanismo y el fin de las monarquías hereditarias, promoviendo ideas de libertad, igualdad y fraternidad, las cuales resonaron en los movimientos revolucionarios y reformistas de toda Europa. Si bien al principio, algunos liberales británicos apoyaron la Revolución Francesa, a medida que la Revolución se volvió más radical, especialmente con la ejecución de Luis XVI y el subsecuente Reinado del Terror, el sentimiento británico se volvió hostil (Doyle, 2002). El conflicto político se agudizó cuando Francia intentó exportar sus ideas revolucionarias a través de campañas militares, apoyando levantamientos republicanos y desafiando a las monarquías europeas, por lo que el Reino Unido, sintiéndose amenazado por la propagación de la revolución, comenzó a formar coaliciones con otras monarquías europeas para contrarrestar la proyección de poder de los franceses (Emsley, 2014).

Según Crouzet (1990), incluso antes de la Revolución, estas dos grandes potencias habían sido feroces competidores económicos, particularmente en términos de comercio y expansión colonial. Ambos lucharon por el control de las colonias en América del Norte, el Caribe y Asia; y a pesar de que Francia perdió gran parte de su imperio colonial en América del Norte después de la Guerra de los Siete Años, conservó importantes colonias caribeñas que fueron clave para el comercio mundial del azúcar. Los británicos, por otro lado, buscaron expandir su imperio y consolidar el control sobre rutas marítimas clave.

Durante las guerras napoleónicas, Napoleón intentó debilitar económicamente a Gran Bretaña a través del Sistema Continental, una estrategia de negación mediante el bloqueo diseñado para cerrar los puertos europeos al comercio británico. Sin embargo, esta estrategia finalmente fracasó, ya que causó dificultades económicas generalizadas en Europa sin afectar gravemente a la economía británica, ya que la supremacía naval de Gran Bretaña le permitió mantener rutas comerciales y contrabandear bienes a Europa a pesar del bloqueo (Crouzet, 1990). La economía de Gran Bretaña era más sólida debido a su revolución industrial, sistema bancario y redes comerciales globales, mientras que, aunque poderosa en el continente, Francia no podía igualar el alcance económico global de Gran Bretaña, debido a la eficacia de la marina británica para mantener el dominio sobre las rutas comerciales.

La competencia militar entre Francia y Gran Bretaña fue el aspecto más visible de su rivalidad durante este período, que culminó en una serie de guerras que transformarían Europa¹¹. Después de la Revolución, Francia desplegó

11 La rivalidad franco-británica en este período se manifestó en el marco de las Guerras Revolucionarias Francesas (1792–1802) y posteriormente en las Guerras Napoleónicas (1803–1815). Ambos ciclos

ejércitos masivos, particularmente a través de la política de *levée en masse* (reclutamiento masivo), que le permitió dominar gran parte de la Europa continental bajo el liderazgo de Napoleón. Asimismo, el genio militar de Napoleón condujo a una serie de victorias en toda Europa, lo que le permitió crear un vasto imperio que se extendió desde España hasta Rusia (Kennedy, 1987). Como ya se ha señalado, a pesar del éxito de Napoleón en tierra, la Marina Real Británica siguió dominando en el mar, y la demostración más famosa de esta supremacía se produjo en la Batalla de Trafalgar (1805), donde el almirante Horatio Nelson derrotó decisivamente a las flotas combinadas francesa y española. Esta victoria aseguró que Napoleón nunca pudiera invadir Gran Bretaña y mantuvo el control británico de los mares.

Los británicos desempeñaron un papel decisivo en la formación y financiación de coaliciones con otras potencias europeas como Austria, Rusia y Prusia para luchar contra los franceses, proporcionando subsidios a sus aliados y utilizando su fortaleza financiera para mantener vivas dichas coaliciones anti-napoleónicas, a pesar de la destrucción de numerosas de ellas por las campañas militares francesas. De acuerdo con Strathern (2020), una de las estrategias principales de Gran Bretaña fue el apoyo a movimientos de resistencia de las ocupaciones francesas en varias partes de Europa. Por ejemplo, en la Guerra Peninsular (1808-1814), Gran Bretaña, bajo el duque de Wellington, apoyó a las fuerzas españolas y portuguesas contra la ocupación francesa; este conflicto agotó los recursos franceses y fue un factor clave en el debilitamiento del control de Napoleón sobre Europa.

La competencia entre Francia y el Reino Unido culminó con la invasión de Rusia por parte de Napoleón en 1812, que debilitó desastrosamente a su ejército. Esto, combinado con las exitosas campañas británicas en la península Ibérica y el continuo dominio naval, permitió que Gran Bretaña y sus aliados derrotaran finalmente al Imperio napoleónico. En 1814, la Sexta Coalición, compuesta por Gran Bretaña, Austria, Prusia y Rusia, obligó a Napoleón a abdicar. Como consecuencia, fue desterrado a la isla de Elba, donde permaneció bajo supervisión hasta su retorno en los Cien Días (Esdaile, 2007). Aunque regresó brevemente al poder en 1815 durante los Cien Días, su derrota final en la Batalla de Waterloo (1815) a manos de las fuerzas británicas y prusianas marcó el fin definitivo de su imperio.

bélicos enfrentaron a Francia contra diversas coaliciones en las que Gran Bretaña desempeñó un papel central, tanto en el financiamiento de aliados continentales como en la superioridad naval que consolidó su hegemonía marítima tras la batalla de Trafalgar (1805). Estos conflictos reconfiguraron el mapa político europeo, marcaron la expansión y caída del Imperio napoleónico y afianzaron la posición de Gran Bretaña como potencia global. (Véase: Blanning, 1996; Esdaile, 2007).

Después de la derrota de Napoleón, el Congreso de Viena (1814-1815) reformuló el mapa de Europa y emprendió una política de restauración que devolvió al trono a varias casas monárquicas depuestas durante las guerras revolucionarias y napoleónicas. En Francia se restituyó a los Borbones con Luis XVIII; en España se restauró a Fernando VII tras la expulsión de José Bonaparte; en Portugal regresó la casa de Braganza; en el Reino de las Dos Sicilias volvió Fernando I; y en el Estado Pontificio el papa Pío VII recuperó su autoridad temporal. Estas restauraciones buscaban legitimar el orden monárquico tradicional y contener las fuerzas revolucionarias que habían transformado Europa desde 1789 (Jarret, 2013). Entretanto, Gran Bretaña emergió como la principal potencia europea con proyección ultramarina, consolidando su supremacía naval y asegurando un vasto imperio colonial en expansión.

En resumen, la competencia entre Francia y el Reino Unido a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX fue una lucha multifacética que abarcó dimensiones militares, ideológicas y económicas. Más que una disputa entre “potencias” en el sentido contemporáneo¹², se trató del enfrentamiento entre el Imperio británico, con su dominio naval y colonial en expansión, y la Francia revolucionaria y luego napoleónica, que buscaba alterar el equilibrio continental. La rivalidad se centró en impedir que una sola entidad (particularmente Francia), alcanzara la hegemonía en Europa; asimismo, la división ideológica entre el republicanismo revolucionario (y más tarde el imperialismo napoleónico) y la monarquía conservadora británica alimentó la intensidad del conflicto, condicionando tanto las alianzas diplomáticas como las tácticas militares.

Además, la capacidad de Gran Bretaña para financiar coaliciones, mantener el comercio a través de su fuerza naval y sobreponerse a las estrategias de guerra económica de Napoleón puso de relieve la fortaleza financiera y la capacidad de recuperación económica como factores determinantes en la competencia entre Estados. Finalmente, cabe resaltar que la rivalidad no se limitó a Europa, pues tuvo repercusiones en territorios ultramarinos, particularmente en la expansión colonial, el dominio naval y el control de rutas comerciales clave. La victoria de Gran Bretaña aseguró su supremacía naval y colonial durante gran parte del siglo XIX.

12 El término “potencia” se emplea aquí en un sentido analítico contemporáneo propio de los estudios de relaciones internacionales y de seguridad. En los siglos XVIII y XIX, la noción utilizada en el discurso político y diplomático era la de “Imperio” en un sentido aún incipiente, asociado al sistema europeo posterior al Congreso de Viena (1815). Hablar de “potencia” en este capítulo es, por tanto, una aplicación retroactiva para facilitar la comparación con marcos teóricos actuales, pero en rigor histórico corresponde referirse al Imperio británico y a la Francia revolucionaria y napoleónica.

La competencia entre el Reino Unido y la Alemania imperial desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX

Durante gran parte del siglo XIX, el Reino Unido ejerció una hegemonía marítima y colonial, especialmente después de la derrota de Napoleón en 1815. El Imperio británico se expandió como el más vasto de su tiempo, y contaba con la armada más poderosa y con una de las economías industriales más avanzadas. Controlaba extensos territorios coloniales y ejercía un predominio significativo sobre el comercio internacional, lo que consolidó su posición como el centro del sistema económico y político decimonónico.

Alemania, por su parte, era un conjunto de Estados independientes hasta la unificación del Imperio alemán en 1871 bajo el liderazgo prusiano. De acuerdo con Kennedy (1980), la unificación de Alemania cambió fundamentalmente el equilibrio de poder europeo; en efecto, Alemania se industrializó rápidamente y, bajo el canciller Otto von Bismarck, siguió una política de *Realpolitik*, manteniendo un equilibrio de alianzas para evitar que un solo rival, en particular Francia o Rusia, desafiara su posición en el continente.

Sin embargo, a fines del siglo XIX, después de la destitución de Bismarck en 1890, la Alemania imperial bajo el káiser Guillermo II comenzó a afirmarse como una potencia global. Este cambio en la política exterior alemana, conocida como *Weltpolitik* (política mundial), tenía como objetivo expandir la influencia de Alemania a nivel mundial, en particular a través de la expansión naval y la competencia colonial, lo que la llevó a un conflicto directo con el Reino Unido (Friedberg, 1988). A fines del siglo XIX, Alemania había superado a Gran Bretaña en sectores industriales clave, como la producción de acero y la fabricación de productos químicos. En 1910, la producción de acero alemana había superado con creces a la del Reino Unido, y Alemania producía 25,5 millones de toneladas de acero en comparación con los 12,05 millones de toneladas de Gran Bretaña (Remak, 1969). Este cambio preocupó a los líderes británicos, que veían el poder industrial de Alemania como una amenaza directa a su dominio global.

A diferencia de su rival, Alemania mantuvo una política económica proteccionista, imponiendo aranceles elevados a las importaciones extranjeras para proteger su propia industria. El Reino Unido, por otro lado, había adoptado el libre comercio a mediados del siglo XIX, lo que dejó a los fabricantes británicos expuestos a la competencia de los productos alemanes a menor costo. El enfoque alemán en la industrialización, junto con la

creación de institutos técnicos y universidades aplicadas, fomentó un entorno industrial y científico que impulsó avances en ingeniería, química y máquinas herramienta, por lo cual los científicos e ingenieros alemanes fueron pioneros en el desarrollo de nuevas tecnologías, particularmente en la industria química (con avances en colorantes sintéticos, fertilizantes y productos farmacéuticos), y en la industria eléctrica con innovaciones en telegrafía, motores eléctricos y sistemas de generación y distribución de energía. Esta creciente capacidad industrial le dio a Alemania las herramientas para desafiar la supremacía económica de Gran Bretaña.

Pero si bien la competencia económica entre los dos Estados fue intensa, fueron los aspectos geopolíticos y militares de la rivalidad los que llevaron al conflicto abierto. Una de las áreas de competencia más significativas estuvo relacionado con las fuerzas navales, ya que bajo el mando del káiser Guillermo II, Alemania intentó desafiar la supremacía naval británica. A partir de la década de 1890, Alemania se embarcó en una masiva expansión naval, encabezada por el almirante Alfred von Tirpitz, culminando con la construcción de una flota de poderosos acorazados (*Dreadnoughts*) destinados a rivalizar con la Marina Real Británica. Los británicos, alarmados por las ambiciones de Alemania, respondieron lanzando su propio programa de expansión naval, incluida la construcción del revolucionario HMS Dreadnought en 1906, que dejó obsoletos todos los acorazados anteriores.

Esto desencadenó una carrera armamentista, en la que ambos Estados se esforzaron por construir más buques de guerra y de mayor tamaño. Y si bien la armada alemana nunca estuvo a la altura de la británica, el ejército alemán era uno de los más formidables del mundo, gracias a su entrenamiento, tácticas y cultura militar avanzados. El disciplinado ejército alemán, combinado con su eficiente red ferroviaria y capacidad industrial, lo convertía en una potencia terrestre dominante, y esto preocupaba a los estrategas británicos, que temían la capacidad de Alemania para proyectar su poder en toda Europa. Otra dimensión importante de la rivalidad fue la competencia por las colonias de ultramar. El Reino Unido era la principal potencia colonial del mundo, con un vasto imperio que incluía la India, grandes partes de África, Australia, Canadá y otros territorios en todo el mundo. En contraste, Alemania llegó tarde a la carrera imperial, ya que sólo había adquirido colonias en África y el Pacífico a fines del siglo XIX.

Por consiguiente, las ambiciones de Alemania la llevaron a buscar agresivamente nuevas colonias, pero sus oportunidades se vieron limitadas por el dominio británico, así como por los ya bien establecidos imperios francés y belga. Esta

rivalidad imperial se desarrolló en varias partes del mundo, particularmente en África, donde Alemania controlaba territorios como la actual Namibia (África del Sudoeste Alemana), Tanzania (África Oriental Alemana) y Camerún. Según Joll (1984), la rivalidad diplomática se intensificó después de la destitución de Bismarck en 1890, debido a que la política exterior más agresiva del káiser Guillermo II alejó a Alemania de posibles aliados y creó una peligrosa atmósfera de competencia. A principios del siglo XX, Gran Bretaña firmó una serie de acuerdos, incluida la *Entente Cordiale* con Francia (1904) y la Entente anglo-rusa (1907), que, junto con Rusia, formaron la Triple Entente. Esto aisló a Alemania y alineó a Gran Bretaña, Francia y Rusia en oposición al creciente poder del Imperio alemán. Alemania, por otra parte, formaba parte de la Triple Alianza con Austria-Hungría e Italia. Esta división de Europa en dos sistemas de alianzas opuestas aumentó las tensiones y creó una situación precaria en la que incluso una crisis menor podía desencadenar un conflicto mayor. En Alemania, organizaciones como la Liga Pangermánica promovieron el nacionalismo agresivo y las ambiciones coloniales, mientras que, en el Reino Unido, los periódicos retrataban regularmente a Alemania como una amenaza creciente.

La CGP desembocó finalmente en un conflicto abierto en 1914 con el estallido de la Primera Guerra Mundial. Una serie de crisis, incluido el asesinato del archiduque Francisco Fernando de Austria-Hungría, desencadenaron la guerra, pero las tensiones subyacentes entre el Reino Unido y Alemania fueron un factor importante en el período previo al conflicto. Gran Bretaña entró en la guerra en defensa de Bélgica, cuya neutralidad fue violada por Alemania como parte del Plan Schlieffen para invadir Francia (Joll, 1984). La guerra en el frente occidental se convirtió en un punto muerto brutal y costoso, en el que Gran Bretaña y sus aliados lucharon contra Alemania en una serie de batallas de trincheras. De acuerdo con Craig (1981), Gran Bretaña utilizó su superioridad naval para imponer un bloqueo marítimo a Alemania, cortando suministros vitales y contribuyendo a las dificultades económicas y la escasez de alimentos en Alemania.

Este bloqueo fue uno de los factores clave en el debilitamiento del esfuerzo bélico de Alemania a largo plazo, por lo que la guerra terminó con la derrota de Alemania en 1918. Posteriormente, el Tratado de Versalles impuso duras sanciones a Alemania, incluida la pérdida de territorio, la limitación de su ejército y el pago de reparaciones, las cuales aumentaron la humillación y devastación económica de Alemania en el período de posguerra, preparando con ello el escenario para el ascenso de Adolf Hitler y los nazis, y el eventual estallido de la Segunda Guerra Mundial.

En resumen, esta competencia fue una de las rivalidades más importantes de la historia moderna, ya que preparó el escenario para dos guerras mundiales y tuvo profundas implicaciones para el equilibrio de poder en Europa y el mundo. Si bien Gran Bretaña salió victoriosa de la guerra, su economía se debilitó severamente y nunca recuperó su dominio global de antes de la guerra. Alemania, por su parte, quedó devastada y humillada, lo que preparó el escenario para la Segunda Guerra Mundial, aún más destructiva. En el contexto histórico más amplio, la rivalidad entre el Reino Unido y Alemania ejemplifica los peligros de la CGP, especialmente cuando las rivalidades económicas y militares van acompañadas de intensas ambiciones nacionalistas e imperialistas. También ilustra cómo el fracaso de la diplomacia y el enredo de los sistemas de alianzas pueden intensificar las tensiones hasta llegar a una guerra a gran escala.

La competencia entre el Reino Unido y los Estados Unidos desde finales del siglo XIX hasta mediados del XX

Como ya se ha descrito, durante gran parte del siglo XIX el Reino Unido ejerció una posición hegemónica en el sistema internacional, gobernando un extenso imperio colonial y controlando gran parte del comercio marítimo e internacional. Estados Unidos, por otro lado, estaba creciendo rápidamente después de su Guerra Civil (1861-1865), y la industrialización impulsaba su expansión económica. A finales del siglo XIX, Estados Unidos se había convertido en la economía industrial más grande del mundo, superando al Reino Unido en áreas clave como la producción y fabricación de acero. Este ascenso económico planteó un desafío directo al dominio británico, a medida que las industrias estadounidenses se volvían cada vez más competitivas en el mercado internacional (Kennedy, 1987).

En 1870, la economía estadounidense se había vuelto tan grande como la del Reino Unido, y en 1890, la producción industrial estadounidense superó a la de Gran Bretaña. Esta rápida industrialización fue impulsada por el auge de las industrias pesadas como el acero, el carbón y los ferrocarriles. Los industriales estadounidenses, como Andrew Carnegie, John D. Rockefeller y Henry Ford, revolucionaron los procesos de producción y contribuyeron al dominio económico de Estados Unidos (Kennedy, 1987). Y si bien el Reino Unido seguía siendo una gran potencia industrial, la temprana adopción por parte de Gran Bretaña de políticas de libre comercio, que le habían resultado muy útiles a mediados del siglo XIX, dejó a sus industrias expuestas a la

competencia de países como Estados Unidos y Alemania, que aplicaban políticas más proteccionistas. Como resultado, la participación de Gran Bretaña en la producción industrial mundial comenzó a disminuir. Los elevados aranceles de Estados Unidos ayudaron a sus industrias a crecer, pero encarecieron los productos estadounidenses en el extranjero, mientras que el Reino Unido, que seguía adhiriéndose a los principios del libre comercio, intentó mantener sus redes comerciales globales sin recurrir a los aranceles. Esta divergencia en la política comercial alimentó la competencia económica entre los dos países.

Un área clave de competencia entre el Reino Unido y los Estados Unidos era la influencia en el hemisferio occidental, particularmente en América Latina. Estados Unidos se adhirió a la Doctrina Monroe de 1823, declarando que el hemisferio occidental estaba fuera de los límites de una mayor colonización o interferencia europea. De acuerdo con Campbell (1974), una de las crisis diplomáticas más graves entre Estados Unidos y el Reino Unido ocurrió en 1895 cuando se intensificó una disputa fronteriza entre Venezuela y la Guayana Británica (hoy Guyana). Estados Unidos apoyó a Venezuela, invocando la Doctrina Monroe e insistiendo en que Gran Bretaña sometiera la disputa a arbitraje; en un principio, el gobierno británico, encabezado por el primer ministro Lord Salisbury, se resistió a la presión estadounidense, pero a medida que aumentaban las tensiones y se avecinaba la posibilidad de un conflicto, Gran Bretaña finalmente aceptó el arbitraje. Lo importante de este suceso es que la resolución de la crisis de Venezuela marcó un punto de inflexión en las relaciones entre Estados Unidos y el Reino Unido; si bien destacó la determinación de Estados Unidos de afirmar su dominio en el hemisferio occidental, también mostró la voluntad de Gran Bretaña de evitar el conflicto con Estados Unidos y buscar soluciones diplomáticas.

En 1898, Estados Unidos afirmó decisivamente su poder en el hemisferio occidental con la guerra hispanoamericana, en la que derrotó a España y tomó el control de varias de las antiguas colonias de España, entre ellas Puerto Rico, Guam y Filipinas. La guerra marcó el surgimiento de Estados Unidos como potencia imperial, extendiendo su influencia al Caribe y al Pacífico (May, 1961). Y a pesar de que Gran Bretaña había sido durante mucho tiempo una potencia dominante en estas regiones, no se opuso a la expansión estadounidense; de hecho, apoyó a los Estados Unidos durante la Guerra Hispano-estadounidense, considerando a España como una potencia en decadencia y reconociendo los beneficios de las buenas relaciones con los cada vez más poderosos Estados Unidos.

Una de las cuestiones centrales en la competencia entre el Reino Unido y los Estados Unidos durante este periodo estuvo relacionado también con el poder naval, ya que los Estados Unidos comenzaron a construir una marina robusta a fines del siglo XIX, desafiando la supremacía británica en el hemisferio occidental. El estratega naval estadounidense Alfred Thayer Mahan (1890) sostuvo que el poder naval era la clave para la grandeza nacional, y las ideas de Mahan influyeron enormemente en la política naval de Estados Unidos, lo cual conllevó a una importante expansión naval mediante la construcción de acorazados que podían rivalizar con los de la flota británica. Pero a pesar de esta competencia naval, el Reino Unido y Estados Unidos lograron evitar una carrera armamentista, gracias a la suscripción del Acuerdo Naval Angloamericano y del Tratado Naval de Washington de 1922, que impuso límites a la expansión naval (Bourne, 1967).

A fines del siglo XIX y principios del XX, la rivalidad entre Estados Unidos y el Reino Unido había comenzado a dar paso a la cooperación, un período al que a menudo se hace referencia como el Gran Acercamiento (Allen, 1955). Varios factores contribuyeron a este cambio de la competencia a la colaboración, como los valores compartidos entre ambos Estados que ayudaron a aliviar las tensiones y crearon un sentido de parentesco entre las dos naciones. Asimismo, y a medida que Alemania, Rusia y Francia se volvieron más poderosas y agresivas en Europa, Gran Bretaña comenzó a ver a Estados Unidos como un aliado valioso en lugar de un rival. Cuando estalló la Primera Guerra Mundial en 1914, la competencia entre ambos se había desvanecido en gran medida, y los dos Estados se encontraron del mismo lado de la contienda, aunque los estadounidenses no entraron en la guerra hasta 1917. La estrecha cooperación durante la Primera Guerra Mundial preparó el terreno para una colaboración continua en el período de entreguerras, aunque hubo algunas tensiones por las deudas de guerra y las políticas económicas. Sin embargo, según Allen (1955), la experiencia compartida de luchar juntos en la Gran Guerra fortaleció los vínculos entre Estados Unidos y el Reino Unido.

Cuando comenzó la Segunda Guerra Mundial en 1939, ambos actores ya eran aliados cercanos, y su competencia era un recuerdo lejano. Antes de entrar oficialmente en la guerra, Estados Unidos proporcionó un apoyo fundamental a Gran Bretaña a través de la Ley de Préstamo y Arriendo, que le permitía enviar armas, alimentos y otros suministros a Gran Bretaña para ayudarla a luchar contra la Alemania nazi. En 1941, Roosevelt y Churchill se reunieron para redactar la Carta del Atlántico, una declaración de principios compartidos para el mundo de posguerra, que incluía la promoción de la democracia, el libre comercio y la autodeterminación de todas las naciones. De acuerdo con Kennedy (1987), este documento sentó las bases para el orden internacional

de posguerra, así como el establecimiento de instituciones internacionales como las Naciones Unidas y el sistema financiero de Bretton Woods, en gran medida moldeado por la cooperación angloamericana.

En conclusión, este fue un caso único de rivalidad que, a diferencia de muchas otras CGP, no terminó en guerra, sino que evolucionó hasta convertirse en una de las alianzas más estrechas y duraderas de la historia moderna. La competencia fue en gran medida económica y geopolítica, y giró en torno al comercio, el dominio naval y la influencia global, especialmente en el hemisferio occidental.

La competencia entre Estados Unidos y el Japón imperial a comienzos del siglo XX

Durante finales del siglo XIX y principios del XX, tanto Estados Unidos como Japón eran potencias en ascenso en Asia y el Pacífico. Estados Unidos había emergido de la Guerra Hispano-estadounidense de 1898 como una potencia imperial y estaba estableciéndose como un actor importante en el Pacífico, controlando territorios como las Filipinas, Guam y Hawái. Por su parte, después de la Restauración Meiji de 1868, Japón se había modernizado y se había convertido en una potencia industrial y militar. Los japoneses habían derrotado con éxito a China en la Primera Guerra Sino-japonesa (1894-1895) y más tarde a Rusia en la Guerra Ruso-japonesa (1904-1905), asegurando su dominio en el este de Asia. Inicialmente, Estados Unidos y Japón mantuvieron relaciones amistosas, pero a medida que ambos Estados buscaban una mayor influencia en la región, sus intereses comenzaron a colisionar, lo que llevó a una creciente tensión y rivalidad.

Según Feis (1950), Estados Unidos y Japón tenían intereses significativos en China y en la región más amplia de Asia y el Pacífico. China, en ese momento, era débil y estaba dividida, lo que la convertía en un objetivo atractivo para las potencias extranjeras que buscaban influencia y oportunidades económicas. En este contexto, los Estados Unidos, bajo la presidencia de William McKinley, declaró la política de puertas abiertas, abogando por el acceso igualitario al comercio con China para todas las naciones y la preservación de la integridad territorial de China (Feis, 1950), ya que los Estados Unidos quería evitar que cualquier potencia (especialmente Japón), dominara China y monopolizara sus mercados.

Japón, sin embargo, pretendía establecer su propia esfera de influencia en el este de Asia, en particular en Corea y Manchuria, que consideraba fundamentales para sus intereses económicos y de seguridad. La economía de Japón dependía en gran medida de las importaciones de materias primas, en particular del sudeste asiático, mientras que Estados Unidos se estaba convirtiendo cada vez más en un proveedor de recursos críticos para Japón, como petróleo y chatarra. Los líderes de Japón consideraban que la expansión territorial era esencial para asegurar un imperio autosuficiente, en particular en China y el sudeste asiático, donde esperaban obtener acceso a materias primas como mineral de hierro, carbón y petróleo.

Sin embargo, Estados Unidos veía con preocupación la creciente influencia de Japón en la región, temiendo que alterara el equilibrio de poder y amenazara los intereses estadounidenses en China y el Pacífico. Estados Unidos quería evitar que una sola potencia controlara los recursos y mercados de la región, lo que amenazaría el acceso estadounidense a esos mercados. En un esfuerzo por controlar las crecientes tensiones, Estados Unidos y Japón firmaron el Acuerdo Root-Takahira en 1908, el cual reconocía el control de Japón sobre Corea y sus intereses en Manchuria, mientras que Japón, a su vez, respetaba los intereses territoriales de Estados Unidos en Filipinas y aceptaba mantener la Política de Puertas Abiertas en China. Este acuerdo ayudó a reducir temporalmente las tensiones, pero no resolvió la competencia subyacente por el dominio en la región.

A medida que Japón seguía expandiendo su influencia, en particular en China, las tensiones con Estados Unidos crecieron. Estados Unidos veía las acciones de Japón como una violación de la política de puertas abiertas, mientras que Japón sentía que su expansión territorial era necesaria para su supervivencia como gran potencia. A medida que crecían las tensiones entre Estados Unidos y Japón, ambos se embarcaron en una carrera armamentista, particularmente en el poder naval. Después de su victoria sobre Rusia en 1905, Japón continuó expandiendo su armada, con el objetivo de construir una flota que pudiera rivalizar con Estados Unidos en el Pacífico y así asegurar su imperio y controlar las rutas marítimas vitales que conducían al sudeste asiático.

En respuesta al creciente poder naval de Japón, Estados Unidos comenzó a fortalecer su propia flota del Pacífico. En 1907, el presidente Theodore Roosevelt envió a la Gran Flota Blanca a una gira mundial, que incluyó una visita a Japón, como demostración del poder naval estadounidense. La gira tenía como objetivo mostrar la capacidad de Estados Unidos para proyectar su poder a nivel mundial, incluso en el Pacífico, y recordarle a Japón las

capacidades militares estadounidenses. De acuerdo con Morgan (2016), los Estados Unidos intentaron limitar la carrera armamentista naval por medios diplomáticos tras la Primera Guerra Mundial; la Conferencia Naval de Washington dio como resultado el Tratado de las Cinco Potencias, que impuso límites a la construcción naval para Estados Unidos, el Reino Unido, Japón, Francia e Italia. En virtud del tratado, se estableció una proporción de 5:5:3 para los buques capitales (acorazados), lo que significa que por cada cinco acorazados que se permitían a Estados Unidos y el Reino Unido, Japón podía tener solo tres. Si bien este tratado alivió temporalmente las tensiones, dejó a Japón con una sensación de desdén, ya que creía que merecía la paridad con Estados Unidos y el Reino Unido.

En la década de 1930, el liderazgo militar de Japón había adquirido cada vez más influencia en la formulación de la política nacional. La depresión económica mundial exacerbó la escasez de recursos de Japón e hizo que la expansión territorial pareciera aún más esencial. En consecuencia, el gobierno de Japón, dominado por militaristas, adoptó una política exterior más agresiva. En 1931, Japón invadió y ocupó Manchuria, estableciendo el estado títere de Manchukuo. Esta agresiva medida fue condenada por Estados Unidos y la Liga de las Naciones, pero Japón continuó su expansión, creyendo que el control de Manchuria le proporcionaría las materias primas necesarias para su supervivencia económica. Esto marcó el comienzo de las ambiciones imperiales más amplias de Japón en el este de Asia. En 1933, después de que la Sociedad de Naciones condenara sus acciones en Manchuria, Japón se retiró de la organización, lo que indicaba su rechazo al sistema internacional defendido por los Estados Unidos y otras potencias occidentales. Japón se aisló cada vez más diplomáticamente, lo que solo endureció su determinación de seguir una política exterior militarista. La invasión de China por parte de Japón en 1937, que condujo a la segunda guerra chino-japonesa, marcó una importante escalada de sus ambiciones territoriales. Japón buscó dominar a China y Estados Unidos respondió brindando apoyo material a China y condenando las acciones de Japón, lo que tensó aún más las relaciones.

Según Paine (2016), a finales de la década de 1930, Estados Unidos y Japón estaban en camino de colisionar. La expansión territorial de Japón y su comportamiento cada vez más agresivo en Asia amenazaban directamente los intereses estadounidenses en el Pacífico. En 1940, Japón declaró la creación de la esfera de coprosperidad de la Gran Asia Oriental, un concepto imperialista que concebía a Japón como líder de un bloque de naciones asiáticas, libre de la influencia occidental. Esto fue visto por Estados Unidos como un desafío directo a la política de puertas abiertas y su influencia en la región. En respuesta a la continua agresión de Japón en China y su alianza con Alemania e Italia

en el Pacto Tripartito de 1940, Estados Unidos impuso un embargo total a los envíos de petróleo a Japón. Este fue un golpe devastador para la economía y el ejército japonés, que dependían en gran medida del petróleo estadounidense (Kennedy, 1987).

Japón, que enfrentaba una escasez de petróleo debido al embargo estadounidense, consideró que la expansión en el sudeste asiático era esencial para su supervivencia, en concreto hacia las Indias Orientales Holandesas ricas en petróleo (la actual Indonesia). Y ante los efectos paralizantes de las sanciones estadounidenses y la creencia de que Estados Unidos acabaría entrando en la guerra para oponerse a la expansión japonesa, el liderazgo militar de Japón decidió un ataque preventivo. El 7 de diciembre de 1941, Japón lanzó un ataque sorpresa contra la Flota del Pacífico de los Estados Unidos en Pearl Harbor, con el objetivo paralizar a la Armada estadounidense y darle tiempo a Japón para consolidar sus ganancias en el sudeste asiático y el Pacífico. El ataque a Pearl Harbor provocó la entrada inmediata de Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial, transformando la rivalidad del Pacífico en una guerra total.

En resumen, la rápida industrialización de Japón durante el período Meiji requirió importantes recursos naturales, especialmente carbón, hierro y petróleo, de los que Japón carecía en cantidades suficientes. Como resultado, Japón buscó expandir su control territorial en Asia Oriental y el Pacífico para asegurarse el acceso a estos recursos. Esta búsqueda de recursos puso a Japón en una trayectoria de colisión con Estados Unidos, que tenía sus propios intereses económicos en la región. La competencia culminó en la Segunda Guerra Mundial, y el teatro del Pacífico se convirtió en una de las fases más destructivas del conflicto, que culmina con el lanzamiento de bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki en 1945. El conflicto terminó finalmente con la derrota de Japón y estableció a Estados Unidos como la potencia dominante en la región durante el resto del siglo XX.

Competencia de Grandes Poderes y la Militarización del Espacio Exterior Durante el Periodo de Guerra Fría

La Guerra Fría fue una rivalidad bipolar entre Estados Unidos y la Unión Soviética que duró más de 45 años. Entre 1945 y 1991, ningún otro Estado del mundo tuvo objetivos estratégicos o niveles de poder comparables a los de Washington y Moscú. A diferencia de los cuatro casos históricos analizados en el apartado anterior, los cuales sucedieron sistemas internacionales multipolares,

la rivalidad bipolar de la Guerra Fría careció de una potencia emergente que disputara el poder con una gran potencia ya establecida. En cambio, Estados Unidos y la Unión Soviética afirmaron su dominio y compitieron como iguales en todos los aspectos de las relaciones internacionales. La Guerra Fría careció de una fase de transición entre grandes potencias, ya que comenzó con áreas geográficas de influencia claramente definidas y una cooperación mínima entre las grandes potencias; efectivamente, después de 1945, emergieron rápidamente un bloque soviético y un bloque occidental de Estados liderado por Estados Unidos, sin significativos intercambios económicos, sociales, de comunicación o políticos entre ellos, salvo la diplomacia fundamental y vías restringidas para los viajes y el intercambio cultural (Gaddis, 2005).

Durante toda la era de la Guerra Fría, existió una feroz rivalidad y conflicto entre los Estados Unidos y la Unión Soviética en múltiples dominios estratégicos, incluido el espacio exterior. Y desde el comienzo de la exploración espacial, la militarización del espacio fue un hecho histórico indiscutible, estrechamente vinculada la CGP durante este periodo. En efecto, el lanzamiento del *Sputnik 1* por parte de la Unión Soviética en 1957 marcó el comienzo de la exploración espacial, pero también tuvo importantes implicaciones militares. El *Sputnik* demostró la capacidad de la Unión Soviética para lanzar misiles balísticos intercontinentales (MBI), ya que la misma tecnología utilizada para colocar un satélite en órbita terrestre podía utilizarse para lanzar ojivas nucleares a través de los continentes. Este acontecimiento despertó preocupación en los Estados Unidos y fue un factor importante en la posterior carrera espacial, impulsada tanto por motivaciones científicas como militares (Álvarez, Murillo, Hernández y Urbina, 2021).

Por consiguiente, tanto los Estados Unidos como la Unión Soviética establecieron programas espaciales militares al comienzo de la era espacial. La Fuerza Aérea de los Estados Unidos inició el programa *Discoverer/Corona* a fines de la década de 1950, que fue la primera serie de satélites de reconocimiento utilizados para recopilar inteligencia sobre la Unión Soviética; de manera similar, la Unión Soviética desarrolló sus propios satélites militares, incluida la serie *Zenit*, que proporcionaba capacidades de reconocimiento cruciales, ya que a lo largo de la Guerra Fría, el reconocimiento por satélite proporcionó información crítica sobre los emplazamientos de misiles, los movimientos de tropas y otras actividades militares (Day, 1999).

Además, el desarrollo de armas antisatélite (ASAT) es una clara indicación de la militarización del espacio. Estados Unidos realizó su primera prueba ASAT exitosa en 1959 con el misil *Bold Orion*, lanzado desde un bombardero B-47, que pasó cerca de un satélite *Explorer VI*. La Unión Soviética le siguió con su

propio programa ASAT en la década de 1960, que culminó con pruebas que demostraron la capacidad de destruir satélites en órbita.

El despliegue de satélites militares para posicionamiento, navegación y tiempo también ha sido una piedra angular de las operaciones militares en la modernidad. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos en la década de 1970, proporciona datos de navegación críticos para las operaciones militares, lo que permite el guiado preciso de municiones y el movimiento de tropas. La adopción generalizada del GPS y sistemas similares por parte de otros Estados, como el GLONASS de Rusia y el *BeiDou* de China, ilustra aún más la integración de la tecnología espacial en las operaciones militares.

En resumen, la consolidación de sistemas satelitales como el GPS, el GLONASS o el *BeiDou* demuestra que la militarización del espacio no fue un fenómeno aislado, sino el resultado de una evolución progresiva iniciada en la segunda mitad del siglo XX. Para comprender cómo se llegó a este grado de integración tecnológica y estratégica, es necesario examinar la dinámica de la carrera espacial a partir de la década de los cincuenta, cuando la competencia entre Estados Unidos y la Unión Soviética impulsó avances tecnológicos en cohetes, satélites, programas tripulados y sistemas de defensa. Estos hitos históricos permiten apreciar cómo el espacio pasó de ser un escenario de demostración tecnológica a convertirse en un dominio central de la seguridad internacional.

La carrera espacial en la década de los cincuenta

El 20 de septiembre de 1956, el ejército estadounidense desplegó un misil balístico de alcance intermedio “Júpiter C” desde una plataforma de lanzamiento en Cabo Cañaveral (Florida). Se trataba, en esencia, de una versión aumentada del cohete “Redstone” de Wernher von Braun. El misil logró despegar con éxito, produciendo un empuje superior a las 35 toneladas en los motores de la primera etapa, que funcionaron durante 150 segundos; y a medida que las etapas superiores avanzaban a través del Atlántico, alcanzaron una altitud sin precedentes de 1.100 kilómetros, superando cualquier altura anterior alcanzada por cualquier objeto creado por el hombre; posteriormente, la carga útil del cohete descendió 5.400 kilómetros aproximadamente desde el punto de lanzamiento antes de sufrir combustión en la atmósfera terrestre (Neufeld, 2007). Y aunque el Ejército de los Estados Unidos no anunció públicamente el lanzamiento ni los resultados del vuelo del Júpiter C, la información sobre el evento pudo haber cambiado irrevocablemente el curso

de la “carrera espacial”, sirviendo como uno de los principales catalizadores para el lanzamiento del Sputnik 1 en 1957, el cual no sólo marcó el comienzo de la era espacial, sino que también subrayó las posibles aplicaciones militares de la tecnología espacial¹³.

En el momento del lanzamiento del Júpiter C, los científicos e ingenieros soviéticos ya habían participado activamente en el estudio y la construcción de satélites durante un período considerable. De acuerdo con Petty (2020), a principios de la década de 1950, la investigación sobre satélites en la Unión Soviética comenzó bajo la dirección del famoso diseñador de cohetes soviético Mikhail Tikhonravov en el Instituto de Investigación Científica N° 4, una institución militar encubierta ubicada al noreste de Moscú. El “09”, un cohete que construyó en 1933, logró la distinción de convertirse en el primer cohete soviético en lograr el vuelo utilizando combustibles líquidos. Posteriormente, en el Instituto de Investigación Científica N° 4, encabezó las investigaciones de diseño iniciales sobre cohetes multietapas¹⁴, que finalmente se incluyeron en el famoso misil balístico intercontinental R-7, desarrollado en la Oficina de Diseño Experimental N° 1 y bajo la dirección del destacado diseñador jefe Sergey Korolev.

A mediados de la década de 1950, el objetivo principal de la Oficina de Diseño Experimental N° 1 era fabricar misiles balísticos con capacidades crecientes para transportar bombas nucleares. Mientras trabajaba en organizaciones separadas, Korolev mantuvo una fuerte conexión con Tikhonravov y siguió de cerca la investigación satelital de este último. Según van Pelt (2012), el lanzamiento real de un satélite era en gran parte un concepto novedoso hasta la introducción del misil balístico intercontinental (MBI), que teóricamente tenía la capacidad de proporcionar suficiente velocidad a un objeto pequeño, lo que le permitía seguir una trayectoria de caída libre alrededor de la Tierra. En mayo de 1954, inmediatamente después de la aprobación oficial del MBI R-7 por parte de los líderes soviéticos, Korolev inició los esfuerzos para

13 Al mismo tiempo, surgieron dos puntos de vista divergentes sobre el poder espacial: uno que postulaba que el espacio sirve como refugio para el avance de la humanidad, que debe utilizarse únicamente con fines pacíficos, y otro que afirmaba que el espacio es un entorno de seguridad vital que requiere jurisdicción y supremacía.

14 Un cohete multietapa se define como un cohete que emplea dos o más etapas, cada una de las cuales cuenta con motores y propelente propios. La principal justificación para la utilización de cohetes multi-etapa radica en que, una vez agotado el carburante, la estructura y el espacio que lo alberga se convierte en peso muerto que disminuye la aceleración subsecuente del vehículo. Por ende, el cohete se desprende de las etapas que ya no son de uso. En 1947, Tikhonravov formuló una teoría de fases paralelas, a las cuales designó como “cohetes empaquetados”. Dentro de este esquema, se activaban tres etapas paralelas desde el despegue; sin embargo, los tres motores recibían energía de las dos etapas exteriores, hasta que estas quedaban vacías y podían ser liberadas.

persuadir a funcionarios industriales de alto rango para que autorizaran un proyecto satelital.

Los proyectos de Korolev fueron validados por la participación del académico Mstislav Keldysh, un matemático con experiencia en varios campos como la aerodinámica, la hidrodinámica y la teoría de vibraciones. Cabe señalar que, dentro del ámbito clandestino del desarrollo de armamentos, Keldysh era un científico notablemente influyente y muy respetado, por lo cual el triunvirato de Korolev, Keldysh y Tikhonravov estableció un consorcio de cabildeo altamente eficiente que abogó con éxito para el desarrollo de un programa satelital ante el Partido Soviético (Zubok, 2007). El 4 de octubre de 1957, el anuncio de que la Unión Soviética había lanzado con éxito el Sputnik I y se convertía en el primer Estado del mundo en lanzar misiones espaciales, tuvo un profundo impacto en la política espacial de Estados Unidos de allí en adelante.

En 1957, ninguna de los servicios de las fuerzas militares estadounidenses poseía un marco teórico completo sobre las posibles aplicaciones militares del espacio (Neufeld, 2005). El único componente reconocido del uso del espacio era el avance del reconocimiento espacial. Pero el impacto del Sputnik impulsó a las Fuerzas Militares de los Estados Unidos a investigar la necesidad de una capacidad de lanzamiento espacial avanzado (ASAT). En medio de la fase inicial del impacto del Sputnik, la Fuerza Aérea estadounidense tomó la iniciativa de afirmar su responsabilidad por las actividades militares de dicho Estado en el espacio exterior, mediante la formulación del concepto aeroespacial y una metodología estratégica que postulaba el potencial del espacio para mejorar significativamente la seguridad nacional (Mowthorpe, 2009).

Posteriormente, el 29 de noviembre de 1957, el general Thomas D. White introdujo la primera doctrina espacial de la Fuerza Aérea, la cual enfatizaba que el poder espacial sería tan influyente en el combate como la Fuerza Aérea percibía que lo sería el poder aéreo. También reconocía la existencia de un único medio operativo en el espacio aeroespacial, ya que no había diferenciación entre el aire y espacio (Lai, 2021). Además, exigía que la Fuerza Aérea tuviera autoridad operativa sobre todas las fuerzas que operaran en este medio. Estas creencias sostenidas por la Fuerza Aérea contradecían directamente la estrategia espacial de Eisenhower, que se adhería a la noción de que el espacio servía como refugio para objetivos de reconocimiento. A mediados de la década de 1950, cuando la Fuerza Aérea de los Estados Unidos contempló por primera vez la tecnología para lanzar satélites en órbita, el misil balístico intercontinental Atlas, que se estaba desarrollando en ese

momento, surgió como la lógica opción. El rendimiento previsto del Atlas era suficiente para lanzar una carga útil sustancial, del orden de varios miles de kilogramos, a la órbita baja de la Tierra. Sin embargo, el Atlas resultó ser bastante costoso y complicado de operar, y su tamaño excedía los requisitos de muchas misiones (Kaza, 2010).

A pesar de ello, la Fuerza Aérea estadounidense estaba desarrollando un misil más pequeño llamado misil balístico de alcance intermedio Thor, que tenía la capacidad de lanzar una carga en órbita. A lo largo de la primera década de la era espacial, el cohete Thor desempeñó un papel crucial en los programas espaciales militares y civiles estadounidenses. Con el tiempo, el cohete Thor fue modificado y evolucionó primero en la versión Thor-Delta y, posteriormente, en el reconocido modelo Delta II. Se llevaron a cabo varios lanzamientos orbitales desde la Base Aérea Vandenberg, ubicada en la costa de California, para propulsar cargas útiles clasificadas en órbita. El precio asequible y la facilidad de control de Thor lo convirtieron en un cohete más valioso para la Fuerza Aérea. Según Day (1999), a fines de la década de 1950, Thor recibió la tarea de transportar una mayor cantidad de satélites en órbita, incluidos los satélites de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (IVR) CORONA, así como otras familias cada vez más numerosas de satélites militares y comerciales.

En 1958, el presidente Eisenhower formó un comité especializado que posteriormente se conocería como el Informe Purcell. Este informe solidificó aún más las perspectivas de Eisenhower sobre el despliegue de fuerzas militares en el espacio ultraterrestre. Si bien el estudio abordó en términos generales las ventajas científicas de la exploración espacial, sí respaldó las aplicaciones militares del espacio que se consideraban particularmente útiles, como las de reconocimiento, comunicación y predicción meteorológica (Dienesch, 2016). Las investigaciones corroboraron las ventajas militares pasivas del espacio y también descartaron el concepto de armamento espacial. El objetivo de este informe fue proporcionar principios fundamentales para la utilización militar del espacio por parte de los Estados Unidos.

La militarización espacial durante la década de los sesenta

A principios de la década de 1960, la Unión Soviética desplegó numerosos satélites de reconocimiento fotográfico que recuperaban la película expuesta y la devolvían a la Tierra en contenedores cerrados. Utilizando satélites de reconocimiento fotográfico de primera generación llamados Zenit-2, que eran esencialmente copias sin tripulación de la nave espacial Vostok repletas

de cámaras, la Unión Soviética hizo sus primeros intentos de transmitir fotografías a la Tierra a través de canales de radio (Strausbaugh, 2024).

Los cuatro satélites soviéticos lanzados en 1962-1963 estaban equipados con un sistema experimental de lectura de películas conocido como Baikal, el cual escaneaba automáticamente la película que se había producido a bordo y luego comunicaba las imágenes resultantes a la Tierra. La misión lunar “Luna-3” empleó un método comparable en 1959 para transmitir las fotografías iniciales del lado oculto de la Luna; sin embargo, las fotografías obtenidas por el sistema Baikal tenían una resolución de unos 10 metros, lo que era insuficiente para ofrecer información significativa, por lo que la carga útil fue retirada de la posterior nave espacial Zenit-2. Un sistema de lectura de película comparable, que fue evaluado por un satélite de reconocimiento Samos de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en 1961, tuvo un resultado similar (aunque la tecnología fue entregada posteriormente a la NASA para su implementación en el programa Lunar Orbiter). En una etapa posterior de la década, el Pentágono otorgó autorización para una versión modificada de los satélites de espionaje GAMBIT llamada FROG (Film Read-Out GAMBIT).

A principios de la década de 1960, la administración Kennedy (1961-1963) inició una reevaluación de la escuela de pensamiento del santuario después de las declaraciones y actividades soviéticas que sugerían su búsqueda de armas nucleares en órbita. De acuerdo con McDougall (1997), la retórica de la administración Kennedy sobre la brecha de misiles sirvió como fuente de aliento para los militares, especialmente la Fuerza Aérea de los Estados Unidos; en consecuencia, la comunidad de defensa estadounidense respondió intensificando sus esfuerzos para aumentar la presencia militar estadounidense en el espacio en medio de las tensiones entre los Estados Unidos y la Unión Soviética. Para abordar el problema en mayo de 1962, el entonces secretario de la defensa de los Estados Unidos, Robert McNamara, asignó al Ejército estadounidense la responsabilidad de modificar el misil antibalístico Nike Zeus para su futura misión como arma antisatélite (ASAT).

El 8 de julio de 1962, un misil Thor lanzado desde la isla Johnston en el Pacífico norte desplegó el dispositivo de prueba conocido como *Starfish Prime*, el cual detonó a una altura de 400 kilómetros sobre la isla Johnston. La explosión termonuclear produjo una producción de plasma de 1,45 megatones¹⁵, y la luz de la detonación se vio sobre el Pacífico, envolviendo el cielo con deslumbrantes auroras que se extendieron desde Hawái hasta Nueva Zelanda. Pero a diferencia de las explosiones nucleares en la Tierra, que hacen que la atmósfera se sobrecaliente hasta convertirse en una bola de

15 Una potencia 1.000 veces mayor que la bomba atómica lanzada sobre Hiroshima.

fuego, las explosiones nucleares en el espacio emiten su energía en forma de partículas cargadas de alta energía, rayos X, flujos rápidos de neutrones y pulsos electromagnéticos (PEM)¹⁶.

En consecuencia, el evento provocó daños eléctricos en Hawái, situada a unos 1.000 kilómetros de distancia, al afectar el suministro eléctrico, desconectar el alumbrado público, interrumpir las redes telefónicas, entre otras (Wolverton, 2018). Además, el efecto sobre los satélites en órbita baja terrestre fue significativo, ya que la detonación generó partículas de alta energía que posteriormente crearon cinturones de radiación alrededor de la Tierra. La intensidad de estos efectos se vio acentuada por el efecto combinado de las partículas de alta energía emitidas durante las pruebas de armas nucleares rusas en el espacio sobre Kazajistán en octubre de 1962, y la radiación de *Starfish Prime*. Según Wolverton (2018), durante los meses siguientes a la explosión, la radiación causó daños significativos y la destrucción de aproximadamente un tercio de los satélites en la órbita de la Tierra. Esto incluía el satélite Telstar de AT&T, que se desplegó el 10 de julio de 1962, es decir, dos días después del lanzamiento de *Starfish Prime*; si bien Telstar transmitió con éxito la programación televisiva transatlántica inaugural en vivo el 23 de julio de 1962, sucumbió a la radiación emitida por *Starfish Prime* en noviembre del mismo año¹⁷.

Las consecuencias de las pruebas de armas nucleares en el espacio exterior motivaron a la administración Kennedy de los Estados Unidos y al gobierno de Khrushchev de la Unión Soviética a aceptar finalmente el Tratado de Prohibición Limitada de Pruebas Nucleares, que se firmó en agosto de 1963. Asimismo, un esfuerzo importante en esa época fue la negociación por parte del presidente Kennedy de la Resolución 1884 (XVIII) de la Asamblea General de las Naciones Unidas, el 17 de octubre de 1963, la cual exigía la prohibición de desplegar armas nucleares o armas de destrucción masiva en el espacio ultraterrestre.

La iniciativa de la administración Johnson (1963-1969) de aprobar el Tratado del Espacio Ultraterrestre (TEU) de 1967 estuvo muy condicionada por esta resolución, por lo que ejerció un profundo impacto en la evolución de la estrategia militar espacial posterior (Álvarez y Corredor, 2021). La restricción

16 El PEM es el proceso por el cual los rayos gamma emitidos durante una explosión nuclear eliminan electrones de los gases en la atmósfera superior; este fenómeno altera las imágenes de radar, interrumpe los canales de comunicación y sobrecarga gravemente las redes eléctricas.

17 De todos los satélites en órbita durante la prueba nuclear de *Starfish Prime*, solo 22 estaban operativos. Según el Online Index of Objects Launched into Outer Space, en la actualidad hay alrededor de 8.000 satélites operativos en órbitas terrestres (Office of Outer Space Affairs, 2024), con poco más de 6.800 ubicados en la órbita terrestre baja (LEO).

explícita de las instalaciones militares en la Luna y otros cuerpos celestes, junto con la prohibición de las armas de destrucción masiva desde el espacio, impuso limitaciones significativas a la noción de que el espacio podía utilizarse abiertamente como bastión estratégico para la disuasión o el combate real. De acuerdo con Lai (2021), el TEU sirvió como una clara indicación de que los dirigentes civiles de los Estados Unidos no consideraban que el espacio tuviera un valor militar significativo, salvo como zona de protección para los satélites de IVR.

El presidente Johnson mantuvo los programas ASAT iniciados por la administración Kennedy, creyendo que poseer un ASAT servía como protección contra las armas orbitales soviéticas. Sin embargo, un estudio sobre armas ASAT examinó el uso potencial de ASAT contra objetivos, independientemente de la introducción de sistemas de lanzamiento orbital (Stares, 1985). La investigación consideró que las capacidades ASAT de Estados Unidos eran capaces de mantener el concepto de no interferencia en el espacio (McDougall, 1997). Sin embargo, la administración Johnson no estuvo de acuerdo con la propuesta del informe sobre realizar más misiones para mejorar la capacidad ASAT. En cambio, reafirmó su creencia de que apuntar a los satélites soviéticos provocaría represalias y que Estados Unidos dependía cada vez más de los satélites.

En suma, la década de 1960 representó un punto de inflexión en la militarización del espacio. A la par de los avances tecnológicos en satélites de reconocimiento y pruebas ASAT, los ensayos nucleares en órbita demostraron los riesgos de trasladar la lógica de la disuasión al espacio exterior. La firma del Tratado de Prohibición Limitada de Pruebas Nucleares (1963) y del Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967) reflejó la voluntad de imponer límites jurídicos a la carrera armamentista espacial, aunque sin eliminar los desarrollos militares subyacentes. Así, los sesenta sentaron las bases de un doble legado: por un lado, la institucionalización del espacio como bien común internacional, y por otro, la consolidación de su papel como dominio estratégico en la competencia de grandes potencias.

El dominio espacial en la década de los setenta

Al asumir el cargo, la administración de Nixon (1969-1974) formó rápidamente un “Grupo de Trabajo Espacial” y le asignó la responsabilidad de realizar una evaluación exhaustiva de las futuras estrategias para el programa espacial estadounidense (Lai, 2021). El informe publicado en septiembre de 1969 tenía un tono que reflejaba la conciencia de gastos de la administración, declarando

que el Departamento de Defensa sólo podría iniciar nuevas iniciativas en el espacio exterior si podía demostrar que sería económicamente más eficiente. En este orden de ideas, los acuerdos legales conocidos como SALT I, que incluyen el Tratado sobre la limitación de los sistemas de misiles antibalísticos y el Acuerdo provisional sobre la limitación de las armas ofensivas estratégicas, tuvieron consecuencias significativas para la estrategia espacial militar de los Estados Unidos (Lai, 2021). Las negociaciones afectaron principalmente a la política espacial al establecer el papel destacado de los satélites de reconocimiento como herramienta de verificación. Por ende, los acuerdos mencionados indicaban que las Fuerzas Militares de los Estados Unidos habían desplazado su atención de la doctrina de control espacial a la escuela del santuario.

Numerosos incidentes importantes ocurridos en la década de 1960 subrayaron la necesidad de imágenes satelitales que pudieran ofrecer lo que más tarde se denominó “reconocimiento y respuesta a la crisis”. La crisis de los misiles cubanos en octubre de 1962 implicó la utilización de imágenes de reconocimiento U-2 a gran altitud e imágenes a baja altura captadas por aviones RF-8 Crusader de la Marina, todas ellas adquiridas con un importante peligro para sus tripulaciones. El estallido de la Guerra de los Seis Días en Oriente Medio en junio de 1967, así como la invasión soviética de Checoslovaquia en agosto de 1968, coincidieron con periodos en los que los satélites de reconocimiento de los Estados Unidos tenían el potencial de reunir información, aunque no pudieron hacerlo debido a limitaciones temporales.

Según Wawrzyniec (2023), la Organización Nacional de Investigación (NRO) brindó, a partir de 1967, apoyo financiero para las investigaciones de los contratistas sobre un satélite de reconocimiento compacto llamado SPIN SCAN, que se pretendía desplegar en órbita junto con un satélite de reconocimiento mucho más grande. SPIN SCAN, cuyo tamaño es similar al de un frigorífico de tamaño considerable y está diseñado con la forma de una baraja de cartas, estaría equipado con una cámara panorámica situada perpendicularmente al eje de giro y se estabilizaría mediante giro a una velocidad de 29 revoluciones por minuto; durante la fotografía, el eje de giro mantiene una alineación paralela con la superficie de la Tierra, cubriendo un área de 333 kilómetros y aproximadamente nueve kilómetros de ancho (Wawrzyniec, 2023).

Lo valioso es que permitía una resolución terrestre de hasta un metro, suficiente para identificar vehículos como tanques y artillería. La película se exponería a bordo utilizando la técnica bimat empleada en el anterior satélite de reconocimiento Samos y en el Lunar Orbiter de la NASA. Posteriormente,

la película revelada sería escaneada por un escáner láser y el vídeo se enviaría a la estación de seguimiento, donde se reconstruirían las imágenes utilizando una grabadora láser. Otra novedad del satélite SPIN SCAN es que fue diseñado para permanecer inactivo en órbita durante un máximo de un año y funcionar durante alrededor de un mes, lo que le permitiría activarse en órbita solo una vez que fuera necesario.

Al completarse en 1971, el diseño definitivo de SPIN SCAN habría tenido un peso de 726 kilogramos, lo que excedía la capacidad del HEXAGON¹⁸. En consecuencia, fue necesario el uso de un misil balístico intercontinental Atlas modificado, denominado Atlas F. De acuerdo con Day (1999), su selección por encima de las versiones más ligeras se basó en su calidad de imagen superior, su amplia cobertura y la capacidad de elegir la inclinación orbital preferida. El satélite habría tenido la capacidad de operar en un rango orbital de 167 por 389 kilómetros durante más de un mes, con una resolución terrestre de 0,76 a 0,91 metros. La masa de este satélite excedía la capacidad de un cohete Atlas F para transportar varios satélites, lo que hacía inviable la idea anterior de desplegar varios satélites en órbita en un solo lanzamiento para mejorar la resistencia contra las armas antisatélite soviéticas (Day, 1999).

Según McDougall (1997), la comunidad de reconocimiento estadounidense participó lo largo de la década en sugerencias y debates destinados a mejorar la puntualidad de las fotografías satelitales. Como los satélites de IVR estadounidenses utilizaban tecnología cinematográfica, estas investigaciones evaluaron métodos para acelerar los lanzamientos de satélites y recuperar eficientemente su película para su procesamiento en la Tierra. El desafío resurgió en 1970, cuando las tensiones entre Israel y sus vecinos árabes plantearon el riesgo de escalar hacia una guerra. En enero de 1971, se impulsó la posibilidad de desarrollo de satélites equipados con varios vehículos de reentrada capaces de transmitir sus imágenes a la Tierra en caso de una crisis mientras el satélite permanecía en órbita. Sin embargo, un número significativo de personas dentro de la comunidad de inteligencia estaban intrigadas por un enfoque más atractivo para ofrecer un reconocimiento fotográfico rápido de lugares que experimentaban crisis. Esta estrategia apuntaba a proporcionar imágenes dentro de un plazo de 24 horas después de capturar una instantánea¹⁹.

18 Los satélites de reconocimiento HEXAGON KH-9 fueron los satélites de inteligencia estadounidenses más grandes y los últimos en traer películas fotográficas a la Tierra. Durante la Guerra Fría, 19 misiones HEXAGON tomaron imágenes de 2.271 millones de kilómetros cuadrados de la superficie de la Tierra entre 1971 y 1986. El objetivo principal de HEXAGON era la búsqueda en áreas extensas. Los analistas analizaron las fotografías de HEXAGON de áreas extensas y luego se concentraron en las amenazas potenciales con vigilancia de cerca desde los satélites GAMBIT.

19 El proyecto se dio por terminado en 1971 para dar paso al primer satélite de reconocimiento electroóptico, que realizó su primer vuelo en 1976 bajo el nombre en código KENNEN. No fue hasta

Empero, tanques y aeronaves de Siria y Egipto iniciaron ataques consecutivos contra el Estado de Israel el 6 de octubre de 1973. El asalto ocurrió durante la festividad israelí de Yom Kippur, completamente inesperado tanto para los israelíes como para las autoridades políticas de los Estados Unidos. Durante un período de tres semanas de hostilidades, la Unión Soviética desplegó seis satélites de vigilancia para captar imágenes de la guerra, mientras que Estados

Unidos sólo contaba con un satélite, que envió sus imágenes un día después de que comenzara el asalto. La rápida mejora de las capacidades de vigilancia de los soviéticos, sumada a la ausencia de información de inteligencia estadounidense sobre la guerra, sorprendió enormemente a los dirigentes políticos y militares estadounidenses (Mowthorpe, 2009). Antes del estallido de la guerra de Yom Kippur en 1973, Estados Unidos tenía un solo satélite de vigilancia en órbita: un GAMBIT-3 de alta resolución, que había sido lanzado el 27 de septiembre de ese año. Mientras volaba de norte a sur, el GAMBIT-3 se limitaba a capturar imágenes dentro de una estrecha franja de tan solo 9,3 kilómetros de ancho. No podía fotografiar la vasta extensión de tierra ocupada por diferentes ejércitos, pero sus imágenes podían ayudar a los intérpretes en el terreno a identificar tipos particulares de equipo militar.

La Oficina Nacional de Reconocimiento desplegó el vehículo de reentrada inicial del GAMBIT el 7 de octubre de 1973, más allá del plazo programado, aparentemente con el propósito de recopilar información sobre el conflicto en curso (Day, 1999). El satélite mantuvo su posición en órbita y persistió en la captura de imágenes de objetivos ubicados en todo el mundo. A fines de octubre, la coordinación de sus pases fotográficos sobre Oriente Medio se estaba llevando a cabo junto con las operaciones del SR-71. Sin embargo, el satélite GAMBIT conservó las fotografías que le quedaban durante todo el combate, ya que su segundo vehículo de reentrada en película era el último. El regreso de la película marcó el final de la misión de la nave espacial.

La misión GIANT REACH, llevada a cabo por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos el 13 de octubre de 1973, implicó el vuelo de un avión de vigilancia SR-71 Blackbird sobre la zona de conflicto. La misión se inició y concluyó en la Base Aérea Griffiss, ubicada en la región central del estado de Nueva York. La duración total del viaje fue de 11,3 horas, que incluyeron seis reabastecimientos en vuelo y más de cinco horas de vuelo a una velocidad superior a Mach 3. Las imágenes capturadas por la aeronave fueron analizadas y evaluadas dentro de las 48 horas posteriores a la misión, lo que proporcionó información completa sobre el conflicto.

1982 cuando la Unión Soviética lanzó su primer satélite de reconocimiento electroóptico, que tenía la capacidad de transmitir imágenes a la Tierra casi en tiempo real.

Sin embargo, debido a la importante asistencia logística necesaria para cada salida, que incluía varios aviones cisterna de reabastecimiento, no fue posible llevar a cabo las misiones con un intervalo de tiempo inferior a tres días. Posteriormente, el procesamiento e interpretación de la película requirió una cantidad significativa de tiempo, lo que hizo imposible la vigilancia diaria de la zona de combate (McDougall, 1997).

Si bien la Unión Soviética puso en órbita un único satélite de reconocimiento, el Cosmos 596, su permanencia en el espacio fue breve, ya que tras apenas seis días en funcionamiento, la nave fue destruida el 8 de octubre de 1973. Sin embargo, los soviéticos también poseían una reserva de satélites de respaldo y una capacidad de respuesta rápida; el Cosmos 597 fue lanzado el 6 de octubre y tras su aterrizaje el 12 de octubre de 1973, la Unión Soviética lanzó rápidamente el Cosmos 598. La recuperación se produjo el 16 de octubre, coincidiendo con el lanzamiento soviético del Cosmos 600, el cual fue recuperado una semana después de su estreno, es decir, el 23 de octubre de 1973. A pesar de haber sido lanzado el 15 de octubre, el Cosmos 599 no realizó ninguna observación de la zona de combate hasta las últimas etapas de su misión de 13 días. El Cosmos 602 fue lanzado por la Unión Soviética el 20 de octubre, embarcándose en una misión de exploración de nueve días. La Unión Soviética lanzó el Cosmos 603 el 27 de octubre con la intención de completar una misión de 13 días, y la nave espacial aterrizó con éxito días antes de la firma de un acuerdo de paz entre Israel y Egipto (Wawrzyniec, 2023).

En 1975, la administración Ford reunió al Panel Slichter para examinar los usos operativos del espacio con fines militares, tomando en consideración las lecciones de la Guerra del Yom Kippur. Según McDougall (1997), el grupo de expertos observó la creciente dependencia de los Estados Unidos de los satélites y destacó que estos activos eran en su mayoría vulnerables a las contramedidas. En consecuencia, se creó un nuevo grupo de expertos para examinar las debilidades y evaluar la necesidad de implementar un programa ASAT. El grupo de expertos de Buchsbaum concluyó que la presencia de una capacidad ASAT no mejoraría la capacidad de supervivencia de los satélites estadounidenses y que la disuasión sería ineficaz debido a la importante dependencia de la navegación espacial. Sin embargo, el acto de cegar a los satélites estadounidenses en 1975 y el posterior reinicio de las pruebas ASAT soviéticas impulsaron al presidente Ford a emitir el Memorandum de Seguridad Nacional 345 en 1977, el cual ordenaba al Departamento de Defensa emprender el desarrollo de un ASAT operativo (Hardesty, 2005).

La notable ausencia de evaluaciones significativas de la política espacial militar realizadas entre las administraciones Kennedy y Carter es indicativa

de la negligencia general en materia de preocupaciones espaciales militares. Sin embargo, la administración Carter emitió dos declaraciones políticas importantes sobre la gestión espacial. Estas observaciones ejemplificaban los avances en la tecnología militar y la creciente importancia del espacio en el sistema militar. De acuerdo con Lai (2010), en un evento de prensa en marzo de 1977, el presidente Carter reveló su propuesta a la Unión Soviética sobre medidas de control de armamentos destinadas a imponer limitaciones a la capacidad de un Satélite Anti-Espía (ASAT). La política espacial de Carter podría caracterizarse como de doble vía. Por un lado, pretendía implementar una prohibición verificable de los sistemas ASAT, y por otro lado, promovió activamente el avance de una capacidad ASAT aerotransportada, demostrado por la adjudicación del contrato del Vehículo Miniatura de Búsqueda a la empresa Vought. Sin embargo, la ratificación del Tratado SALT II el 18 de junio de 1979, seguida de la invasión de Afganistán por parte de la Unión Soviética, relegó la cuestión de la prohibición de la tecnología anti-Spyder (ASAT) a una posición secundaria (Lai, 2010).

El presidente Carter firmó la Directiva Nacional de Política Espacial PD-37 el 11 de mayo. Esta estableció la estrategia de doble vía para los avances de ASAT, que también incluía el comienzo de una iniciativa a largo plazo destinada a mejorar la resistencia de los sistemas espaciales militares. Además, se hizo hincapié en la necesidad de que el secretario de Defensa formulara una estrategia para utilizar sistemas espaciales civiles y comerciales en caso de emergencias nacionales proclamadas oficialmente. El enfoque principal de la política espacial de la administración Carter siguió siendo la utilización del reconocimiento espacial. En síntesis, la creciente susceptibilidad de estos sistemas y el imperativo de salvaguardar estos recursos críticos finalmente llevaron a la erosión de la escuela de pensamiento del santuario.

El dominio espacial en la década de los ochenta

A pesar de la importante inversión financiera que Estados Unidos realizó en los años 1950 y 1960 para establecer un sistema de defensa antimisiles, la complejidad de la tarea resultó finalmente insuperable. En 1972, Estados Unidos y la Unión Soviética ratificaron el Tratado sobre Misiles Antibalísticos (ABM), que prohibía la instalación de nuevos sistemas antimisiles. Sin embargo, el Tratado ABM prohibía únicamente el despliegue de sistemas antimisiles, por lo que no prohibió las pruebas ni el desarrollo (con ciertas excepciones), una debilidad que ambas potencias explotaron. Coincidiendo con la toma de posesión de Ronald Reagan, los científicos del Laboratorio

Nacional Lawrence Livermore en California junto con investigadores de varios laboratorios federales y un grupo selecto de responsables de políticas militares y civiles, comenzaron en 1981 a investigar armas de energía dirigida, que utilizan rayos en lugar de proyectiles, como estrategia para contrarrestar la creciente superioridad soviética en lanzadores y misiles (Logsdon, 2018).

Por consiguiente, las armas de energía dirigida rápidamente llegaron a superar la idea de los misiles interceptores en órbita. En marzo de 1983, durante un discurso televisado sobre seguridad nacional, el presidente Reagan respaldó el concepto y reveló su iniciativa de construir un “escudo defensivo” destinado a dejar obsoletas las armas nucleares, transformando así la postura estratégica del país de ataque a defensa. Y pesar de las críticas de los demócratas, la financiación para la defensa antimisiles aumentó significativamente, alcanzando aproximadamente US\$3.000 millones anuales en 1986 (Logsdon, 2018). En este sentido, bajo la administración Reagan, la Casa Blanca estableció las iniciativas espaciales militares más ambiciosas de los Estados Unidos en el periodo de Guerra Fría, revirtiendo así la formulación de la política espacial militar observada durante las administraciones de Eisenhower y Kennedy.

Según Logsdon (2018), el objetivo principal de la Iniciativa de Defensa Estratégica (IDE) era investigar la viabilidad de un sistema de defensa antimisiles capaz de frustrar un ataque nuclear soviético que potencialmente incluiría miles de ojivas nucleares. El objetivo de la Fase I del programa IDE era garantizar la destrucción de una proporción significativa de estas armas nucleares. Si bien las especificaciones militares establecidas para la IDE durante la administración Reagan siguen siendo clasificadas, los informes indican que la Fase I podría interceptar el 30% de todas las ojivas lanzadas en un primer ataque y el 50% de las ojivas del misil SS-18 Satan, que, debido a su precisión y rendimiento, representaba la amenaza de contrafuerza más importante dentro del arsenal soviético. Esto implica que un planificador de guerra soviético sería incapaz de diseñar una estrategia efectiva para un primer ataque debido a la incertidumbre sobre su eficacia potencial. La Fase I fue concebida únicamente como el componente inicial de un sistema de defensa más amplio, diseñado para abordar posibles alteraciones en la amenaza soviética.

Después del discurso de Reagan, se solicitó a la Academia Soviética de Ciencias que evaluara la viabilidad de un sistema de defensa de misiles basado en el espacio. De acuerdo con Andrews y Siddiqi (2011), a pesar de una evaluación negativa, algunos científicos soviéticos lograron persuadir al politburó de que, independientemente de la ineficacia del SDI como sistema de defensa de misiles, podría emplearse ofensivamente para atacar objetivos

terrestres. Y es que la idea de láseres que descendieran de la órbita para atacar territorio soviético era profundamente alarmante. Y aunque la Unión Soviética poseía un sistema ASAT funcional, aunque limitado, requería una capacidad mejorada.

Por lo tanto, y a partir de estudios de mediados de la década de 1970 sobre armamento espacial, los soviéticos desarrollarían el programa Skif y Kaskad, centrándose en sistemas diseñados para apuntar a satélites en órbita, misiles balísticos en vuelo y objetivos terrestres. Skif funcionaría como una estación orbital que emplearía láseres para atacar satélites en órbitas inferiores, mientras que Kaskad utilizaría misiles para atacar satélites en órbitas medias y geostacionarias. Entonces, en la tarde del 15 de mayo de 1987, los motores del lanzador soviético Energía se encendieron, impulsando el cohete hacia la atmósfera. Mientras que la mayoría de los lanzamientos desde Baikonur apuntan a una órbita inclinada a 52 grados respecto del ecuador, Skif ascendió en una trayectoria con una inclinación de 65 grados, viajando más al norte. Este rumbo evitaría que las etapas del cohete, los escombros o el Skif-DM descendieran sobre tierra extranjera en caso de una falla catastrófica; el objetivo era alcanzar una órbita de 64,6 grados y 280 kilómetros (Phelan, 2013).

Según Phelan (2013), el cohete “Energía” tuvo un desempeño impecable en su vuelo inaugural, acelerando a medida que ascendía y se desviaba hacia el Pacífico norte. Sin embargo, el diseño aleatorio de la nave espacial de prueba Skif-DM, junto con varios compromisos y medidas oportunas, predeterminaron su fracaso. El bloque funcional del satélite se construyó inicialmente para un lanzador Proton, donde se colocaría debajo de una cubierta de carga útil; por lo tanto, por consideraciones aerodinámicas, se fijó hacia la parte superior de la carga útil cargada en el Energía. Descartaría su cubierta protectora antes de separarse del cohete. Después de que la nave espacial se separara de su propulsor, estaba previsto que girara para orientarse hacia el espacio, con los motores del bloque de control dirigidos hacia la Tierra, preparados para encenderse y propulsarla hacia la órbita. Además, rotaría 90 grados. La separación de la carena de carga útil se produjo como estaba previsto a los 3 minutos y 32 segundos de vuelo, a una altitud de 90 kilómetros.

Tras su ascenso, el Skif-DM se desprendió como estaba previsto y el Energía, ya agotado, descendió. A continuación, la nave espacial de 40 metros de largo comenzó su movimiento de inclinación gradual. La cola, es decir, la parte delantera de la nave espacial, giró hacia arriba 90 grados, luego 180 grados y continuó su movimiento. La colosal nave espacial giró de punta a punta durante dos rotaciones completas antes de detenerse con el morro

dirigido hacia la Tierra. En la prisa por desplegar la intrincada nave espacial, los diseñadores pasaron por alto un pequeño fallo de software. Los motores se encendieron y el Skif-DM volvió a entrar en el entorno que acababa de abandonar, sobrecalentándose rápidamente y desintegrándose en fragmentos en llamas sobre el océano Pacífico. El fracaso del programa Skif, junto con sus costos exorbitantes, proporcionó a los adversarios gubernamentales de Gorbachov la justificación necesaria para terminarlo. Los vuelos posteriores de Skif se cancelaron abruptamente. El hardware que ya se estaba preparando en el lugar fue descartado o relegado a la periferia de grandes almacenes.

Adicionalmente, los soviéticos malinterpretaron las intenciones estadounidenses con respecto al transbordador espacial. Para ellos, el transbordador era de suma importancia, ya que les indicaba que los estadounidenses estaban preparados para extender la guerra al espacio. En opinión de los soviéticos, si bien este avión espacial introducido en 1981 podía estar destinado a facilitar el acceso regular a la órbita, también podría utilizarse para desplegar satélites clasificados para las agencias de defensa estadounidenses. Por ello, el transbordador infundió un miedo significativo en los soviéticos, ya que no podían comprender la necesidad de un vehículo de ese tipo, que carecía de justificación económica, llegando a la conclusión de que debía existir una justificación militar implícita para el vehículo, como por ejemplo desplegar y recuperar armamento sustancial basado en el espacio o realizar ataques aéreos sobre Moscú. En consecuencia, los soviéticos reaccionaron a la amenaza percibida construyendo su propio transbordador espacial, Buran, que finalmente fue retirado en 1993 después de un solo vuelo (Andrews, J. y Siddiqi, 2011).

En conclusión, la Guerra Fría consolidó al espacio exterior como un dominio estratégico estrechamente vinculado a la disuasión nuclear y al equilibrio bipolar. La competencia tecnológica entre Estados Unidos y la Unión Soviética no se limitó a la exploración científica, sino que cristalizó en capacidades militares que transformaron la manera de concebir el poder. Este legado abrió el camino para el desarrollo de marcos teóricos que buscan explicar la función estratégica del espacio en la seguridad internacional. Así, a partir de la experiencia histórica de la Guerra Fría, surgieron distintas corrientes de pensamiento que interpretan el poder espacial desde perspectivas geopolíticas, tecnológicas, militares y económicas. Estas corrientes, conocidas como las cuatro escuelas del poder espacial, constituyen el núcleo analítico del siguiente apartado.

Las cuatro escuelas de la doctrina espacial

La intensa carrera espacial entre Estados Unidos y la Unión Soviética durante la Guerra Fría no solo se tradujo en logros tecnológicos e hitos de exploración, sino también en la formulación de marcos conceptuales que buscaban dar sentido estratégico al uso del espacio. Los programas de satélites de reconocimiento, las pruebas antisatélite y la Iniciativa de Defensa Estratégica reflejaban visiones distintas sobre cómo debía emplearse este nuevo dominio. En este contexto, las cuatro escuelas de la doctrina espacial planteadas por Lupton (1988) ofrecen una herramienta analítica para interpretar dichas prácticas históricas, al clasificar los enfoques doctrinales en torno al espacio en perspectivas de cooperación, resiliencia, control militar y supremacía estratégica.

Lupton (1988) esbozó cuatro escuelas de pensamiento en relación con la doctrina espacial: Santuario, Supervivencia, Control y Terreno Elevado. Estas escuelas de pensamiento ofrecen marcos para comprender cómo los Estados pueden conceptualizar y emplear el poder espacial en el contexto más amplio de la estrategia militar. Según Álvarez et al. (2021), el poder espacial se refiere al uso de las “capacidades espaciales de carácter civil, militar y sus infraestructuras asociadas, en apoyo de las estrategias de seguridad y desarrollo nacionales, así como del logro de los intereses nacionales objetivos y subjetivos” (p.62). Las cuatro escuelas propuestas por Lupton (1988) también ofrecen una metodología analítica para examinar las aplicaciones militares espaciales desde el periodo de Guerra Fría.

Escuela Santuario

La Escuela Santuario de la doctrina espacial afirma que el dominio del espacio no debe emplearse para operaciones militares ofensivas; por el contrario, el valor inherente del espacio para la seguridad nacional reside en la capacidad satelital para realizar vigilancia dentro de los límites territoriales de los Estados, ya que no hay restricciones al sobrevuelo de satélites, como si puede ocurrir con las aeronaves. Esto facilita la verificación de los tratados de limitación de armas a través de satélites en órbita, que funcionan como un método técnico nacional de verificación de tratados. Los satélites diseñados para fines de alerta temprana mejoran la estabilidad estratégica al monitorear los lanzamientos de misiles, mejorando así la capacidad de supervivencia de las fuerzas estratégicas de represalia. En consecuencia, esta escuela observa

que la importancia de los sistemas espaciales para el cumplimiento de estas tareas exige el mantenimiento de un entorno libre de armas ofensivas en el espacio. En consecuencia, la prohibición de las ASAT es imperativa, ya que plantean una amenaza a los sistemas espaciales que proporcionan estas capacidades (Álvarez et al., 2021).

Es decir, la Escuela del Santuario aboga por limitar la militarización del espacio, tratándolo como un “santuario” libre de armas y conflictos, por lo cual apoya los acuerdos de control de armamentos que impiden la militarización del espacio y hace hincapié en el espacio como un dominio para la exploración pacífica y la cooperación científica. Según Colby (2016), al promover el espacio como un santuario, los Estados pueden fortalecer las relaciones internacionales y ganar influencia a través del liderazgo en la gobernanza espacial y los tratados de control de armamentos. El enfoque en los usos científicos y comerciales del espacio según esta doctrina permite a un Estado mantener la superioridad espacial en áreas como la comunicación basada en satélites, la navegación y el crecimiento económico sin aumentar la militarización. Esto mejora el poder espacial del Estado en términos de dominio económico y liderazgo tecnológico.

Escuela de Supervivencia

La Escuela de Supervivencia de la doctrina espacial postula que la capacidad de supervivencia de una fuerza espacial es intrínsecamente menor que la de las fuerzas terrestres (Lupton, 1988). Por ende, esta escuela enfatiza la necesidad de garantizar que los activos espaciales de un Estado permanezcan operativos incluso ante acciones hostiles, como ataques ASAT o interferencias. Para tal fin, esta perspectiva aboga por sistemas descentralizados, reforzados o redundantes para mejorar la capacidad de supervivencia de la infraestructura espacial crítica.

En otras palabras, garantizar la capacidad de supervivencia de los activos espaciales es fundamental para mantener el poder espacial en los conflictos modernos. En esta escuela, el poder espacial no solo consiste en controlar el espacio, sino en garantizar la capacidad del Estado para funcionar en el espacio exterior a pesar de los ataques enemigos. Esto mejora la resiliencia estratégica y actúa como un elemento disuasorio para los adversarios que estén considerando atacar la infraestructura espacial. Según Álvarez et al. (2021), un enfoque en la capacidad de supervivencia requiere que los Estados inviertan en tecnologías avanzadas para proteger sus sistemas espaciales; esto aumenta

la ventaja tecnológica de un Estado, el cual se considera un componente clave del poder espacial, al garantizar que sus sistemas militares, económicos y de comunicación puedan resistir amenazas externas.

Escuela de Control

La Escuela de Control considera el espacio como un teatro militar, donde el principal objetivo militar es establecer el dominio sobre el entorno espacial, similar a las nociones de supremacía aérea y dominio marítimo. Esto incluye la capacidad de negar a los adversarios el acceso al espacio exterior, destruir satélites enemigos y proteger los activos espaciales del Estado. Los Estados que pueden controlar el espacio exterior pueden negar a los adversarios la capacidad de utilizar el espacio para la comunicación, la inteligencia y la navegación, lo que les da una ventaja decisiva en los conflictos terrestres y espaciales.

El control del espacio permite una mejor coordinación militar, ataques de precisión y vigilancia; y un Estado que domina el espacio puede afirmar su influencia a nivel mundial, utilizando los activos espaciales para monitorear a los adversarios, guiar las operaciones militares y garantizar el funcionamiento ininterrumpido de sus propios sistemas espaciales (Johnson, 2017). El poder espacial, en este caso, se vuelve central para la postura de defensa general del Estado. Si bien esta escuela reconoce la viabilidad de las operaciones tanto defensivas como ofensivas en el espacio, no enfatiza los objetivos particulares a los que sirve el control espacial.

Escuela del Terreno Elevado

La Escuela del Terreno Elevado postula que el espacio posee la capacidad de servir como determinante fundamental en la configuración del resultado de un conflicto. Emplea la analogía de que los ejercicios de control sobre el terreno elevado garantizan el control sobre las regiones inferiores, por lo que, en el futuro, las fuerzas espaciales prevalecerán en última instancia sobre las fuerzas terrestres. Esta escuela postula que el espacio exterior debe utilizarse plenamente para obtener ventajas estratégicas, incluida la colocación de armas en el espacio, para lograr una vigilancia, comunicación y control superiores tanto sobre el espacio como sobre la Tierra. Al tratar el espacio como el terreno elevado, los Estados que lo controlan obtienen ventajas estratégicas para ejercer influencia sobre las operaciones tanto terrestres como espaciales (Lupton, 1988). La capacidad de dominar el espacio ofrece el potencial de

supervisar y controlar las operaciones militares globales, lo que convierte al poder espacial en la clave de la victoria en la guerra moderna.

En esta doctrina, el poder espacial también implica el despliegue de armas espaciales, como armas cinéticas o láseres, que pueden apuntar a los adversarios desde la órbita. Por lo tanto, esta escuela de pensamiento impulsa la militarización total del espacio, con la creencia de que controlar el espacio garantiza el control sobre todos los dominios de la guerra. Este marco ideológico tiene sus raíces en el discurso de la “Iniciativa de Defensa Estratégica” del presidente Reagan, en el que promovió la implementación de la defensa contra misiles balísticos basada en el espacio (Hardesty, 2005).

Interpretación doctrinal de la carrera espacial durante la Guerra Fría

Para evitar que las cuatro escuelas de Lupton se interpreten únicamente como categorías abstractas, resulta pertinente vincularlas con los principales hitos de la carrera espacial durante la Guerra Fría. De este modo, es posible observar cómo cada enfoque doctrinal encontró un correlato histórico en las políticas, tratados y programas espaciales de Estados Unidos y la Unión Soviética. La siguiente tabla sintetiza esta relación, mostrando cómo las tensiones entre cooperación, disuasión y supremacía tecnológica se expresaron en la práctica a lo largo de las décadas de 1960 a 1980.

Tabla 3. *Dimensiones de la Competencia de Grandes Potencias*

Escuelas del Poder Espacial (Lupton, 1988)	Principio doctrinal	Reflejo en la Guerra Fría	Ejemplo histórico
Santuario	El espacio debe preservarse como ámbito desmilitarizado; énfasis en vigilancia y verificación de tratados.	Intentos de limitar la proliferación de armas nucleares en órbita y mantener la cooperación mínima.	Tratado de Prohibición Limitada de Pruebas (1963); Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967).

Escuelas del Poder Espacial (Lupton, 1988)	Principio doctrinal	Reflejo en la Guerra Fría	Ejemplo histórico
Supervivencia	Garantizar redundancia y resiliencia de sistemas espaciales ante ataques (ASAT, interferencias).	Respuesta de EE. UU. a la amenaza soviética con programas ASAT y refuerzo de satélites de reconocimiento.	Programas GAMBIT, HEXAGON y rediseño de satélites para tolerar riesgos de contramedidas soviéticas.
Control	El espacio como teatro militar: negar el acceso al adversario y garantizar la supremacía propia.	Intensificación de la competencia tecnológica y doctrinas de supremacía espacial.	Carrera satelital de inteligencia estratégica; política espacial militarizada en los años 70–80.
Terreno Elevado	Quien domine el espacio controlará todos los dominios de la guerra; apuesta por militarización total.	Concepción del espacio como eje de la disuasión futura y de defensa estratégica.	Iniciativa de Defensa Estratégica (SDI) del presidente Reagan (1983).

Fuente: elaboración propia basada en Lupton (1988).

Con respecto a la Tabla 3, la Escuela Santuario sostiene que el espacio debería preservarse como un ámbito libre de armamento ofensivo, enfocado en la verificación de tratados, la vigilancia estratégica y la cooperación científica. Su lógica parte del reconocimiento de que los satélites, al carecer de restricciones de sobrevuelo, podían contribuir a la estabilidad estratégica mediante la transparencia y el monitoreo (Colby, 2016). Históricamente, esta escuela se refleja en los esfuerzos normativos de la década de 1960. El Tratado de Prohibición Limitada de Pruebas Nucleares (1963) y el Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967) fueron intentos de traducir este ideal en normas internacionales. Ambos acuerdos buscaban evitar la proliferación de armas nucleares en órbita y establecer el espacio como un “bien común de la humanidad”. Sin embargo, este enfoque convivió con prácticas que lo contradecían: tanto EE. UU. como la URSS continuaron desarrollando armas antisatélite (ASAT) y sistemas de uso dual, mostrando que la lógica del santuario nunca se impuso de manera plena.

La Escuela de Supervivencia parte de la premisa de que los satélites espaciales son más vulnerables que las fuerzas terrestres o navales. Por lo tanto, aboga por redundancia, descentralización y tecnologías resistentes a interferencias (Lupton, 1988). Durante la Guerra Fría, esta escuela se materializó en el diseño de programas de inteligencia avanzados como GAMBIT y HEXAGON, que buscaban garantizar continuidad en la vigilancia estratégica frente al riesgo de ataques soviéticos, ya que sin capacidad de “sobrevivencia orbital”, la superioridad informacional de Estados Unidos se vería comprometida. El despliegue de tecnologías de redundancia también reflejaba el temor al “Pearl Harbor espacial”, es decir, un ataque sorpresa contra satélites críticos. Esta preocupación sigue vigente hoy, cuando Estados Unidos desarrolla arquitecturas distribuidas y constelaciones proliferadas de satélites para aumentar la resiliencia de su infraestructura espacial frente a Rusia y China.

La Escuela de Control considera el espacio como un dominio de combate equivalente al aire o el mar, donde la clave es negar al adversario su acceso y asegurar el propio. Bajo esta lógica, destruir satélites enemigos, proteger activos propios y dominar las órbitas críticas se convierte en un objetivo militar prioritario (Johnson-Freese, 2017). En la Guerra Fría, esta visión cobró fuerza en los años 70 y 80, cuando los Estados Unidos desarrolló sistemas antisatélite basados en misiles y la Unión Soviética experimentó con satélites interceptores. La competencia dejó en evidencia que controlar el espacio ofrecía ventajas decisivas en mando, control e inteligencia, al mismo tiempo que permitía interrumpir las operaciones del adversario. La doctrina de control se consolidó con la estrategia de la administración Reagan, que apostó por una postura más ofensiva frente a la Unión Soviética, convencida de que el dominio tecnológico y militar del espacio podía inclinar el balance estratégico global.

La Escuela del Terreno Elevado lleva la lógica del control al extremo: postula que quien domine el espacio dominará también los demás dominios de la guerra. La metáfora es clara: como en la guerra terrestre el control de las alturas otorga ventaja, en la guerra moderna el control de las órbitas garantiza supremacía estratégica (Lupton, 1988). Este enfoque cristalizó en la Iniciativa de Defensa Estratégica (1983), más conocida como la “Guerra de las Galaxias”. El proyecto de Reagan proponía desplegar sistemas orbitales de defensa antimisiles, incluidos láseres y armas cinéticas, que pudieran interceptar proyectiles soviéticos antes de alcanzar sus objetivos. Aunque nunca se materializó en su totalidad, este programa evidenció la creencia de que el espacio sería el escenario decisivo de los conflictos futuros.

Por consiguiente, las cuatro escuelas reflejan polos de tensión entre cooperación y militarización. La Escuela Santuario y la Escuela del Terreno Elevado representan extremos irreconciliables: una apuesta por la desmilitarización y otra por la supremacía absoluta. Entre ellas, la Escuela de Supervivencia y la Escuela de Control ofrecen posiciones intermedias: la primera centrada en la resiliencia tecnológica y la segunda en la ofensiva-defensiva para asegurar el dominio operativo. Durante la Guerra Fría, estas tensiones se tradujeron en una práctica ambivalente, ya que los mismos Estados que impulsaban tratados de desarme orbital continuaban desarrollando sistemas ASAT y misiles con capacidad dual. Esta contradicción explica por qué el espacio nunca fue ni un santuario pacífico absoluto ni un terreno elevado plenamente militarizado, sino un híbrido inestable donde las cuatro lógicas coexistieron en diferentes grados.

Aunque Lupton formuló su tipología en 1988, su marco sigue siendo útil para interpretar el presente. Hoy, la Escuela Santuario pervive en los debates de Naciones Unidas sobre la prohibición de armas espaciales. La Escuela de Supervivencia inspira los proyectos de constelaciones proliferadas de Estados Unidos y la resiliencia satelital ante ataques rusos o chinos. La Escuela de Control se refleja en la creciente inversión en capacidades ASAT y contraespacio. Y la Escuela del Terreno Elevado se manifiesta en la doctrina de “space dominance” de la Fuerza Espacial de Estados Unidos, que considera el espacio como el centro de la disuasión del siglo XXI.

En definitiva, las cuatro escuelas de Lupton permiten comprender la carrera espacial de la Guerra Fría no solo como una sucesión de hitos tecnológicos, sino como un campo de disputa doctrinal entre cooperación, resiliencia, control y supremacía. Este marco no solo ilumina la historia del siglo XX, sino que también ofrece claves para analizar los dilemas actuales de la militarización y gobernanza del espacio en el siglo XXI.

Conclusiones

La carrera espacial del siglo XX entre Estados Unidos y la Unión Soviética fue la base de la exploración y la militarización espaciales modernas. Esta competencia no solo amplió los límites tecnológicos, sino que también estableció la importancia estratégica del espacio. Hitos como el lanzamiento del Sputnik en 1957, los alunizajes del Apolo y el desarrollo de la tecnología satelital sentaron las bases para las capacidades espaciales actuales de las principales potencias como China, Rusia y Estados Unidos. Durante la carrera

espacial del siglo XX, el espacio exterior fue un dominio crítico para demostrar superioridad tecnológica y proyectar poder nacional. Estados Unidos y la Unión Soviética utilizaron los logros espaciales como un indicador de una competencia ideológica y geopolítica más amplia. Además, las capacidades espaciales se consideraban por parte de estos actores como un símbolo de prestigio nacional, poder militar y liderazgo científico.

En el siglo XXI, estas mismas dinámicas persisten, pero ahora son más complejas. Las grandes potencias de la actualidad, como Estados Unidos, Rusia y China, consideran el espacio no solo como un dominio para la exploración, sino también como un teatro de operaciones militares. La militarización del espacio, incluido el desarrollo de armas antisatélite (ASAT), sistemas de defensa antimisiles y capacidades de vigilancia, sigue siendo una preocupación central. Comprender las estrategias de la Guerra Fría que dieron forma a la política espacial durante el siglo XX es esencial para comprender las estrategias actuales, especialmente ahora que el espacio se está convirtiendo en un dominio cada vez más disputado.

La carrera espacial del siglo XX estuvo marcada por un impulso incesante de innovación tecnológica, estimulado por la intensa competencia entre los Estados Unidos y la Unión Soviética. Esta rivalidad aceleró los avances en cohetes, comunicación satelital, vuelos espaciales tripulados y exploración espacial. Muchas de las tecnologías desarrolladas durante este período forman la columna vertebral de los programas espaciales actuales. Por ende, estudiar las innovaciones del siglo XX nos ayuda a entender cómo la competencia impulsa el progreso en la tecnología espacial. La carrera espacial actual, en particular entre los Estados Unidos y China, también se caracteriza por un rápido avance tecnológico. Al observar las lecciones del pasado, podemos anticipar mejor la trayectoria de la tecnología espacial en el siglo XXI y el papel que desempeñará en el equilibrio de poder global.

Durante la Guerra Fría, el espacio se convirtió en una parte integral de la seguridad nacional tanto para los Estados Unidos como para la Unión Soviética. La tecnología satelital fue crucial para el reconocimiento, la comunicación y la guía de misiles, transformando el espacio en un activo estratégico para las operaciones militares. La carrera espacial de la Guerra Fría puso de relieve la naturaleza de doble uso de las tecnologías espaciales, donde los avances científicos podían aplicarse fácilmente a fines militares. En el siglo XXI, esta naturaleza de doble uso sigue siendo central para la competencia espacial entre los Estados Unidos, China y Rusia. El desarrollo de constelaciones de satélites para GPS, defensa contra misiles y recopilación de inteligencia continúa dando forma a las estrategias de seguridad nacional. Al comprender

cómo el espacio se convirtió en un elemento crítico del poder militar en el siglo XX, podemos comprender mejor las implicaciones de la actual carrera espacial para la seguridad y los conflictos globales.

Asimismo, durante la carrera espacial entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, se condujo al establecimiento de acuerdos internacionales clave, como el Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967, que buscaba regular el uso pacífico del espacio ultraterrestre y evitar la militarización de los cuerpos celestes. Estos acuerdos nacieron de la necesidad de gestionar la competencia y evitar la escalada entre los Estados Unidos y la Unión Soviética en el espacio. Al entrar en el siglo XXI, estos tratados y normas se ven cada vez más cuestionados por el surgimiento de nuevas naciones espaciales, la comercialización del espacio y el desarrollo de armas espaciales. Comprender los esfuerzos diplomáticos y los desafíos que se enfrentaron durante la Guerra Fría puede servir de base para los esfuerzos actuales por actualizar la gobernanza espacial y gestionar la competencia entre Estados Unidos, China y Rusia. La necesidad de nuevas regulaciones y marcos de cooperación es más apremiante que nunca, ya que el espacio se ha convertido indudablemente en un ámbito crucial para las actividades militares y económicas.

La carrera espacial del siglo XX, a pesar de su intensa rivalidad, siguió siendo en gran medida pacífica. Si bien tanto Estados Unidos como la Unión Soviética desarrollaron capacidades espaciales militares, evitaron el conflicto directo en el espacio, gracias en parte a los esfuerzos diplomáticos y a la comprensión mutua de los riesgos de la guerra espacial. En el siglo XXI, con el ascenso de China como potencia espacial y la creciente militarización del espacio, existe el riesgo de escalada y conflicto en este ámbito. Estudiar cómo Estados Unidos y la Unión Soviética lograron equilibrar la competencia con la diplomacia durante la Guerra Fría ofrece lecciones valiosas para las potencias actuales. El establecimiento de canales de comunicación, acuerdos de control de armamentos y normas espaciales pueden ayudar a prevenir malentendidos y reducir el riesgo de conflictos espaciales entre Estados Unidos, China y Rusia.

Si bien la carrera espacial de la Guerra Fría fue principalmente una competencia bilateral entre Estados Unidos y la Unión Soviética, el siglo XXI presenta a China como un actor importante. El programa espacial de China ha avanzado rápidamente y ahora rivaliza con las capacidades espaciales de Estados Unidos y Rusia. Al estudiar cómo se relacionaron Estados Unidos con la Unión Soviética durante la Guerra Fría, podemos entender mejor las estrategias que Estados Unidos podría utilizar para enfrentar o contrarrestar la creciente influencia de China en el espacio. Las ambiciones espaciales de China, desde sus vuelos espaciales tripulados hasta sus programas de

exploración lunar, son paralelas a muchos de los objetivos establecidos por Estados Unidos y la Unión Soviética durante la Guerra Fría. Comprender el contexto histórico de la competencia espacial puede ofrecer ideas sobre cómo el ascenso de China podría influir en el futuro de la exploración espacial y las actividades militares.

En conclusión, estudiar la CGP del siglo XX en el espacio exterior es esencial para comprender la dinámica actual y futura de la competencia espacial entre Estados Unidos, China y Rusia. Las lecciones históricas de la Guerra Fría proporcionan un marco para analizar la innovación tecnológica, la estrategia militar, la diplomacia internacional y los riesgos potenciales de conflicto en el espacio. A medida que avanzamos en el siglo XXI, los riesgos en el espacio son más altos que nunca, y comprender el pasado es clave para afrontar los desafíos y las oportunidades de la actual carrera espacial.

Referencias bibliográficas

- Allen. H. (1955). *Great Britain and the United States: A History of Anglo-American Relations, 1783–1952*. Saint Martin's Press.
- Allison, G. (2017). *Destined for War: Can America and China Escape Thucydides's Trap?*. Houghton Mifflin.
- Álvarez, C., Corredor, C. y Vanegas, O. (2018). Pensamiento y cultura estratégica en seguridad y defensa: bases para la construcción de una gran estrategia del Estado. En Álvarez, C. y Fernández, A. (Eds), *Hacia una Gran Estrategia en Colombia, Volumen I: Construcción de política pública en seguridad y defensa* (pp. 13-80). Sello Editorial ESMIC.
- Álvarez, C., Barón, P. y Monroy, V. (2018). Poder astuto: Estrategia del Empleo del Poder en el Siglo XXI. En Álvarez, C. y Fernández, A. (Eds), *Hacia una Gran Estrategia en Colombia, Volumen I: Construcción de política pública en seguridad y defensa* (pp. 171-268). Sello Editorial ESMIC
- Álvarez, C.; Murillo, S.; Hernández, J. y Urbina, J. (2021). El Poder Espacial y la Seguridad Multidimensional. En Álvarez, C. y Corredor, C. (eds), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia (2da Ed.)*, Volumen I: *Mirando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana* (pp. 53-97). Planeta.

- Álvarez, C.; Benavides, E. y Ramírez, J. (2021). Geopolítica del Espacio Exterior: Dominio Estratégico del Siglo XXI para la Seguridad y Defensa. En Álvarez, C. y Corredor, C. (eds), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia (2da Ed.), Volumen I: Mirando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana* (pp. 155-221). Sello Editorial ESDEG.
- Álvarez, C. y Corredor, C. (2021). El Espacio Ultraterrestre y el Derecho Internacional. En Álvarez, C. y Corredor, C. (eds), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia (2da Ed.), Volumen I: Mirando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana* (pp. 223-269). Planeta.
- Álvarez, C.; Corzo, M.; Jaimes, J. y Paredes, R. (2021). La Nueva Economía del Siglo XXI: El Sector Privado en el Espacio. En Álvarez, C. y Corredor, C. (eds), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia (2da Ed.), Volumen I: Mirando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana* (pp. 379-422). Planeta.
- Álvarez, C. y Correcha, Y. (2022). Poder multidominio: visión estratégica de la Fuerza Aérea Colombiana en el siglo XXI. En Baquero, F. (Ed.), *Poder aéreo, espacial y ciberespacial frente a desafíos y amenazas multidimensionales que afectan al Estado colombiano* (pp. 209-249). Sello Editorial ESDEG.
- Andrews, J. y Siddiqi, A. (2011). *Into the Cosmos: Space Exploration and Soviet Culture*. University of Pittsburgh Press.
- Blanning, T. (1996). *The French Revolutionary Wars, 1787-1802*. Arnold.
- Bourne, K. (1967) *Britain and the Balance of Power in North America, 1815–1908*. University of California Press.
- Brands, H. (2022). *The Twilight Struggle: What the Cold War Teaches Us About Great Power Rivalry Today*. Yale University Press.
- Campbell, C. (1974). *From Revolution to Rapprochement: The United States and Great Britain, 1783–1900*. John Wiley & Sons.
- Colaresi, M.; Rasler, K. y Thompson, W. (2008). *Strategic Rivalries in World Politics: Position, Space and Conflict Escalation*. Cambridge University Press.
- Colby, E. (2016). *From Sanctuary to Battlefield: A Framework for a U.S. Defense and Deterrence Strategy for Space*. Center for a New American Security.

- Craig, C. (1981). *Germany, 1866–1945*. Oxford University Press.
- Crouzet, F. (1990). *Britain Ascendant: Comparative Issues in Franco-British Economic History*. Cambridge University Press.
- Day, D. (1999). *Eye in the Sky: The Story of the Corona Spy Satellites*. Smithsonian Books.
- Davidson, J. (2002). The Roots of Revisionism: Fascist Italy, 1922–39. *En Security Studies*, 11(4), 125-159.
- Deudney, D. (2020). *Dark Skies: Space Expansionism, Planetary Geopolitics and the Ends of Humanity*. Oxford University Press
- Diehl, P. (1985). Contiguity and Military Escalation in Major Power Rivalries, 1816–1980. *En Journal of Politics*, 47(4), 1203-1211.
- Diehl, P. y Goertz, G. (2000). *War and Peace in International Rivalry*. University of Michigan Press.
- Dienesch, R. (2016). *Eyeing the Red Storm: Eisenhower and the First Attempt to Build a Spy Satellite*. University of Nebraska Press.
- Doyle, W. (2002). *The Oxford History of the French Revolution*. Oxford University Press.
- Emsley, C. (2014). *Britain and the French Revolution*. Routledge.
- Esdaile, C. (2007). *Napoleon's Wars: An international history, 1803-1815*. Penguin.
- Feis, H. (1950). *Road to Pearl Harbor: The Coming of the War Between the United States and Japan*. Princeton University Press.
- Friedberg, A. (1988). *The Weary Titan: Britain and the Experience of Relative Decline, 1895-1905*. Princeton University Press.
- Gaddis, J. (2005). *The Cold War: A New History*. Penguin.
- Gilpin, R. (1981). *War and Change in World Politics*. Cambridge University Press.
- Gochman C. y Maoz, Z. (1984). Militarized Interstate Disputes, 1816–1976: Procedures, Patterns, and Insights. *En Journal of Conflict Resolution*, 28(4), 585-616.

- Hardesty, D. (2005). Space-Based Weapons: Long-Term Strategic Implications and Alternatives. *En Naval War College Review*, 58(2), 44-66.
- Howard, M. (1974). Military Science in an Age of Peace. *En The RUSI Journal* 119(1), 4-23.
- Jarrett, M. (2013). *The Congress of Vienna, 1814-1815*. Cambridge University Press.
- Johnson, J. (2017). *Space Warfare in the 21st Century: Arming the Heavens*. Routledge
- Johnston, A. (2003). Is China a Status Quo Power? *En International Security*, 27(4), 5-56.
- Joll, J. (1984). *The Origins of the First World War*. Pearson Education Limited.
- Kaza, L. (2010). *Militarisation of Space*. Center for Air Power Studies.
- Kastner, S. y Saunders, P. (2014). Is China a Status Quo or Revision-ist State? Leadership Travel as an Empirical Indicator of Foreign Policy Priorities. *En International Studies Quarterly*, 56(1), 163-177.
- Kennedy, P. (1980). *The Rise of the Anglo-German Antagonism, 1860-1914*. Humanity Books.
- Kennedy, P. (1987). *The Rise and Fall of the Great Powers*. Random House.
- Keohane, R. y Nye, J. (1977). *Power and Interdependence*. Little Brown.
- Leggiere, M. (2016). Enduring Strategic Rivalries: Great Britain vs. France During the French Wars (1792-1815). *En Lacey, J. (Ed.), Great Strategic Rivalries: From the Classical World to the Cold War* (pp. 289-390).
- Klein, J.; Goertz, G. y Diehl, P. (2006). The New Rivalry Dataset: Procedures and Patterns. *En Journal of Peace Research*, 43(3), 331-348.
- Lacey, J. (Ed.) (2016). *Great Strategic Rivalries: From the Classical World to the Cold War*. Oxford University Press.
- Lai, A. (2021). *The Cold War, the Space Race, and the Law of Outer Space: Space for Peace*. Routledge
- Leggiere, M. (2016). Enduring Strategic Rivalries: Great Britain vs. France During the French Wars (1792-1815). *En Lacey, J. (Ed.), Great Stra-*

tegic Rivalries: From the Classical World to the Cold War (pp. 289-390).

Logsdon, J. (2018). *Ronald Reagan and the Space Frontier*. Palgrave Macmillan.

Lupton, D. (1988). *On Space Warfare: A Space Power Doctrine*. Air University Press.

Lynch III, T. (2020). Introduction. En Lynch III, T. (Ed.), *Strategic Assessment 2020: Into a New Era of Great Power Competition* (pp. 1-15). NDU Press.

Lynch III, T. y Hoffman, F. (2020). Past Eras of Great Power Competition: Historical Insights and Implications. En Lynch III, T. (Ed.), *Strategic Assessment 2020: Into a New Era of Great Power Competition* (pp. 17-46). NDU Press.

Mahan, A. (1890). *The influence of sea power upon history, 1660-1783*. Little, Brown and Company.

Maoz, Z. y Mor, B. (2002). *Bound by Struggle: The Strategic Evolution of Enduring International Rivalries*. University of Michigan Press.

May, E. (1961). *Imperial Democracy: The Emergence of America as a Great Power*. Harcourt, Brace and World, Inc.

Mazarr, M.; Blake, J.; Casey, A.; McDonald, T.; Pezard, S. y Spirtas, M. (2018). *Understanding the Emerging Era of International Competition: Theoretical and Historical Perspectives*. RAND Corporation.

Mazarr, M. (2022). *Understanding Competition: Great Power Rivalry in a Changing International Order*. RAND Corporation.

McDougall, W. (1997). *The Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age*. Johns Hopkins University Press.

Morgan, W. (2016). *Enduring Strategic Rivalries: U.S.-Japan Strategic Rivalry to 1941*. En Lacey, J. (Ed.). *Great Strategic Rivalries: From the Classical World to the Cold War* (pp. 479-510). Oxford University Press.

Morgenthau, H. (1993). *Politics Among Nations: The Struggle for Power and Peace*. McGraw Hill.

- Mowthorpe, M. (2009). *The Militarization and Weaponization of Space*. Rowman & Littlefield.
- Neufeld, M. (2007). *Von Braun: Dreamer of Space, Engineer of War*. Alfred A. Knopf.
- Neufeld, M. (2005). The End of the Army Space Program: Interservice Rivalry and the Transfer of the Von Braun Group to NASA, 1958–1959. En *Journal of Military History*, 69(3), 737-758.
- Office of Outer Space Affairs (2024). Online Index of Objects Launched into Outer Space. Obtenido de: <https://www.unoosa.org/oosa/index.html>.
- Paine, S. (2016). *China, Russia, and Japan and the Competition to Create a New World Order*. En Lacey, J. (Ed.). *Great Strategic Rivalries: From the Classical World to the Cold War* (pp. 417-448). Oxford University Press.
- Petty, C. (2020). *Beyond Blue Skies: The Rocket Plane Programs That Led to the Space Age*. University of Nebraska Press.
- Phelan, D. (2013). *Cold War Space Sleuths: The Untold Secrets of the Soviet Space Program*. Springer Praxis Books
- RAE (2024). Competencia. Obtenido de <https://dle.rae.es/competencia?m=-form>
- Rasler, K.; Thompson, W. y Ganguly, S. (2013). *How Rivalries End*. University of Pennsylvania Press.
- Rauchhaus, R. (2009). Evaluating the Nuclear Peace Hypothesis: A Quantitative Approach. En *The Journal of Conflict Resolution*, 53(2), 258-277.
- Remak, J. (1967). *The Origins of World War I, 1871–1914*. Dryden Press.
- Russell, W. (2014). The Return of Geopolitics: The Revenge of the Revisionist Powers. En *Foreign Affairs*, 93(3), 69-79.
- Schweller, R. (1994). Bandwagoning for Profit: Bringing the Revisionist State Back. En *International Security*, 19(2), 72-107.
- Scott, D. (1996). Security, Bargaining, and the End of Interstate Rivalry. En *International Studies Quarterly*, 40(2), 157-183.
- Scott, D. (1997) Measuring Rivalry Termination, 1816–1992. En *Journal of Conflict Resolution*, 41(2), pp. 227-254.

- Spires, D. (1998). *Beyond Horizons: A Half Century of Air Force Space Leadership*. Air University Press
- Stares, P. (1985). *The militarization of space: U.S. policy, 1945-1984*. Cornell University Press.
- Strathern, P. (2020). *Empire: A New History of the World*. Pegasus Books.
- Strausbaugh, J. (2024). *The Wrong Stuff - How the Soviet Space Program Crashed and Burned*. PublicAffairs.
- Turner, F. (1893). *The significance of the frontier in American history*. American Historical Association.
- Valeriano, B. (2012). Becoming Rivals: The Process of Rivalry Development. En Vasquez, J. (Ed.), *What Do We Know About War* (pp. 63-82). Rowman and Littlefield.
- van Pelt, M. (2012). *Rocketing Into the Future: The History and Technology of Rocket Planes*. Springer Praxis Books.
- Waltz, K. (1979). *Theory of International Politics*. Random House.
- Wawrzyniec, M. (2023). Cold War in Space: Reconnaissance Satellites and US-Soviet Security Competition. En *European Journal of American Studies* 18(2), 1-20.
- Wendt, A. (1992). Anarchy Is What States Make of It: The Social Construction of Power Politics. En *International Organization*, 46(2), 391-425.
- Wolverton, M. (2018). *Burning the Sky: Operation Argus and the Untold Story of the Cold War Nuclear Tests in Outer Space*. The Overlook Press.
- Zubok, V. (2007). *A Failed Empire: The Soviet Union in the Cold War from Stalin to Gorbachev*. University of North Carolina Press.

CAPÍTULO 2.

Competencia Estratégica y Armamentización del Espacio en el siglo XXI^{20*}

Carlos Álvarez Calderón²¹

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

CR. Eliana Jhasbleidy Mallarino Velandia²²

Fuerza Aeroespacial Colombiana

Resumen: El espacio exterior se ha consolidado como un dominio estratégico fundamental para la seguridad internacional en el siglo XXI. Este capítulo analiza la transformación del espacio de un entorno pacífico a un escenario de competencia geopolítica, destacando la transición de la militarización a la armamentización del dominio espacial. A través de las seis dimensiones propuestas por Mueller (2003), se examina el despliegue progresivo de capacidades ofensivas, como armas antisatélite, guerra electrónica y

20 * Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación “Desarrollo Espacial en Colombia y aportes de la Fuerza Aeroespacial Colombiana”, del grupo de investigación “GICMA” de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, categorizado en A por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL140489. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

21 Profesional Oficial de Reserva de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Candidato a Doctor en Estudios Estratégicos, Seguridad y Defensa de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Magíster en Relaciones Internacionales de la Pontificia Universidad Javeriana y Magíster en Coaching Ontológico Empresarial de la Universidad San Sebastián (Chile). Politólogo de la Pontificia Universidad Javeriana. Becario del Centro de Estudios Hemisféricos de Defensa “William J. Perry”. Investigador Asociado categorizado por MinCiencias. Docente Investigador de la Escuela Superior de Guerra, Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Escuela de Inteligencia Aérea y Academia Naval de Estudios Estratégicos. Columnista de la Revista Aeronáutica de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Analista en Inteligencia Estratégica, y Consultor en Seguridad y Defensa para diversas instituciones nacionales e internacionales. Código ORCID: 0000-0003-2401-2789. Contacto: carlos.alvarez@esdeg.edu.co.

22 Coronel de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Administradora Aeronáutica de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”. Magíster en Administración con énfasis en Gestión Humana de la Universidad del Valle. Especialista en Logística Aeronáutica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Especialista en Seguridad y Defensa Nacional de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Directora de Potencial Espacial de la Jefatura de Operaciones Espaciales. Código ORCID: 0009-0008-3427-1833. Contacto: eliana.mallarino@fac.mil.co.

operaciones cibernéticas. Además, se incorporan las perspectivas teóricas de Klein, Bowen y Moltz para comprender el poder espacial desde enfoques estratégicos, infraestructurales e institucionales. El capítulo también aborda los riesgos asociados a la carrera armamentista espacial, como la escalada de conflictos, la generación de desechos orbitales y la erosión de la confianza internacional. Finalmente, se concluye que el espacio es hoy un entorno congestionado, disputado y competitivo, cuyo control condiciona la estabilidad estratégica global.

Palabras clave: Espacio ultraterrestre, militarización, seguridad internacional, poder espacial, gobernanza espacial.

Introducción

En la segunda mitad del siglo XX, el espacio exterior comenzó a ser concebido simultáneamente como frontera y como dominio reservado al estudio científico y a la proyección de la ambición tecnológica de las grandes potencias. El lanzamiento del Sputnik 1 por la Unión Soviética en 1957 no solo inauguró la era espacial, sino que transformó al espacio en un terreno de competencia política, militar y científica, en el que Estados Unidos respondió con el programa Apollo y con el desarrollo de capacidades satelitales para la observación de la Tierra y las comunicaciones. Desde entonces, lo que inicialmente se presentó como exploración científica se convirtió progresivamente en un campo de rivalidad geopolítica, donde los avances tecnológicos, la seguridad nacional y la proyección del poder se entrelazaron de manera inseparable. Esta evolución explica por qué en el siglo XXI el espacio ya no puede entenderse únicamente como escenario de descubrimiento, sino como un ámbito de competencia estratégica que impacta directamente en la defensa, la economía y el equilibrio del poder internacional (Harrison et al., 2021a).

No obstante, la actual “competencia estratégica” en el espacio se diferencia de la competencia tradicional entre grandes potencias del siglo XX, en que no se limita a una lucha bipolar o multipolar entre actores globales dominantes. Por el contrario, abarca una gama más amplia de actores estatales y no estatales que participan en estrategias asimétricas, incluida la negación del espacio, las operaciones cibernéticas y las asociaciones comerciales con implicaciones para la seguridad nacional. A diferencia de las rivalidades militares convencionales, donde el poder se mide principalmente por la acumulación

de capacidades terrestres, navales, aéreas y nucleares, la competencia espacial introduce un cambio sustantivo: la superioridad se define por el acceso a tecnologías avanzadas, la capacidad de generar disuasión asimétrica y el control o la negación del acceso a infraestructuras orbitales y cibernéticas críticas (Bowen, 2022). Este giro responde a la centralidad de los satélites en las funciones estratégicas modernas: sin ellos se debilitan el mando y control, la navegación de precisión, la alerta temprana y la recolección de inteligencia. En este sentido, la competencia espacial no sustituye a las formas clásicas de poder, pero las redefine al convertir al espacio exterior en un nodo esencial de las operaciones conjuntas y de la estabilidad estratégica.

También se hace necesario realizar la distinción entre la “militarización” y la “armamentización” del espacio exterior. La militarización se refiere al uso del espacio con fines militares, de satélites de vigilancia, meteorología, comunicaciones y navegación para apoyar las operaciones militares en los dominios de tierra, mar, aire y ciberespacio; como se explicó en el capítulo anterior, estas funciones han sido un componente fundamental de la estrategia militar desde la Guerra Fría, cuando Estados Unidos y la Unión Soviética desplegaron capacidades de inteligencia basadas en satélites (Stares, 1985). En contraste, la armamentización implica el despliegue de sistemas ofensivos y defensivos hacia o desde el espacio exterior, incluidas armas antisatélites cinéticas y no cinéticas (ASAT por sus siglas en inglés), interceptores coorbitales y sistemas de energía dirigida.

El Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967 estableció principios fundamentales como la prohibición de colocar armas nucleares en órbita y la obligación de usar el espacio con fines pacíficos (United Nations, 1967). Sin embargo, su redacción ambigua respecto al uso de tecnologías de doble uso y a las actividades de carácter defensivo ha creado lo que algunos analistas denominan una “zona gris jurídica” (Harrison et al., 2021a). En esta ambigüedad, ciertos Estados han encontrado margen para desarrollar capacidades contraespaciales (interferencia de señales, spoofing, ciberataques y ASAT) que, si bien no violan explícitamente las disposiciones del tratado, sí comprometen la seguridad y estabilidad de los sistemas espaciales globales (Wright et al., 2018).

Este contexto explica por qué la discusión contemporánea sobre el espacio ya no puede limitarse a la categoría de “bien común de la humanidad”. La práctica estatal demuestra que el espacio exterior está transitando hacia un dominio de guerra emergente, comparable al aire, el mar o el ciberespacio (Dolman, 2001). La militarización, consolidada desde la Guerra Fría a través del uso de satélites de apoyo a operaciones terrestres, ha evolucionado hacia

una incipiente armamentización, en la que las pruebas ASAT de China (2007), India (2019) y Rusia (2021) confirman el paso de un espacio de apoyo a un espacio de confrontación directa (Weeden y Samson, 2020).

Por consiguiente, comprender esta transición no es un ejercicio meramente teórico, sino una necesidad estratégica. El espacio se ha convertido en un centro de gravedad crítico para las operaciones militares modernas, donde la pérdida de capacidades satelitales comprometería el mando y control, la navegación, la inteligencia y la coordinación multinacional. La conceptualización de este cambio, documentada en la literatura sobre seguridad espacial, permite explicar por qué la comunidad internacional enfrenta hoy el reto de regular un dominio cada vez más disputado, donde la delgada línea entre militarización y armamentización marcará el futuro de la seguridad global.

Por ende, este capítulo busca desarrollar y explicar: 1). ¿En qué se diferencia la actual competencia estratégica en el espacio exterior de las rivalidades históricas entre grandes potencias en ese dominio? 2). ¿Cuáles son las tendencias tecnológicas y doctrinales que impulsan la armamentización del espacio? 3). ¿Cómo abordan los marcos jurídicos y de gobernanza (o no) los riesgos asociados a la guerra espacial? y 4). ¿Cuáles son las implicaciones estratégicas de la armamentización del espacio para la seguridad nacional, la disuasión y la estabilidad global?

A través de un análisis interdisciplinario que integra la ciencia política, los estudios de seguridad y las evaluaciones tecnológicas, este capítulo tiene como objetivo establecer los fundamentos que permiten comprender la guerra espacial en el siglo XXI, presentar los conceptos centrales que definen el campo de estudio, discutir las principales teorías que explican la dinámica de la competencia espacial y examinar las normas jurídicas y éticas que regulan (aunque de manera incompleta) este dominio. Los siguientes apartados explorarán la naturaleza de la competencia espacial en la posmodernidad, los impulsores tecnológicos y estratégicos de la armamentización, los desafíos legales y éticos del conflicto espacial y las posibles trayectorias futuras de la seguridad espacial.

El espacio exterior como dominio de guerra

El siglo XXI ha presenciado la transformación del espacio exterior, que ha pasado de ser una frontera pacífica a un dominio estratégico en disputa. Antaño dominado por la rivalidad entre superpotencias durante la Guerra Fría, el espacio es ahora el epicentro de la competencia militar global, la innovación

comercial y la ambigüedad estratégica. Allen y Gilbert (2009) proponen que, para que un escenario de combate se considere un “dominio” de guerra, debe cumplir seis criterios esenciales: (1) requiere capacidades únicas para operar en ella; (2) no está completamente abarcada por ningún otro dominio; (3) permite la presencia compartida de fuerzas amigas y adversarias; (4) permite ejercer control sobre los adversarios; (5) brinda oportunidades de sinergia con otros dominios; y (6) facilita las operaciones asimétricas. Al aplicar estos criterios al espacio exterior, la designación de este entorno como dominio de combate se vuelve no solo válida, sino esencial para la claridad estratégica y la eficacia militar.

Según Álvarez y Correcha (2022), para operar en el espacio exterior se requiere, como primera medida, sistemas y habilidades tecnológicas específicas, como el desarrollo de satélites, la mecánica orbital, las plataformas de lanzamiento y el conocimiento de la situación espacial. Estas capacidades no son transferibles de otros dominios como el aire, la tierra o el mar, por lo que cumplen el primer criterio de Allen y Gilbert (2009). Por ejemplo, el desarrollo de constelaciones satelitales para Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (IVR), sistemas de alerta temprana de misiles balísticos o redes de comunicaciones ilustra cómo los sistemas espaciales son especializados e insustituibles.

En segunda medida, el espacio ultraterrestre no está completamente abarcado por ningún dominio terrestre. Si bien las capacidades aéreas y cibernéticas se intersectan con los sistemas espaciales (p. ej., control de enlaces ascendentes y descendentes), el entorno orbital se rige por leyes físicas únicas, como la microgravedad y la exposición a la radiación, que exigen respuestas operativas y de ingeniería específicas (Álvarez y Correcha, 2022). Por lo tanto, el espacio ultraterrestre cumple el segundo criterio al existir como un ámbito operativo independiente. Asimismo, el espacio ya es un dominio congestionado y disputado. Múltiples Estados y actores comerciales despliegan y operan satélites en bandas orbitales compartidas. El desarrollo de capacidades antisatélite (ASAT) por parte de países como China, Rusia y Estados Unidos demuestra el potencial real de enfrentamientos en este entorno. Por lo tanto, el espacio exterior cumple con el tercer y cuarto criterio: los adversarios comparten el dominio, y pueden ejercer control o denegar el acceso mediante medios cinéticos, electrónicos o cibernéticos.

Finalmente, el espacio exterior sirve como un facilitador vital para las operaciones en todos los demás dominios. Los activos espaciales mejoran las operaciones terrestres y aéreas mediante reconocimiento en tiempo real, comunicaciones seguras y navegación de precisión. Por el contrario, ataques a los sistemas espaciales pueden generar efectos desproporcionados en los

demás dominios, un sello distintivo de la guerra asimétrica. La desactivación de un satélite GPS, por ejemplo, puede perturbar la logística militar, la guía de misiles e incluso la infraestructura económica civil; estas dinámicas satisfacen los dos últimos criterios del modelo de Allen y Gilbert (2009).

Por su parte, Klein (2024) afirma que el espacio puede convertirse en objeto de dominio de guerra de acuerdo con los criterios de autonomía, disputabilidad y utilidad estratégica. Al igual que la tierra, el mar, el aire y el ciberespacio, el espacio permite la proyección de poder, la denegación de acceso y el ejercicio del control. Klein (2024) se basa en la estrategia marítima de Julian Corbett para describir cómo el dominio del espacio permite influir en los dominios terrestres al asegurar o denegar el acceso a órbitas críticas y flujos de información. De igual manera, Klein (2019) refuerza que la estrategia espacial debe basarse en principios universales de la guerra, como la disuasión, la coerción y la resiliencia. Argumenta que la competencia entre grandes potencias en el espacio refleja la dinámica clásica de la guerra, donde el miedo, el honor y el interés motivan a los Estados a desarrollar capacidades contraespaciales.

Bowen (2022) profundiza este análisis al enmarcar el espacio como una “costa cósmica” en lugar de un vasto océano. Por lo anterior, Bowen (2022) define el poder espacial como infraestructural y conectado con la Tierra, centrándose en los cuellos de botella orbitales y las líneas de comunicación celestes. Esta reformulación destaca las limitaciones geográficas y las vulnerabilidades de la infraestructura espacial, reforzando la lógica de la planificación militar en el espacio.

En consecuencia, el espacio ultraterrestre es un escenario estratégico en el que las Estados deben anticiparse, competir, disuadir y responder en un complejo panorama de seguridad (Klein, 2019). Y en este dominio de guerra, algunos actores estatales como Estados Unidos, China, Rusia e India exhiben un comportamiento “intimidatorio” en el espacio ultraterrestre a través de actividades de espionaje y pruebas antisatélite (ASAT). Por ejemplo, las pruebas ASAT ejecutadas por Estados Unidos en 2008, India en 2019 y Rusia en 2020 (además de la primera de su estilo conducida por China en 2017), ejemplifican esta tendencia de manera efectiva. Asimismo, una nave espacial rusa participó en 2017 en una misión de espionaje al Athena-Fidus, un satélite de comunicaciones de doble uso operado por Francia e Italia. Ahora es evidente que varios Estados han establecido sistemas destinados a acercarse y monitorear los sistemas espaciales de otros actores estatales, lo que plantea importantes preocupaciones de seguridad.

En respuesta, Estados Unidos ha creado una variante actualizada de un bloqueador de comunicaciones terrestres capaz de interferir las señales de satélites individuales en órbita geoestacionaria. El Bloque 10.2 del Sistema de Contra-comunicaciones es un sistema de guerra electrónica móvil que interrumpe temporalmente las comunicaciones satelitales enemigas, permitiéndole a la Fuerza Espacial estadounidense interrumpir, denegar, degradar o destruir los sistemas espaciales de un adversario o la información que estos proporcionan.

Por consiguiente, a la segunda región astropolítica del espacio exterior, es decir, el espacio terrestre, se le caracteriza en la actualidad por ser un ambiente congestionado, disputado y competitivo, dado que está saturado no solo por satélites militares y gubernamentales, sino también por una creciente diversidad de satélites comerciales y del sector privado (Dolman, 2001). La incursión de corporaciones privadas, tales como SpaceX y Blue Origin, así como de actores estatales que históricamente no eran considerados potencias espaciales, añade una dimensión adicional a la complejidad inherente a la administración de las actividades espaciales. Este ambiente abarrotado aumenta la probabilidad de problemas de comunicación y colisiones accidentales, lo que incrementa la posibilidad de conflictos derivados de acciones espaciales.

El espacio como escenario de competencia congestionado, disputado y competitivo

Con relación al atributo del espacio exterior como un ambiente “congestionado”, el espacio ha experimentado una considerable saturación a medida que un creciente número de Estados y corporaciones privadas emprenden el lanzamiento de satélites y otros activos espaciales. Durante los albores de la exploración espacial, únicamente unos pocos actores, particularmente Estados Unidos y la Unión Soviética, poseían la habilidad de posicionar objetos en órbita. En la actualidad, los progresos tecnológicos y la reducción de los costos asociados al lanzamiento de satélites han democratizado el acceso al espacio, conduciendo a un incremento exponencial en la cantidad de satélites en funcionamiento. Entidades privadas como SpaceX, el Proyecto Kuiper de Amazon y OneWeb han iniciado el despliegue de constelaciones de satélites de gran envergadura para la cobertura global de Internet. Estas constelaciones implican decenas de miles de satélites de tamaño reducido que se encuentran en la órbita terrestre baja (LEO).

Esta congestión se intensifica aún más debido a la acumulación de residuos espaciales. Efectivamente, décadas de operaciones humanas en el espacio,

que incluyen satélites desmantelados, fases de cohetes agotadas y fragmentos de colisiones o pruebas antisatélite (ASAT), han generado un considerable volumen de residuos. Los residuos tienen la capacidad de desplazarse a velocidades que exceden los 28.000 kilómetros por hora, lo que implica considerables riesgos de colisión para los satélites operativos e incluso para las misiones tripuladas. En ausencia de un convenio internacional para la eliminación o gestión de residuos, la problemática se intensifica con cada nuevo lanzamiento, lo que incrementa la probabilidad de colisiones y la posibilidad de una cascada de desechos catastrófica, denominada síndrome de Kessler. Este fenómeno se caracteriza por la generación de más residuos a través de colisiones, lo que resulta en la inutilización de determinadas órbitas.

En cuanto al atributo del espacio exterior como un ambiente “disputado”, el espacio ha transitado de ser un dominio neutral a uno altamente disputado en el que se ponen en juego intereses de naturaleza estratégica. Los activos espaciales se han convertido en elementos indispensables para las operaciones militares, la recolección de datos, la comunicación, la navegación y la predicción meteorológica. Esta relevancia transforma al espacio exterior en un dominio estratégico de vital importancia, que los Estados están cada vez menos dispuestos a dejar sin protección (Harrison et. al, 2019). La ascendencia de actores espaciales con intereses militares, incluyendo China, Rusia y la India, en conjunción con el dominio consolidado de los Estados Unidos, ha suscitado tensiones conforme estos Estados aspiran a poseer habilidades espaciales tanto defensivas como ofensivas para salvaguardar o desafiar los activos en órbita.

En la actualidad, la contienda espacial abarca el desarrollo y la evaluación de capacidades ASAT, interferencias, ciberataques orientados hacia la infraestructura espacial y satélites de “inspección” capaces de maniobrar en proximidad a los activos de otros actores espaciales. La ausencia de directrices o convenios explícitos que definan qué se considera una agresión o un conflicto en el espacio ultraterrestre complica la problemática, dado que acciones tales como maniobras de aproximación pueden ser interpretadas como espionaje o antecedentes de un ataque, fomentando así la desconfianza entre las naciones espaciales. La ausencia de transparencia y protocolos de comportamiento estandarizados puede resultar en interpretaciones erróneas y escaladas de conflicto indeseadas.

Con respecto al atributo “competitivo”, el espacio exterior ha experimentado una competitividad intensa, no únicamente entre actores estatales sino también entre actores no estatales que aspiran a aprovechar las oportunidades comerciales existentes en este dominio. Conforme se intensifica la relevancia

de las tecnologías espaciales en los ámbitos militar y civil, tanto los Estados como las corporaciones privadas se encuentran en competencia por el espacio orbital, las frecuencias para las comunicaciones satelitales y el dominio en emergentes industrias espaciales, tales como la minería de asteroides y el turismo espacial. La incursión de entidades privadas en la disciplina, junto con las aspiraciones de Estados que históricamente carecían de experiencia en el ámbito de los viajes espaciales, ha transformado el espacio en un mercado tanto de innovación como de competencia.

Este factor competitivo se ve propulsado por el considerable potencial económico y estratégico que el espacio alberga. Los Estados reconocen que el control o acceso a órbitas y recursos críticos puede resultar en beneficios considerables, ya sea en el ámbito de las comunicaciones globales, la extracción de recursos o las habilidades militares. El estímulo para instalar infraestructura espacial independiente del sistema de posicionamiento global (GPS) de Estados Unidos (como el Galileo de Europa o el BeiDou de China), evidencia aún más la demanda competitiva de autonomía y seguridad espacial.

La competitividad conlleva retos regulatorios, dado que actores estatales y no estatales extienden los límites de lo posible sin una dirección internacional explícita. Las problemáticas vinculadas a los derechos de propiedad, la posesión de recursos (especialmente en relación con la minería extraterrestre), y el armamento espacial continúan sin resolverse, generando un ambiente en el que los Estados y las corporaciones están dispuestos a asumir riesgos para establecer precedentes, lo cual podría comprometer la estabilidad a largo plazo (Harrison et. al, 2020).

En síntesis, el espacio concebido como un ambiente congestionado, disputado y competitivo, se constituye en el epicentro de rivalidades estratégicas del CGP en el siglo XXI. Estos elementos contribuyen a un contexto intrincado en el que los riesgos de mala comunicación, error de cálculo y conflicto son elevados, lo que enfatiza la imperiosa necesidad de normas, regulaciones y colaboración para una gestión del espacio sostenible y pacífica. Fundamentalmente, el enfoque militarizado del espacio enfatiza su relevancia en el contexto de la guerra contemporánea y la estrategia geopolítica, posicionándolo como un potencial escenario de conflicto internacional. A medida que el espacio adquiere un papel central en la seguridad nacional y en la economía global, aumenta la presión sobre los Estados para proteger sus activos espaciales, lo que a su vez crea un escenario propicio para el surgimiento de una carrera armamentística en este dominio.

Perspectivas teóricas: estrategia y poder espacial

El surgimiento del espacio como dominio estratégico exige un marco analítico claro que permita comprender cómo los Estados proyectan poder y persiguen objetivos en órbita. La teoría de la guerra espacial no parte de cero, sino que se nutre del pensamiento estratégico clásico y moderno (desde Clausewitz hasta las teorías de la disuasión nuclear), adaptado al ámbito orbital. En esta línea, las contribuciones de Klein (2019, 2024), Bowen (2022) y Moltz (2024) proporcionan categorías conceptuales y aproximaciones teóricas que ayudan a interpretar el poder espacial de manera pertinente para las dinámicas de los conflictos del siglo XXI.

Klein (2019; 2024) enfatiza que una estrategia espacial eficaz debe basarse en los principios perdurables de la guerra. Basándose en Clausewitz, Sun Tzu y J.C. Wylie, Klein destaca la centralidad del objetivo político para guiar el uso de la fuerza, incluso en el espacio exterior; asimismo, las motivaciones para involucrarse en conflictos espaciales (miedo, honor e interés) no son nuevas, sino que se han trasladado a un nuevo contexto tecnológico. Las enseñanzas de Sun Tzu sobre el engaño y la guerra indirecta también resuenan con fuerza en el contexto espacial; Klein (2019) señala que las medidas antiespaciales no cinéticas, como los ciberataques, las interferencias y el deslumbramiento láser, cumplen el ideal de Sun Tzu de alcanzar objetivos sin una confrontación abierta. El concepto de J.C. Wylie de “control secuencial”, donde el control sobre las líneas de comunicación clave determina la ventaja estratégica, se corresponde directamente con la visión de Klein (2024) de comandar las órbitas espaciales para influir en los conflictos terrestres.

Por otro lado, Bowen (2022) critica las nociones abstractas o románticas del poder espacial, situándolo en las realidades materiales de la geopolítica. En contraste, Bowen (2022) articula una teoría que enfatiza la infraestructura, la geografía y la conectividad estratégica; en lugar de considerar el espacio como una frontera abierta similar a alta mar, Bowen argumenta que la órbita terrestre se describe con mayor precisión como una “costa cósmica” densamente poblada, espacialmente limitada y geográficamente definida. Las propuestas de Bowen (2022) sobre el poder espacial rechazan el ideal mahaniano de batallas decisivas en favor del concepto más matizado de Corbett de control y maniobra.

En la teoría de Bowen, el dominio del espacio no se concibe como la destrucción de activos enemigos, sino como la capacidad de garantizar o impedir el acceso a infraestructuras espaciales críticas. Esta visión subraya la relevancia de la logística, la redundancia y la movilidad orbital como factores

estratégicos. Así, el despliegue de satélites en órbita geoestacionaria (GEO) para comunicaciones, o en órbita terrestre baja (LEO) para inteligencia, vigilancia y reconocimiento (IVR), reproduce dinámicas propias de la geopolítica terrestre, como la existencia de cuellos de botella, esferas de influencia y zonas de vulnerabilidad.

Moltz (2024) presenta un enfoque más sociopolítico e institucional de la guerra espacial, destacando el éxito histórico de la moderación durante la Guerra Fría y las perspectivas de futuros mecanismos de gobernanza para gestionar la competencia estratégica en el espacio. Si bien reconoce la realidad de la rivalidad entre grandes potencias, aboga por el fortalecimiento de las normas e instituciones internacionales como forma de prevenir la escalada. Esta teoría se basa en la creencia de que la guerra espacial puede evitarse; critica las narrativas deterministas y, en cambio, enfatiza el papel del comportamiento estatal, la diplomacia y la cooperación cívico-militar en la definición de los resultados. Apoya las medidas de fomento de la confianza, las iniciativas de transparencia y las redes compartidas de conocimiento de la situación espacial como herramientas esenciales para prevenir malentendidos que podrían derivar en conflictos.

En resumen, estos teóricos ofrecen una visión multidimensional del poder espacial; mientras que Klein (2024) se centra en la aplicación de la lógica estratégica clásica al espacio, haciendo hincapié en la disuasión, la coerción y la maniobra, Bowen (2022) ancla el poder espacial en la geopolítica y la infraestructura, destacando la importancia del mando y el control en las zonas orbitales. Por su lado, Moltz (2024) destaca el potencial de la cooperación institucional y la importancia de las estrategias diplomáticas para preservar la seguridad espacial. Es necesario resaltar que estas perspectivas no son mutuamente excluyentes; más bien, ofrecen perspectivas complementarias para desarrollar estrategias espaciales resilientes, flexibles y éticamente sólidas. En la práctica, una estrategia nacional exitosa de poder espacial debe combinar la lógica de disuasión de Klein, el realismo infraestructural de Bowen y la visión cooperativa de Moltz. Esto porque, a medida que la guerra espacial pasa de la especulación teórica a la planificación estratégica, estos marcos permiten a los responsables de la toma de decisiones anticipar el comportamiento del adversario, evaluar los riesgos estratégicos e integrar el poder espacial en objetivos más amplios de seguridad nacional.

La evolución de la competencia espacial: de la militarización a la armamentización del espacio

La utilización militar del espacio, inicialmente de naturaleza defensiva, ha adoptado en la actualidad una orientación ofensiva. En un principio, la militarización pasiva del espacio se traducían en la puesta en órbita de satélites para la inteligencia, vigilancia y reconocimiento, así como para las telecomunicaciones; si bien estas tecnologías de recopilación o transmisión de información proporcionaban apoyo logístico a las tropas desplegadas en los teatros de operaciones, no formaban parte de los sistemas de armamentos destinados a neutralizar o destruir al enemigo y sus capacidades.

Sin embargo, a partir de los años 80, los sistemas espaciales comenzaron a entrar en el arsenal de las potencias nucleares y espaciales; en efecto, las redes de satélites de navegación, posicionamiento y tiempo, como el GPS estadounidense y el Glonass ruso, con la información que aportaban para la orientación de los misiles de crucero, constituyeron un primer paso hacia el uso del espacio como recurso militar para la destrucción de las fuerzas enemigas. Esta evolución se amplió durante los años 90 hasta el punto de que, en los Estados Unidos, el espacio se ha convertido en un multiplicador de fuerzas y en un símbolo de la “revolución en los asuntos militares” (RAM).

En consecuencia, el concepto de espacio exterior “militarizado” ha sido sustituido por el de un espacio exterior “armamentizado”. Es decir, la expresión “armamentización” del espacio define el proceso que da lugar al despliegue de armas en el espacio, que puede convertirse entonces en un teatro de conflicto, un campo de batalla, mediante el uso de armas destinadas a destruir objetivos en órbita o en la superficie terrestre. Por consiguiente, la “armamentización” del espacio constituye un aspecto específico de la “militarización” del mismo, ya que la armamentización del espacio se produce cuando se alcanza el punto más alto de un continuo que abarca desde sistemas espaciales carentes de utilidad militar, pasando por satélites que facilitan operaciones militares terrestres (desde finales de década de 1950), hasta satélites que se convierten en componentes esenciales de los sistemas de armas terrestres (a partir de la década de los 1990), y que culmina con el despliegue de armas en el espacio.

Dimensiones de la armamentización espacial

En su forma más extrema, la armamentización del espacio implicaría el despliegue extensivo de una amplia gama de armamentos espaciales, que abarcan sistemas satelitales de defensa contra misiles balísticos (BMD

por sus siglas en inglés), ASAT terrestres y espaciales, y diversas armas espacio-Tierra (STEW por sus siglas en inglés), que serían parte integral de cualquier operación militar ejecutada por sus poseedores. Sin embargo, la armamentización del espacio no sigue una trayectoria lineal directa que da como resultado la armamentización abrupta del espacio ultraterrestre.

Por el contrario, existen varias dimensiones de la militarización del espacio a lo largo de las cuales un desarrollo particular puede alinearse más o menos estrechamente con una concepción idealizada de armamentización espacial. Para cada uno, es posible delinear una serie de pasos en el continuo, que abarcan desde características que tienen un parecido mínimo con las de un “arma espacial” hasta aquellas que parecen marcadamente extremas; no obstante, la secuencia precisa de los pasos no siempre es evidente. En consecuencia, Mueller (2003) describe seis dimensiones (Tabla 1) que ayudan a evaluar la proximidad de una capacidad militar determinada al concepto de arma espacial:

Tabla 1. *Dimensiones de la Armamentización Espacial*

Dimensión	Principio central	Implicaciones estratégicas
Basing	Ubicación desde la que opera el arma (terrestre, suborbital, orbital).	Señal política; define nivel de provocación y riesgo de carrera armamentista.
Objetivos potenciales	Tipo y dominio del blanco (terrestre, atmosférico, orbital: LEO, MEO, GEO).	Determina vulnerabilidad, valor estratégico y posibles escenarios de escalada.
Mecanismo de ataque	Forma de ejercer efectos (cinético, energía dirigida, guerra electrónica, ciberataques).	Grado de sofisticación, generación de desechos, dificultad de atribución y control de escalada.
Efectos	Naturaleza y alcance del daño (destrutivo, dañino, disruptivo).	Impacto en operaciones militares, riesgos colaterales, sostenibilidad orbital (ej. síndrome de Kessler).
Discriminación	Precisión en atacar objetivos sin generar efectos colaterales.	Relevancia ética y jurídica; distingue entre comportamiento responsable y militarización desestabilizadora.
Utilidad potencial	Valor operativo en escenarios militares (ofensivo/defensivo, escalabilidad, encubrimiento).	Influye en doctrinas de disuasión, gestión de crisis y respuesta internacional; puede incentivar contramedidas.

Fuente: elaboración propia con base en Mueller (2003).

Primera dimensión: Basing

La dimensión de basing del armamentismo espacial se refiere a la ubicación física desde la que se despliega u opera un arma, y desempeña un papel fundamental a la hora de determinar tanto las implicaciones estratégicas como la sensibilidad política de un sistema determinado. En un extremo del espectro se encuentran los sistemas terrestres, como los ASAT o las armas de energía dirigida, diseñadas para atacar activos espaciales. Estos generalmente se perciben como menos provocativos porque no requieren una presencia militar permanente en órbita. Aumentando en intensidad, las armas de ascenso directo se lanzan al espacio desde la Tierra para destruir un objetivo y luego reingresar o autodestruirse. Aunque siguen estando basadas en la Tierra, su uso representa una proyección más explícita de fuerza en el espacio.

Más adelante en este espectro se encuentran los sistemas suborbitales y los sistemas de lanzamiento a demanda, que se colocan en el espacio temporalmente, generalmente en respuesta a una crisis o conflicto. Estos sistemas difuminan la línea entre la utilización pasiva del espacio y la militarización activa del mismo, ofreciendo flexibilidad estratégica y evitando el peso simbólico de establecer armas permanentemente en el espacio.

En el extremo más avanzado del espectro se encuentran las plataformas orbitales a largo plazo: armas desplegadas en el espacio con mucha antelación a las hostilidades y mantenidas en un estado de alerta constante. Estos sistemas, que pueden incluir láseres orbitales o vehículos cinéticos de destrucción, suelen considerarse una amenaza política considerable, socavando las normas asociadas con el uso pacífico del espacio exterior. La permanencia y la visibilidad de los sistemas de armas espaciales pueden generar percepciones de amenaza, aumentar las tensiones y provocar una carrera armamentista entre Estados rivales. Por lo tanto, establecer bases no es una mera decisión técnica u operativa, sino una señal política que influye en la percepción internacional, la estabilidad estratégica y la trayectoria de la militarización espacial.

Segunda dimensión: Objetivos Potenciales

La dimensión de los objetivos potenciales en la armamentización espacial se refiere a la ubicación, el tipo y el valor estratégico de los objetos en un sistema de armas espaciales diseñado para atacar. Estos objetivos pueden clasificarse según su dominio posicional: terrestre (tierra, mar, aire), atmosférico (como misiles en vuelo) y orbital (satélites o sistemas espaciales). Dentro del espacio orbital, existe una mayor diferenciación entre satélites que operan en órbita terrestre baja (LEO), órbita terrestre media (MEO) y órbita

geosincrónica (GEO), cada uno con distintas utilidades estratégicas y niveles de vulnerabilidad. Por ejemplo, los satélites en LEO se utilizan comúnmente para la observación e inteligencia de la Tierra, mientras que los satélites en GEO son fundamentales para las comunicaciones y los sistemas de alerta temprana.

La naturaleza del objetivo también condiciona la clasificación y las implicaciones estratégicas de un sistema de armas. Un arma capaz de neutralizar activos reforzados, maniobrables o con características de sigilo (como los satélites dotados de propulsión para evasión orbital o los vehículos hipersónicos) evidencia un mayor nivel de sofisticación y de potencial ofensivo que aquellos sistemas diseñados para atacar objetivos de trayectoria predecible y limitada capacidad de maniobra, tales como satélites en órbita geoestacionaria o plataformas sin capacidad autónoma de evasión. Además, la capacidad de atacar múltiples objetivos, ya sea simultánea o secuencialmente, es un factor crucial para evaluar la amenaza potencial de un sistema y su potencial de escalada.

Si bien la atención pública y las políticas a menudo se centran en las armas espacio-Tierra, es importante señalar que las armas espacio-espacio (diseñadas para inutilizar o destruir satélites adversarios), pueden representar una desviación significativa de las normas militares vigentes. Estas capacidades desafían la premisa fundamental del espacio como santuario y pueden degradar gravemente las funciones militares, económicas y científicas que permiten los satélites. En consecuencia, los objetivos potenciales de un arma espacial no solo definen su uso operativo, sino también sus implicaciones estratégicas y normativas en el contexto más amplio de la seguridad internacional y la gobernanza espacial.

Tercera dimensión: Mecanismo de Ataque

La dimensión del mecanismo de ataque aborda los medios por los cuales un arma espacial ejerce sus efectos sobre un objetivo, abarcando un espectro de tecnologías que van desde ataques cinéticos convencionales hasta métodos de interferencia no cinéticos. Los sistemas de armas tradicionales, como las armas de energía cinética (EC), infligen daño físico mediante impacto directo, un enfoque que se emplea a menudo en pruebas ASAT. Si bien son eficaces, estos métodos generan una cantidad significativa de desechos orbitales, lo que aumenta los riesgos a largo plazo para todas las naciones con programas espaciales. Las armas de energía dirigida (ED), incluyendo láseres y microondas de alta potencia, ofrecen un medio sin contacto para inutilizar

satélites mediante el sobrecalentamiento o daño de componentes electrónicos sensibles. Estas armas son valoradas por su capacidad de ataque a la velocidad de la luz y su potencial de precisión, pero su despliegue operativo sigue siendo técnicamente complejo.

Más allá de estos, existen mecanismos no tradicionales o de “zona gris” que difuminan la distinción entre herramientas militares y no militares. Las técnicas de guerra electrónica, como la interferencia o la suplantación de señales, pueden interrumpir las comunicaciones y la navegación por satélite sin causar daños permanentes. De igual manera, los ciberataques pueden tener como objetivo la infraestructura de control terrestre o los sistemas a bordo de los satélites, alterando potencialmente su comportamiento o dejándolos inoperativos. Algunos mecanismos conceptuales incluyen la interferencia mecánica, como brazos robóticos para manipular o desorbitar satélites, o sistemas diseñados para obstruir paneles solares o campos de sensores; técnicas encubiertas que pueden evadir la detección y la atribución.

En el extremo superior de la escala se encuentran las armas nucleares, cuyo despliegue en el espacio está prohibido por el Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967. No obstante, el uso teórico de detonaciones nucleares exoatmosféricas para crear efectos de pulso electromagnético (PEM) sigue siendo una preocupación estratégica. La amplia gama de mecanismos de ataque ilustra que el armamentismo espacial no requiere plataformas visibles y destructivas para representar una amenaza. En cambio, la ambigüedad, el potencial de doble uso y la naturaleza encubierta de muchos mecanismos complican la verificación, el control de la escalada y la atribución legal, lo que plantea desafíos críticos para la seguridad espacial y los marcos de control de armamentos.

Cuarta dimensión: Efectos de las Armas

La dimensión efectos de las armas se centra en la naturaleza, intensidad y consecuencias de los resultados producidos por un arma espacial sobre su objetivo. En esencia, esta dimensión evalúa si el efecto es destructivo, dañino o simplemente disruptivo; también evalúa su posible duración y reversibilidad. Los efectos destructivos implican la destrucción física de un objetivo, como la interceptación cinética de un satélite, lo que resulta en una pérdida total y, a menudo, en la creación de desechos orbitales peligrosos. Los efectos dañinos pueden perjudicar la funcionalidad de un sistema (por ejemplo, al quemar los circuitos con un arma de energía dirigida), aunque con posibilidad de reparación o recuperación. Los efectos disruptivos, como la interferencia

de señales o los ataques de denegación de servicio, pueden ser temporales y reversibles, pero aun así pueden tener consecuencias operativas y estratégicas significativas durante periodos críticos de actividad militar o económica.

Otro aspecto importante es la duración y la posibilidad de recuperación de los efectos del arma. Por ejemplo, una interrupción breve del canal de comunicación de un satélite puede ser menos provocativa que una acción que lo inutilice permanentemente. También deben considerarse las consecuencias indirectas: ¿resultarán los efectos en la pérdida de vidas humanas, daños económicos o efectos secundarios en otros ámbitos como la aviación, las operaciones marítimas o la infraestructura terrestre? Además, las armas espaciales pueden tener efectos en cascada. La detonación de un satélite en órbita puede provocar el síndrome de Kessler, es decir, una reacción en cadena autosostenida de colisiones que podría inutilizar regiones orbitales enteras. En tales casos, incluso los efectos localizados podrían tener profundas implicaciones globales.

En última instancia, lo decisivo no son las armas en sí mismas, sino los efectos derivados de su uso. La naturaleza y la magnitud de dichos efectos influyen tanto en los cálculos estratégicos como en los juicios normativos de la comunidad internacional. Un sistema empleado con alta precisión y con un impacto colateral reducido puede considerarse relativamente más aceptable en ciertos círculos militares, mientras que aquel cuyo uso produce daños indiscriminados al entorno orbital tiende a generar rechazo y condena internacional. En este sentido, los efectos del uso de armas espaciales resultan determinantes no solo para su valor operativo y militar, sino también para los debates políticos y jurídicos más amplios en torno a la aceptabilidad y la gobernanza del espacio exterior.

Quinta dimensión: Discriminación

La dimensión de discriminación se refiere a la capacidad de un arma espacial para atacar objetos específicos con precisión, minimizando al mismo tiempo los efectos colaterales. Esta dimensión sirve para determinar tanto la utilidad operativa como la legitimidad política de un sistema de armas espaciales. En la guerra moderna, la discriminación suele asociarse con normas éticas y jurídicas, especialmente los principios de distinción y proporcionalidad del derecho internacional humanitario. Sin embargo, en el ámbito espacial, la discriminación adquiere mayor complejidad debido a las características físicas de los entornos orbitales y al potencial de consecuencias globales duraderas.

Un arma altamente discriminante es aquella que limita sus efectos estrictamente a su objetivo previsto, como un sistema láser que desactiva un sensor satelital específico sin afectar a los sistemas adyacentes ni generar desechos. Por el contrario, las armas de baja discriminación, como los ASAT de energía cinética o las detonaciones nucleares exoatmosféricas, pueden producir efectos generalizados e impredecibles, dañando múltiples satélites, produciendo grandes volúmenes de desechos orbitales e incluso generando PEM que perturban la infraestructura terrestre.

La discriminación también es crucial al evaluar la aceptabilidad política de los sistemas de armas espaciales. Los sistemas percibidos como precisos y de alcance limitado pueden considerarse defensivos o estabilizadores. Por el contrario, aquellos que probablemente causen daños indiscriminados tienen más probabilidades de ser vistos como escaladores, amenazantes o violadores de las normas internacionales, especialmente cuando ponen en peligro el uso pacífico del espacio para todos los actores. Además, la posibilidad de ambigüedad en cuanto al doble uso (donde un sistema benigno, como por ejemplo un robot de servicio de satélites, podría reutilizarse para acciones ofensivas), complica aún más la claridad y la discriminación en la selección de objetivos.

En resumen, la discriminación desempeña un papel vital para distinguir entre un comportamiento espacial responsable y una militarización desestabilizadora. Afecta no solo los resultados operativos, sino también cuestiones más amplias de estabilidad estratégica, responsabilidad jurídica y sostenibilidad del entorno espacial. A medida que el ámbito espacial se vuelve cada vez más congestionado y controvertido, mejorar la discriminación de los sistemas militares será esencial para mantener tanto la credibilidad de la disuasión como la confianza global en la gobernanza espacial.

Sexta dimensión: Utilidad Potencial

La dimensión de utilidad potencial evalúa el valor operativo y la relevancia estratégica de un arma espacial, en particular en términos de su eficacia en diversos escenarios militares. Esto incluye evaluar si el sistema está optimizado para fines ofensivos o defensivos, su resiliencia a las contramedidas y si puede ofrecer ventajas tangibles en la disuasión, la gestión de crisis o un conflicto a gran escala. Las armas que ofrecen un beneficio claro y asimétrico, como la desactivación de los satélites de mando y control del adversario o la neutralización preventiva de amenazas de misiles balísticos, suelen considerarse de gran utilidad desde un punto de vista estratégico.

Sin embargo, la utilidad potencial no se limita al rendimiento técnico. También depende de la vulnerabilidad, la oportunidad y la escalabilidad. Un arma espacial eficaz en un escenario de primer ataque, pero muy expuesta a ataques preventivos, puede ofrecer rendimientos decrecientes, especialmente en una crisis caracterizada por una rápida escalada y tiempos de alerta cortos. Asimismo, las armas que no pueden expandirse fácilmente para atacar múltiples objetivos, o que operan bajo reglas de enfrentamiento muy restringidas, pueden tener una aplicabilidad limitada en conflictos reales.

Otro factor importante es la negación plausible y el grado en que un arma puede usarse de forma encubierta o anónima. En un ámbito donde la atribución es difícil y la transparencia es limitada, las armas que permiten interferencias discretas, como las herramientas cibernéticas o los disruptores electromagnéticos, pueden ser útiles no solo en enfrentamientos cinéticos, sino también en operaciones de zona gris y señalización estratégica.

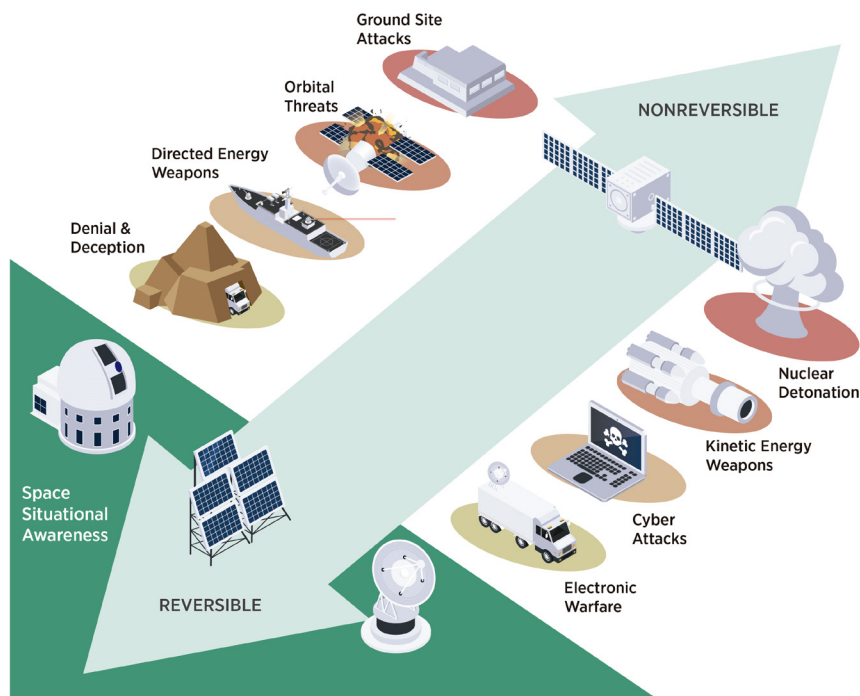
En última instancia, la utilidad potencial de un arma espacial depende del contexto. Varía según el entorno estratégico, la doctrina y los objetivos del Estado, y el panorama tecnológico. Cabe destacar que los sistemas percibidos como altamente útiles también pueden influir en las respuestas internacionales, impulsando carreras armamentísticas o incentivando contramedidas. Por lo tanto, esta dimensión sirve de puente entre la viabilidad técnica y las consecuencias geopolíticas, lo que subraya la importancia de la previsión estratégica en el desarrollo y despliegue de capacidades militares espaciales.

En síntesis, las seis dimensiones del armamentismo espacial ofrecen un marco integral para comprender cómo se configuran las capacidades militares en órbita y cuáles son sus implicaciones estratégicas y políticas. Cada dimensión ilumina un aspecto distinto del problema: desde la localización física de las armas y los blancos seleccionados, hasta la forma de ataque, los efectos producidos, el grado de precisión alcanzado y la utilidad estratégica en escenarios de crisis o conflicto. Analizadas en conjunto, revelan que el desafío no se limita a la tecnología, sino que abarca también percepciones de amenaza, estabilidad internacional, sostenibilidad del entorno espacial y legitimidad normativa. Este enfoque multidimensional permite vincular la discusión técnica con los dilemas de gobernanza y seguridad global, subrayando que la militarización del espacio no es un fenómeno aislado, sino parte de la evolución más amplia de la competencia estratégica en el siglo XXI.

Tipos de Armas Espaciales

A medida que el espacio exterior se vuelve un dominio de guerra cada vez más disputado, el desarrollo y despliegue de armas espaciales transforma el entorno estratégico. Por lo tanto, las armas espaciales son sistemas diseñados para negar, degradar o destruir las capacidades y servicios espaciales (Figura 1); estos sistemas pueden clasificarse por su método de ataque (cinético o no cinético), su ubicación (terrestre o espacial), y su efecto (reversible o irreversible).

Figura 1. *Continuo de Amenazas Contraespaciales*



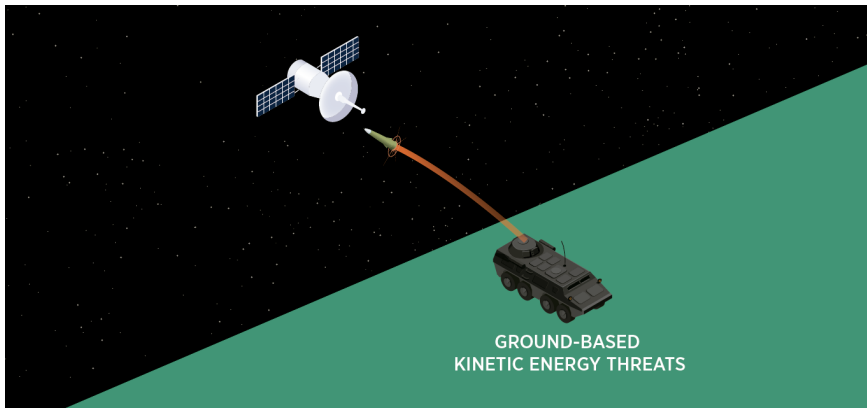
Fuente: DIA (2022).

Armas Espaciales Cinético-Físicas

Las armas cinético-físicas logran sus efectos mediante la fuerza física, generalmente al impactar o destruir un satélite o una infraestructura terrestre. Entre las armas de esta categoría se encuentran los Misiles Antisatélite de Ascenso Directo (ASAT), lanzados desde tierra para interceptar y destruir satélites en órbita (Figura 2). Por su parte, los ASAT coorbitales son sistemas que se lanzan a órbita y maniobran cerca de un satélite objetivo antes de

atacar, ya sea por colisión o lanzando proyectiles. También pueden desplegar brazos robóticos o energía dirigida para dañar o interrumpir el funcionamiento de otros satélites (la naturaleza de doble uso de los satélites de servicio en órbita complica la atribución y la respuesta). Los ataques físicos a estaciones terrestres de satélites, centros de mando y control e instalaciones de lanzamiento también constituyen acciones espaciales cinéticas; estos ataques pueden utilizar municiones convencionales, sabotaje o fuerzas especiales en la Tierra para afectar la infraestructura crítica espacial de un adversario. Los ataques cinéticos tienen un alto potencial de escalada debido a su destrucción visible y al potencial de crear desechos espaciales, lo que amenaza la sostenibilidad a largo plazo del entorno orbital.

Figura 2. *ASAT basados en la Tierra*



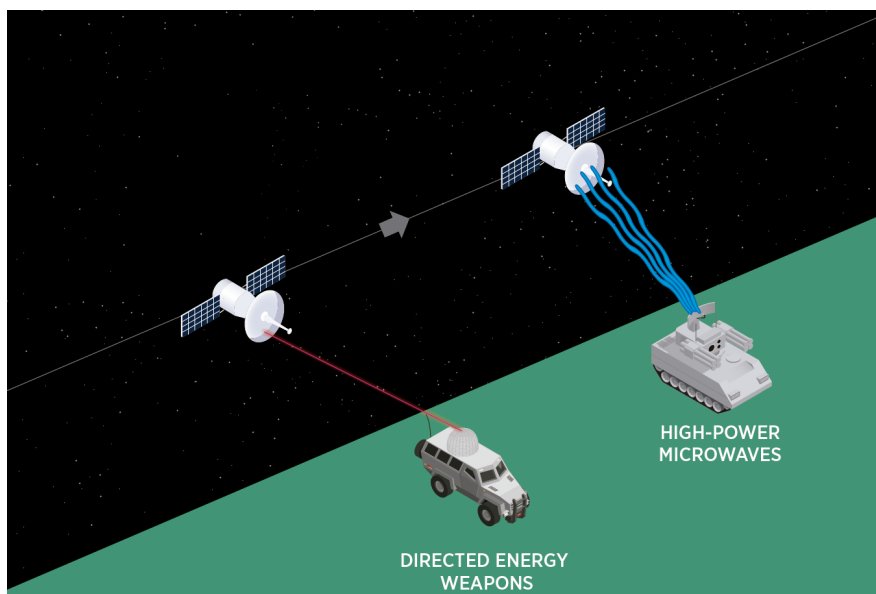
Fuente: DIA (2022).

Armas Espaciales Físicas No-Cinéticas

Estos sistemas causan efectos físicos sin depender del impacto cinético. Por ejemplo, las Armas de Energía Dirigida (DEW) incluyen sistemas de láseres, microondas de alta potencia y generadores de PEM que pueden desactivar sensores o dispositivos electrónicos de satélite (Figura 3); son atractivas por su capacidad de ataque a la velocidad de la luz y su reducido riesgo de atribución. Las armas de Detonación Nuclear a Gran Altitud (HAND) generan efectos PEM y partículas cargadas que pueden dañar o desactivar satélites en amplias áreas orbitales. Si bien actualmente están prohibidas por el Tratado del Espacio Ultraterrestre y el Tratado de Prohibición Parcial de los Ensayos Nucleares, la amenaza persiste debido a la capacidad latente de los Estados con armas nucleares. Como las armas físicas no cinéticas pueden ser difíciles de

detectar y atribuir, plantean desafíos únicos de verificación para los regímenes de control de armamentos.

Figura 3. *Armas de Energía Dirigida*

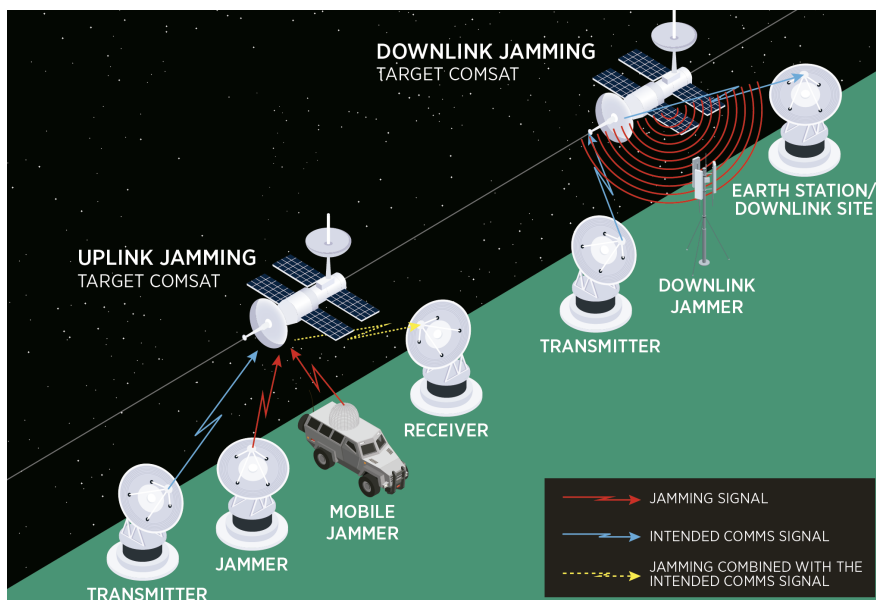


Fuente: DIA (2022).

Armas Electrónicas Contraespaciales

Los sistemas de guerra electrónica (GE) interfieren con las señales electromagnéticas utilizadas por los sistemas espaciales. Los ataques de interferencia interrumpen la recepción o transmisión de señales satelitales; la interferencia de enlace ascendente afecta al satélite, mientras que la interferencia de enlace descendente afecta a los receptores en la Tierra (Figura 4). Los sistemas de GE pueden utilizarse contra satélites de comunicaciones, navegación o Inteligencia, Vigilancia y reconocimiento (IVR). Por su parte, los ataques de suplantación de identidad engañan a un satélite o receptor terrestre imitando señales legítimas. La suplantación de identidad GPS puede confundir los sistemas de navegación o interrumpir las armas guiadas de precisión. Los sistemas de GE son atractivos por su reversibilidad y capacidad de negación, lo que los convierte en herramientas ideales para conflictos en la zona gris; no obstante, la interferencia persistente puede intensificar las tensiones y reducir la eficacia militar.

Figura 4. Guerra Electrónica



Fuente: DIA (2022).

Armas Ciberespaciales

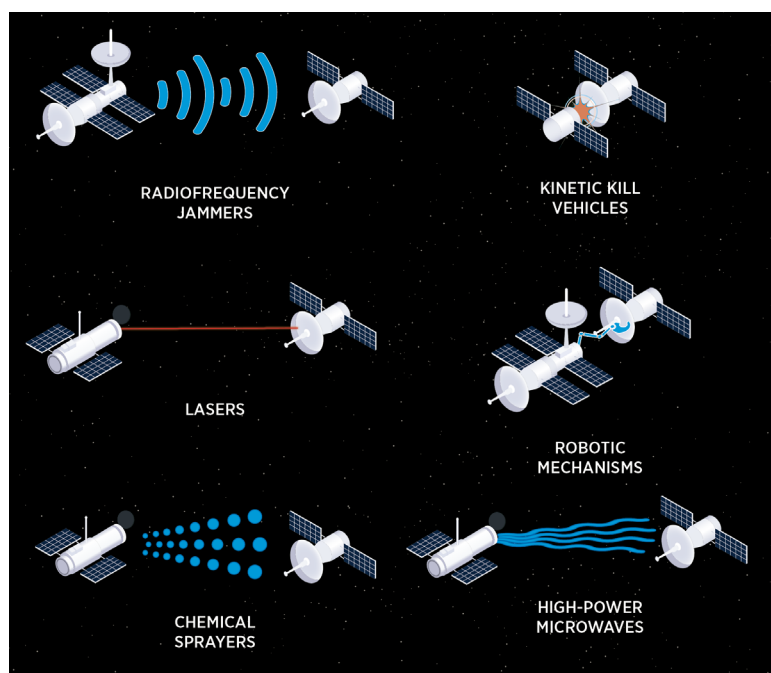
Los ciberataques se dirigen al *software*, las redes y los enlaces de datos de los sistemas espaciales. Los ataques de red pueden comprometer los sistemas de comando y control de satélites, corromper datos o interrumpir la prestación de servicios. Los adversarios pueden utilizar *malware*, técnicas de intrusión o ataques de denegación de servicio para acceder o desactivar los sistemas. Con relación a la explotación de la cadena de suministro, las ciber amenazas pueden introducirse durante las fases de diseño, fabricación o mantenimiento, lo que permite a los adversarios activar código malicioso en momentos críticos. En consecuencia, los ciberataques son de bajo coste, escalables y difíciles de atribuir; pueden llevarse a cabo de forma encubierta, difuminando la línea entre la paz y el conflicto, planteando graves riesgos tanto para los operadores comerciales como militares.

Armas Espaciales Orbitales

Estos sistemas operan en el espacio y están diseñados para atacar otros objetos espaciales. Para las Operaciones de Encuentro y Proximidad (OEP), se hace uso de satélites que maniobran cerca de otros para inspección, mantenimiento

o interferencia; por lo tanto, si bien las tecnologías de OEP son esenciales para la sostenibilidad espacial, también posibilitan las misiones ASAT coorbitales (Figura 5). Por ejemplo, los brazos robóticos y los mecanismos de captura son dispositivos que pueden manipular o desactivar físicamente otros satélites, al desorbitar, reposicionar o desmantelar un satélite objetivo. Si bien estas tecnologías han sido diseñadas para prolongar la vida útil de los satélites o remover desechos orbitales, también pueden reutilizarse como sistemas antiespaciales. Por ende, las armas orbitales representan un cambio hacia capacidades militares espaciales permanentes; su naturaleza de doble uso dificulta la interpretación de las intenciones, lo que aumenta el riesgo de errores de cálculo y escalada.

Figura 5. *Armas Espaciales Orbitales*



Fuente: DIA (2022)

En resumen, las armas espaciales abarcan un amplio espectro de capacidades que atacan los sistemas espaciales de un adversario mediante medios cinéticos, no cinéticos, electrónicos, cibernéticos y orbitales. Estas armas varían en letalidad, reversibilidad y atribución, lo que complica la disuasión y la gestión de crisis. A medida que se intensifica la competencia estratégica en el espacio exterior, comprender la gama completa de amenazas espaciales es esencial

para los responsables políticos, los planificadores de defensa y los académicos que trabajan para preservar el espacio como un dominio estable y seguro. Los futuros esfuerzos de control de armamentos deberán abordar no solo los sistemas de armas evidentes, sino también las tecnologías y doctrinas de doble uso que difuminan la línea entre el uso pacífico y la intención hostil.

Los riesgos de la armamentización del espacio

La armamentización del espacio introduce una complejidad de riesgos que van más allá de la seguridad nacional y afectan a la estabilidad económica, el progreso tecnológico y las relaciones internacionales. Según Harrison et. al (2021b), a medida que los Estados y las entidades privadas continúan desarrollando y desplegando capacidades militares en el espacio ultraterrestre, corren el riesgo de crear un entorno inestable que podría conducir a conflictos no deseados, degradación ambiental en órbita y una ruptura de la confianza entre los Estados.

Uno de los principales riesgos asociados con la armamentización del espacio es la escalada del conflicto y la carrera armamentista, ya que cuando un Estado despliega armas o desarrolla tecnologías ASAT, otros Estados pueden sentirse obligados a responder con avances similares para evitar la vulnerabilidad estratégica. Este ciclo crea un dilema de seguridad, donde el intento de cada actor estatal de defender sus activos espaciales es percibido como una acción agresiva por los demás, lo que provoca contramedidas. Por ejemplo, Estados Unidos y China están inmersos en una competencia para desarrollar capacidades espaciales que incluyen tecnologías ofensivas y defensivas, y cada uno teme que los avances del otro puedan amenazar algún día sus activos espaciales.

El riesgo de escalada es particularmente alto debido a la ambigüedad en la definición de tecnologías espaciales ofensivas y defensivas. Un satélite capaz de maniobrar para inspeccionar otro satélite puede ser visto como un arma antisatélite potencial. Sin normas claras ni transparencia, estas ambigüedades pueden conducir rápidamente a una mala interpretación, en la que una acción concebida como medida de precaución o defensiva podría ser percibida como una preparación para un ataque, lo que desencadenaría una respuesta agresiva (Hammack, 2021).

Otro riesgo de la armamentización del espacio exterior es la amenaza que supone a la infraestructura civil y comercial, debido a que muchas actividades civiles y comerciales dependen de un acceso estable y seguro a los servicios espaciales, incluidos el GPS para la navegación, los satélites meteorológicos

para el monitoreo del clima y los satélites de comunicación que respaldan todo, desde la conectividad a Internet hasta la banca internacional. Un entorno espacial armamentizado aumenta el riesgo de ataques intencionales o no intencionales a estos sistemas críticos, ya sea como parte de un conflicto armado o debido a errores en la selección de objetivos. En una crisis, los satélites utilizados para fines civiles podrían llegar a ser indistinguibles de los activos militares y convertirse en objetivos no deseados.

Las consecuencias económicas de los ataques a la infraestructura espacial serían catastróficas y afectarían a los mercados financieros mundiales, las redes de comunicación y el sector del transporte. La interrupción de las señales GPS, por ejemplo, podría perturbar la navegación aérea y marítima, causar retrasos en el transporte marítimo mundial y afectar a las transacciones financieras diarias, socavando la estabilidad económica. Por ejemplo, en un estudio desarrollado por London Economics (2017), se estimó que el impacto económico para el Reino Unido de una interrupción de cinco días del GPS/GNSS podría llegar a ser de £5,2 mil millones, compuesto por £ 1,7 mil millones en valor agregado bruto perdido y £3,5 mil millones en beneficios de utilidad perdidos (incluidos los daños). Por consiguiente, un entorno espacial militarizado pone así en riesgo los enormes beneficios de la tecnología espacial de la que dependen los civiles de todo el mundo, convirtiendo la guerra espacial en una amenaza tanto para la sociedad mundial como para los Estados individuales.

Uno de los riesgos más inmediatos y graves de la armamentización del espacio es la creación de desechos espaciales. Las acciones militares destructivas, como las pruebas ASAT, pueden generar miles de piezas de desechos, cada una de las cuales viaja a gran velocidad y es capaz de dañar o destruir otros satélites. Los desechos espaciales ya son un problema importante, con fragmentos de colisiones de satélites anteriores, cohetes abandonados y naves espaciales rotas que ensucian las órbitas populares. Las actividades militares que generan más desechos exacerban este problema, aumentando el riesgo de colisiones y amenazando la sostenibilidad a largo plazo de las actividades espaciales. El “efecto cascada” de los desechos espaciales, conocido como el síndrome de Kessler, podría dejar inutilizables para futuras misiones zonas orbitales clave, como la órbita terrestre baja (LEO). Cuando los desechos colisionan con satélites operativos u otros desechos, crean aún más fragmentos, lo que podría hacer imposible operar con seguridad en esas regiones. El síndrome de Kessler presenta un grave riesgo para el futuro de la exploración espacial, la investigación científica y las actividades económicas en el espacio.

Otro riesgo de la implementación de recursos militares en el espacio, incluyendo las armas con la capacidad de inutilizar o destruir satélites, es que genera un ambiente vulnerable en el que incidentes menores pueden escalar con celeridad. Dentro de un contexto militarizado, cada Estado puede experimentar la presión de supervisar y reaccionar ante las acciones ajenas, generando un ambiente en el que la pronta respuesta adquiere una relevancia crítica. Este énfasis en la acción inmediata incrementa la probabilidad de errores matemáticos, en los que una colisión involuntaria o una maniobra ambigua de un satélite podría ser interpretada como un acto de agresión. Por ejemplo, la existencia de satélites de “inspección”, capaces de aproximarse y supervisar otros satélites, genera incertidumbre y puede ser malinterpretada como actividades de espionaje o preparación para un ataque. Si un satélite de tal naturaleza se aproxima excesivamente a un activo adversario, podría instigar una respuesta defensiva, potencialmente desencadenando un conflicto abierto. La ausencia de protocolos de comunicación explícitos o estrategias de transparencia espacial incrementa la susceptibilidad a malinterpretaciones y accidentes, transformando lo que anteriormente podría ser incidentes menores en conflictos de mayor envergadura.

Según Hammack (2021), la armamentización espacial tiene el potencial de debilitar la confianza mutua entre los Estados participantes y debilitar los intentos de instaurar normas internacionales de comportamiento responsable en el espacio. Tradicionalmente, el espacio ha sido categorizado como un “bien común global” conforme al Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967, con el propósito de ser empleado de manera pacífica en beneficio de la humanidad en su totalidad. No obstante, con la creciente priorización del dominio militar en el espacio por parte de los Estados, se genera una erosión de la confianza y la cooperación. La falta de directrices obligatorias que regulen las operaciones militares en el espacio permite los actores estatales interpretar los tratados vigentes de formas que se ajusten a sus propios intereses. Esto genera una perspectiva fragmentada de la gobernanza espacial, en la que las naciones operan unilateralmente en lugar de colaborativamente. Dicho unilateralismo no solo impide la instauración de normas comunes, sino que también fomenta a otras naciones a adoptar estrategias militares análogas en el espacio, fomentando un ciclo competitivo que erosiona cualquier capacidad de gobernanza colaborativa.

Por consiguiente, la capacidad de las tecnologías de doble uso coloca en riesgo la diplomacia espacial. En efecto, numerosas tecnologías espaciales son de uso dual, lo que implica que poseen aplicaciones tanto en el ámbito civil como en el militar; esta característica de doble uso complica las iniciativas diplomáticas para la regulación espacial, dado que las naciones

pueden sostener que determinadas capacidades son fundamentales para propósitos pacíficos, pero que podrían ser reutilizadas para acciones ofensivas. Por ejemplo, las tecnologías de maniobrabilidad satelital empleadas en la realización de ajustes y reparaciones orbitales podrían ser empleadas para inspeccionar o potencialmente interferir con el satélite de un adversario, desvelando la distinción entre las intenciones pacíficas y militares. Por lo tanto, la negociación de medidas de control de armamentos o la instauración de reglas de juego en el espacio se torna compleja debido al anhelo de cada nación de salvaguardar su derecho percibido a desarrollar tecnologías de doble uso. La ausencia de claridad en las intenciones incrementa la suspicacia y dificulta la instauración de acuerdos verificables, lo que complica el control o incluso la vigilancia de las operaciones militarizadas en el espacio (Harrison et. al, 2018).

El panorama estratégico de la competencia espacial en el siglo XXI

En el transcurso de los veinticinco años del siglo XXI, el espacio exterior se ha consolidado como un dominio crucial para la seguridad y defensa nacionales, albergando una creciente diversidad de activos y capacidades militares que promueven, optimizan o ponen en peligro la dinámica de poder terrestre. La actual “armamentización” del espacio evidencia una transformación en la percepción de las grandes potencias, particularmente Estados Unidos y China, respecto al rol de este dominio de guerra en sus tácticas de seguridad nacional, ya que la facultad de garantizar las capacidades de comunicación, navegación, vigilancia e inteligencia espacial le confiere a las fuerzas militares de un Estado significativas ventajas estratégicas en el planeta, estableciendo así el espacio ultraterrestre como una nueva frontera en la competencia global.

El concepto de “Competencia entre Grandes Potencias” (CGP), que caracteriza la propensión de las potencias emergentes a entrañar conflictos con las potencias consolidadas, ha adquirido una importancia revitalizada a medida que Estados Unidos y China intensifican sus capacidades militares en el espacio. Como ambos Estados sostienen que la hegemonía espacial es esencial para su seguridad y defensa, tal visión compartida fomenta una carrera armamentística que podría desembocar en un conflicto accidental o deliberado. Conforme cada Estado incrementa su habilidad para salvaguardar y potencialmente atacar los activos espaciales, esta competencia intensifica un dilema de seguridad: las iniciativas de un actor para salvaguardar sus intereses

pueden percibirse como amenazas para el otro, suscitando respuestas análogas y potencialmente derivando en una carrera armamentística.

Por ende, la militarización espacial implica desafíos y peligros singulares; además de los aspectos estratégicos inmediatos, la militarización espacial enfrenta el riesgo de generar un ambiente en el que la inestabilidad y la basura espacial comprometan la sostenibilidad a largo plazo del espacio para todos los usuarios, tanto militares como civiles. Dentro de este marco, los debates en torno a la instauración de normas de comportamiento responsable en el espacio exterior se hace urgente. No obstante, la significativa relevancia estratégica del espacio dificulta la consecución de dichos acuerdos, dado que las potencias dominantes frecuentemente muestran reticencia a restringir sus propias ventajas militares.

Los acuerdos normativos iniciales como el Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967, establecieron el principio del espacio como un bien común global, destinado al beneficio de la humanidad en su totalidad, por lo cual las operaciones espaciales eran primordialmente motivadas por metas científicas, comerciales y exploratorias, con una función restringida para las aplicaciones militares. Si bien a lo largo del periodo de la Guerra Fría, tanto Estados Unidos como la Unión Soviética lucharon por consolidar una presencia espacial, esta competencia se restringió en gran medida a logros simbólicos, como la misión lunar, en lugar de un dominio militar explícito sobre el espacio exterior.

No obstante, en años recientes, el espacio ha transitado con rapidez de ser un espacio pasivo de exploración a convertirse en un espacio activo de conflicto estratégico. El cambio de concepción y visión del espacio se atribuye a la característica de doble uso inherente a la mayoría de las tecnologías espaciales, que pueden ser empleadas tanto para propósitos civiles como militares, y a la creciente dependencia de los activos espaciales para respaldar críticas operaciones de defensa. Esto se debe a que los satélites encargados de proporcionar posicionamiento global, comunicación y vigilancia se han convertido en un componente esencial de la estrategia militar contemporánea, facilitando una respuesta ágil, una dirección precisa y una inteligencia en tiempo real, que ninguna otra capacidad en tierra, mar o aire es capaz de igualar. En consecuencia, estas capacidades han consolidado la necesidad de los activos espaciales, no solo para la seguridad nacional, sino también para preservar las ventajas tecnológicas y económicas.

De allí que la armamentización espacial en el Siglo XXI ha sido catalizada por los progresos en las tecnologías antisatélite (ASAT) y la evolución de sistemas de defensa de misiles basados en el espacio, capaces de inutilizar

o destruir los satélites adversarios. Aunque inicialmente fue encabezada por una minoría de Estados, entre las que se incluyen Estados Unidos, Rusia y China, la propensión para militarizar el espacio ha crecido a medida que más actores estatales buscan proteger sus propios intereses espaciales o contrarrestar los de otros Estados. La CGP entre Estados Unidos y China por el control del espacio exterior representa una expresión contemporánea de la trampa de Tucídides, en la que una potencia emergente desafía a una ya consolidada, lo que frecuentemente origina tensiones y potenciales conflictos (Nawaz et. al, 2022).

Las aspiraciones espaciales de China se ven propulsadas por una amalgama de factores económicos, científicos y militares, ya que, en lo transcurrido del Siglo XXI, China ha transitado desde un programa espacial relativamente incipiente hacia la obtención de logros significativos, que incluyen misiones lunares exitosas, progresos en la tecnología satelital y el desarrollo de capacidades antisatélite (ASAT). En efecto, el ensayo ASAT de China en 2007 que resultó en la destrucción de uno de sus propios satélites meteorológicos y la generación de un considerable volumen de residuos espaciales, transmitió una señal inequívoca al mundo respecto a su intención de desarrollar y exhibir habilidades espaciales ofensivas (Drozhashchikh, 2018).

Este suceso, en conjunto con otras exhibiciones de las tecnologías espaciales militares de China, tales como sus progresos en los sistemas de defensa de misiles y en las interferencias de satélites, ha agudizado las inquietudes de Estados Unidos respecto a las intenciones de China en el espacio. A partir de ese momento, diversos Estados han realizado inversiones en habilidades espaciales tanto ofensivas como defensivas, interpretando el espacio no solo como un terreno elevado para la vigilancia, sino también como un escenario bélico donde los ataques a activos estratégicos podrían poner en riesgo las capacidades militares de un adversario.

En reacción, Estados Unidos ha implementado políticas que subrayan la supremacía espacial y el control estratégico. La Política Espacial Nacional de los Estados Unidos junto con la instauración de la Fuerza Espacial de los Estados Unidos evidencian un compromiso con la preservación de la supremacía estadounidense en el espacio y la garantía de que ningún adversario pueda minar sus habilidades militares. La Fuerza Espacial, con su responsabilidad de disuadir la agresión y defender los intereses de Estados Unidos y sus aliados en el espacio, representó una respuesta explícita a lo que Estados Unidos percibe como un ambiente espacial cada vez más competitivo y disputado, especialmente en vista del incremento de las capacidades chinas. No obstante, esta postura defensiva subraya también la relevancia de las

habilidades espaciales ofensivas, tales como las tecnologías ASAT y los sistemas de alerta de misiles basados en satélites, para neutralizar cualquier amenaza potencial derivada de los progresos de China.

La interacción entre Estados Unidos y China se caracteriza por la sospecha recíproca. Estados Unidos percibe los progresos militares espaciales de China como una amenaza directa a sus objetivos de seguridad nacional, mientras que China percibe las iniciativas estadounidenses de militarización espacial como una amenaza a su autonomía y seguridad estratégica. Esta discrepancia perceptiva, junto con la ausencia de transparencia en las operaciones espaciales, suscita un dilema de seguridad: las medidas adoptadas por cada nación para salvaguardar sus propios activos y prevenir la agresión, son interpretadas como agresivas por el adversario. Esto conduce a una intensificación de represalias, en la que cada entidad realiza inversiones significativas en habilidades defensivas y ofensivas, motivado por el temor a que la no adherencia al ritmo pueda resultar en vulnerabilidades estratégicas.

La relevancia del asunto es particularmente significativa debido al papel fundamental que los activos espaciales juegan en las operaciones militares contemporáneas. Los satélites suministran servicios fundamentales, que abarcan desde la navegación y la comunicación hasta la alerta temprana de misiles. Un conflicto que ponga en riesgo estos activos podría perturbar no solo las operaciones militares, sino también la infraestructura civil, incluyendo las redes de comunicación, los sistemas bancarios y las redes de electricidad. La dependencia de la infraestructura espacial de Estados Unidos y de China amplifica la repercusión de potenciales hostilidades, dado que cada nación reconoce que una incursión en sus activos espaciales podría comprometer severamente sus habilidades defensivas y ofensivas. Esta dependencia fomenta la salvaguarda de los activos de ambos Estados, pero simultáneamente estimula a cada actor a desarrollar habilidades capaces de desactivar o aniquilar los satélites adversarios en situaciones de crisis, lo que intensifica la probabilidad de conflicto.

Adicionalmente, las aspiraciones espaciales de China mantienen una estrecha relación con sus metas más amplias de revitalización nacional y autosuficiencia tecnológica, tal como se articula en su estrategia “Hecho en China 2025” y su visión a largo plazo de convertirse en un líder espacial global. La administración china ha destinado considerables recursos al desarrollo de tecnologías espaciales que podrían disminuir su dependencia de la tecnología foránea, tal como el sistema de navegación por satélite BeiDou, que proporciona una opción alternativa al sistema de posicionamiento global (GPS) operado por Estados Unidos. Este enfoque estratégico enfatiza la meta

de China de alcanzar la independencia tecnológica y establecerse como una potencia espacial preeminente, intensificando aún más la competencia con Estados Unidos.

Esta dinámica competitiva espacial entre Estados Unidos y China no es simplemente una manifestación de rivalidades geopolíticas terrestres; también evidencia un cambio esencial en los enfoques de la gobernanza espacial a nivel global. Tradicionalmente, Estados Unidos ha propugnado un orden basado en normas espaciales, aunque uno que garantice su función de liderazgo. En contraposición, China ha solicitado la implementación de nuevas regulaciones y convenios, como el Tratado para la Prevención de una Carrera Armamentista en el Espacio Exterior (PAROS), al que Estados Unidos ha resistido, interpretándolo como una restricción a sus habilidades espaciales. Esta discrepancia de puntos de vista incrementa la fricción, dado que China y Estados Unidos se esfuerzan por configurar el marco regulatorio que regula el espacio de forma que se alinee con sus intereses nacionales.

La ausencia de regulaciones establecidas y la transparencia en el espacio incrementan la probabilidad de errores computacionales. Si se produjera una colisión no intencionada de satélites o una maniobra mal interpretada, ambos Estados podrían encontrarse prontamente al borde del conflicto. La falta de protocolos de comunicación establecidos o un esquema formalizado de gestión de crisis para el espacio ultraterrestre incrementa la probabilidad de incidentes de escalada. Esta circunstancia, sustentada en la sospecha recíproca y la ambigüedad estratégica, representa un ejemplo clásico de la trampa de Tucídides, en la que las tensiones ascendentes y las presiones competitivas podrían desembocar en un conflicto que ninguna de las partes desea de manera explícita.

En consecuencia, la CGP del Siglo XXI ha reconfigurado el espacio exterior como un escenario potencial de conflicto. La ventaja estratégica conferida por los activos espaciales implica que cualquier Estado con la habilidad para degradar o aniquilar los satélites de un adversario adquiere una significativa superioridad militar. No obstante, estos progresos introducen nuevos riesgos, tales como los residuos derivados de las pruebas ASAT, que comprometen la sostenibilidad espacial y generan un ambiente de desconfianza y competencia incrementada. La ausencia de regulaciones y convenios internacionales explícitos para restringir las operaciones militares espaciales intensifica estos riesgos, generando un ambiente de seguridad inestable en el que las acciones de un Estado frecuentemente desencadenan contramedidas por parte de otros.

En conclusión, comprender las capacidades de armas espaciales de los actores emergentes, más allá de las potencias tradicionales de Estados Unidos y Rusia, es esencial para mantener la estabilidad estratégica, anticipar la dinámica de los conflictos y definir marcos eficaces de control de armas. A medida que Estados como China, India, Irán y Corea del Norte amplían sus programas contraespaciales (a menudo con tecnologías asimétricas o de doble uso), introducen nuevas variables en la arquitectura de seguridad global. Estos avances pueden alterar los equilibrios de poder regionales, aumentar el riesgo de una escalada involuntaria y complicar los cálculos de disuasión. Además, el seguimiento de las capacidades e intenciones de los nuevos participantes permite a los responsables políticos y analistas evaluar la eficacia de los regímenes jurídicos internacionales, identificar lagunas normativas y promover mecanismos de cooperación que impidan que el uso de armas en el espacio se convierta en una tendencia generalizada y desestabilizadora.

Capacidades espaciales de la República Popular de China

China se ha consolidado como uno de los actores más avanzados y asertivos en el desarrollo de capacidades antiespaciales. Estas capacidades abarcan desde interferencias electrónicas hasta armas ASAT y operaciones cibernéticas. El enfoque de China hacia las operaciones antiespaciales está profundamente arraigado en su más amplia estrategia de seguridad nacional. El Ejército Popular de Liberación (EPL) considera que el dominio espacial es crucial para ganar las guerras informatizadas modernas. Según la DIA (2022), el EPL enfatiza la integración de la guerra espacial, cibernética y electrónica en operaciones conjuntas, considerando los sistemas contraespaciales como herramientas para disuadir la intervención estadounidense y reducir su ventaja en conflictos regionales. El establecimiento de la Fuerza de Apoyo Estratégico del EPL en 2015 institucionalizó estas prioridades al consolidar la guerra espacial, cibernética y electrónica bajo una estructura de mando unificada (Nawaz et al., 2022).

Los teóricos militares chinos han declarado explícitamente que la destrucción o inutilización de los satélites estadounidenses degradaría significativamente las capacidades de combate estadounidenses, incluyendo las municiones guiadas de precisión y la percepción del campo de batalla en tiempo real. El énfasis del EPL en cegar y ensordecir al enemigo refleja una doctrina estratégica que considera las capacidades contraespaciales como un equalizador de fuerzas (Nawaz et al., 2022). Por consiguiente, la República Popular de China ha demostrado capacidades cinéticas contraespaciales avanzadas, incluyendo misiles ASAT de ascenso directo y operaciones de encuentro orbital y de

proximidad (OEP); la demostración más notable ocurrió en 2007, cuando China destruyó su propio satélite meteorológico, el Fengyun-1C, utilizando un misil de ascenso directo, lo que creó una gran y persistente nube de escombros en la órbita terrestre baja (LEO).

Según Swope et al. (2024), China continúa probando tecnologías relevantes para armas ASAT orbitales bajo el pretexto de misiones de mitigación de escombros espaciales y mantenimiento de satélites. Por ejemplo, el satélite Shijian-21 (SJ-21), inicialmente descrito como un sistema de remoción de escombros, realizó maniobras que podrían adaptarse para fines ofensivos, como el agarre o el reposicionamiento de satélites adversarios. Además, el par de satélites Shijian-12 demostraron maniobras sincronizadas cerca de satélites estadounidenses, lo que generó preocupación sobre el entrenamiento encubierto de OEP. Estas actividades indican los esfuerzos de China por poner en funcionamiento capacidades cinéticas en órbita sin infringir abiertamente las normas internacionales, manteniendo así una negación plausible.

Se cree que China opera múltiples sistemas láser terrestres capaces de dañar temporal o permanentemente los sensores satelitales. En 2023, imágenes satelitales del polígono de pruebas de Korla en Xinjiang revelaron una infraestructura compatible con sistemas láser de alta potencia. La evaluación de Bingen et al. (2023) indicó que dichos sistemas podrían utilizarse para deslumbrar o cegar los sensores electroópticos, socavando la IVR satelital. China también mantiene diversos sistemas de GE fijos y móviles. Estos pueden interferir o falsificar las señales de comunicación por satélite (SATCOM) y del sistema global de navegación por satélite (GNSS), incluidas las del GPS estadounidense y sus sistemas aliados. Por ejemplo, pilotos comerciales informaron de una interferencia significativa del GPS en la región del Indopacífico en 2023, que Swope et al. (2024) atribuyen a las fuerzas navales del EPL. El empleo de estos sistemas en tiempos de paz pone de relieve su doble función, tanto en la señalización estratégica como en la preparación para el campo de batalla.

Asimismo, las ciberoperaciones son un componente fundamental de la estrategia anti espacial de China. El informe de la DIA (2022) señala las intrusiones chinas en los sistemas satelitales estadounidenses, incluyendo ataques a la NOAA y a la infraestructura espacial de la India. Estas intrusiones buscan extraer datos, comprometer los sistemas de comando satelital e implantar malware para futuros sabotajes. Swope et al. (2024) destacan la campaña Volt Typhoon, atribuida a China, que atacó infraestructuras críticas en Guam y potencialmente comprometió las redes de comunicaciones

satelitales; esto ilustra la convergencia de los ámbitos cibernético y espacial en la planificación estratégica de China.

Además de sus capacidades cibernéticas ofensivas, la Republica Popular de China ha ampliado significativamente su infraestructura de conciencia situacional espacial (CSE), lo que le permite rastrear satélites extranjeros y anticipar operaciones espaciales. Según Swope et al. (2024), China opera radares terrestres, sensores ópticos y una creciente flota de buques y satélites CSE, lo que le permite apoyar la selección de objetivos y la evaluación de amenazas.

Finalmente, el desarrollo espacial de China se beneficia de un sólido ecosistema de fusión civil-militar. La Fuerza de Apoyo Estratégico, rebautizada en 2024 como la Fuerza Aeroespacial del EPL, lidera la integración operativa, mientras que empresas estatales como la Corporación de Ciencia y Tecnología Aeroespacial de China (CASC) y la Corporación del Grupo de Tecnología Electrónica de China (CETC), desarrollan tecnologías espaciales y de guerra electrónica. Agencias civiles como la Administración Nacional del Espacio de China (CNSA) y empresas comerciales estatales también contribuyen a las tecnologías de doble uso. Los proyectos GuoWang y G60 Starlink tienen como objetivo crear constelaciones masivas de banda ancha LEO, reflejando el potencial estratégico de sistemas estadounidenses como Starlink. Estas iniciativas se presentan como comerciales, pero tienen una evidente utilidad militar, especialmente en la redundancia de mando y control y en las redes de IVR.

En consecuencia, China ha desarrollado un conjunto completo de capacidades espaciales, que incluyen sistemas de guerra cinética, no cinética, cibernética y electrónica. Estas se sustentan en una doctrina estratégica coherente, estructuras organizativas integradas y una base industrial en rápido desarrollo. Si bien China continúa abogando por el uso pacífico del espacio en foros internacionales, sus acciones sugieren una estrategia de doble vía que se prepara para el conflicto espacial y, al mismo tiempo, utiliza la retórica diplomática para retrasar las contramedidas adversarias.

Capacidades espaciales de India

India se ha consolidado como una importante potencia espacial con crecientes capacidades antiespaciales, impulsada tanto por imperativos de seguridad regional como por sus aspiraciones de autonomía estratégica. Si bien India mantiene una postura formal que aboga por el uso pacífico del espacio exterior,

sus acciones (en particular la prueba ASAT de 2019), indican un cambio hacia el desarrollo de capacidades disuasorias creíbles en el espacio.

El desarrollo antiespacial de India está determinado por su rivalidad regional con China; la prueba ASAT china de 2007 fue un momento crucial para los planificadores de defensa indios, impulsando al gobierno a comenzar a evaluar seriamente sus propias opciones antiespaciales. Aunque India se ha opuesto tradicionalmente al uso de armas en el espacio ultraterrestre en foros internacionales, su demostración de ASAT de 2019, la Misión Shakti, marcó un claro cambio de política. De acuerdo con la DIA (2022), las autoridades indias enmarcaron la prueba como una respuesta mesurada y enfatizaron que no estaba dirigida contra ningún Estado en particular; la prueba también señaló la intención de India de consolidarse como un actor espacial responsable y capaz. Los documentos de defensa indios siguen enfatizando la importancia de la seguridad espacial, el conocimiento de la situación y el desarrollo de capacidades propias en el marco de la autonomía estratégica.

El logro más visible de India en el contraespacio es la exitosa prueba de ASAT de ascenso directo realizada el 27 de marzo de 2019. La prueba, que destruyó un satélite activo en órbita terrestre baja (LEO) a una altitud de aproximadamente 280 kilómetros, demostró la capacidad de India para neutralizar objetivos satelitales con precisión. Según Harrison et. al (2020), la prueba generó más de 100 fragmentos de escombros rastreables, lo que generó inquietud sobre la sostenibilidad espacial, aunque India afirmó que la baja altitud minimizaba los riesgos a largo plazo. El sistema ASAT utilizado en la Misión Shakti se basó en el misil Vehículo de Defensa Prithvi (PDV), el cual hace parte del programa de Defensa contra Misiles Balísticos de la India; esto subraya la naturaleza de doble uso del desarrollo de misiles indios y su integración con las capacidades espaciales.

La Organización de Investigación y Desarrollo de la Defensa (DRDO) desempeñó un papel central en la prueba, destacando la creciente madurez tecnológica de la India en sistemas de intercepción espacial. A pesar de la demostración, India no ha indicado planes para poner en funcionamiento una fuerza ASAT permanente. En cambio, su doctrina parece centrarse en la demostración tecnológica como disuasión más que en el despliegue. No obstante, la prueba confirmó la entrada de la India en el grupo de Estados con capacidades ASAT cinéticas, uniéndose a Estados Unidos, Rusia y China.

Además de las armas cinéticas, India también está invirtiendo en tecnologías no cinéticas contraespaciales; estas incluyen guerra electrónica, interferencias y capacidades cibernéticas que pueden interrumpir o

degradar los sistemas espaciales adversarios sin generar residuos. Según la DIA (2022), India está desarrollando sistemas que podrían afectar las comunicaciones satelitales y las señales de navegación, especialmente en un contexto regional. Se cree que el ejército indio posee sistemas móviles de interferencia terrestres capaces de interrumpir las señales SATCOM y GNSS. Estos sistemas están diseñados para contrarrestar las amenazas de los países vecinos y proporcionar resiliencia en escenarios de combate. India también está desarrollando capacidades para operaciones cibernéticas ofensivas que podrían utilizarse para atacar la infraestructura de comando y control satelital o los sistemas terrestres asociados. Cabe señalar que las operaciones cibernéticas contraespaciales forman parte de la estrategia más amplia de ciberdefensa de India, que incluye elementos tanto ofensivos como defensivos. La integración de las capacidades cibernéticas y espaciales refleja las tendencias globales y subraya el reconocimiento de India de la naturaleza interconectada de los conflictos modernos.

India también está desarrollando activamente sus capacidades de CSE para mejorar su capacidad de detectar y atribuir acciones hostiles en el espacio. En 2020, se estableció formalmente la Agencia Espacial de Defensa (DSA) para coordinar las actividades espaciales militares de los tres servicios. La DSA colabora estrechamente con la DRDO, la Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO) y otras partes interesadas para fortalecer la defensa espacial.

India también ha iniciado el desarrollo de una Célula Espacial Integrada y una infraestructura de CSE para monitorear objetos espaciales y amenazas potenciales. Según Swope et. al (2024), India ha establecido estaciones terrestres y sistemas de radar diseñados para apoyar las funciones de alerta temprana y seguimiento de objetivos. Estas capacidades son esenciales para la detección de amenazas y desempeñan un papel crucial en la planificación estratégica y las operaciones antiespaciales. El enfoque de India en el desarrollo autóctono, incluyendo la navegación por satélite (IRNSS/NavIC), la teledetección y las capacidades de lanzamiento, también contribuye a la resiliencia y autonomía espacial. Estos sistemas reducen la dependencia de infraestructura extranjera y mejoran la capacidad de India para operar de forma independiente en un entorno espacial disputado.

Por ende, las capacidades antiespaciales de India están evolucionando como parte de un cálculo estratégico más amplio que equilibra la disuasión, el avance tecnológico y el cumplimiento de las normas globales. Si bien India continúa abogando por el uso pacífico del espacio, su demostrada capacidad ASAT y sus inversiones en guerra electrónica y cibernética indican su preparación para

defender sus intereses en un ámbito cada vez más competitivo. La postura antiespacial de India sigue siendo mesurada y centrada en la región, con énfasis en la señalización estratégica en lugar de la proyección de fuerza. A medida que el espacio se vuelve fundamental para la guerra moderna, las capacidades antiespaciales de la India, junto con su desarrollo institucional y de seguridad espacial, la posicionan como un actor clave en la configuración de la arquitectura de seguridad espacial regional y global.

Capacidades espaciales de Irán y Corea del Norte

Mientras que Estados Unidos, Rusia, China e India dominan el discurso sobre las capacidades antiespaciales, actores emergentes como Irán y Corea del Norte desarrollan discretamente herramientas que representan amenazas asimétricas para los activos espaciales. Estos Estados carecen de infraestructura espacial avanzada, pero lo compensan con inversiones en guerra electrónica, capacidades cibernéticas y tecnologías basadas en misiles que podrían adaptarse para fines ASAT. En efecto, el interés de Irán en las capacidades antiespaciales se alinea con su doctrina más amplia de guerra asimétrica. Dada la superioridad convencional de sus adversarios regionales y de Estados Unidos, Irán busca explotar dominios no tradicionales (como el ciberespacio, los sistemas no tripulados y la guerra electrónica), para compensar sus desventajas militares. Según la DIA (2022), Irán considera el espacio como un símbolo de prestigio tecnológico y una herramienta de apoyo a las operaciones regionales, en particular mediante las comunicaciones y la vigilancia.

Las principales herramientas antiespaciales de Irán son la guerra electrónica (GE) y las operaciones cibernéticas. Swope et al. (2024) identifican a Irán como poseedor de equipos de interferencia capaces de interferir con las señales GPS y las comunicaciones satelitales. Las fuerzas iraníes han demostrado previamente la capacidad de interferir y suplantar los sistemas de navegación, como durante el derribo en 2011 de un dron estadounidense RQ-170, que Irán afirmó haber desviado utilizando señales satelitales falsificadas (Johnson-Freese, 2017). Estas técnicas tienen una aplicación directa en los activos espaciales, especialmente en conflictos tácticos o regionales.

En el ámbito cibernético, actores iraníes patrocinados por el Estado han llevado a cabo campañas contra infraestructura crítica, incluyendo redes aeroespaciales y satelitales. Los grupos Charming Kitten y APT33 han atacado entidades tanto occidentales como de Oriente Medio. Si bien estas acciones no han resultado públicamente en violaciones del control satelital,

sí subrayan la creciente capacidad de Irán para llevar a cabo operaciones disruptivas en el ciberespacio (DIA, 2022). El desarrollo iraní de vehículos de lanzamiento espacial, como el Simorgh y el Safir, también tiene implicaciones de doble uso. Las tecnologías que sustentan estos sistemas de lanzamiento se superponen significativamente con las requeridas para las armas ASAT de ascenso directo. Si bien no se ha atribuido a Irán ninguna prueba cinética de ASAT, su programa de misiles balísticos, uno de los más avanzados de Oriente Medio, podría adaptarse para misiones antiespaciales rudimentarias.

Por su parte, el interés de Corea del Norte en las armas espaciales es coherente con su objetivo de disuadir la intervención externa y demostrar su capacidad tecnológica. Si bien sus programas espaciales y de misiles están bajo un intenso escrutinio internacional, Pyongyang ha priorizado el desarrollo de capacidades de lanzamiento de satélites y herramientas de interrupción electrónica para desafiar a los adversarios regionales y mejorar la potencia de la señal. La DIA (2022) informa que Corea del Norte considera los satélites como herramientas cruciales para la IVR y la alerta temprana. Si bien ha tenido un éxito limitado en el despliegue de satélites operativos (su serie de satélites Kwangmyŏngsŏng ha mostrado resultados dispares), continúa invirtiendo en tecnologías espaciales; estos esfuerzos apoyan objetivos tanto civiles como militares.

Corea del Norte también es conocida por el uso de interferencias de radiofrecuencia, especialmente a lo largo de su frontera con Corea del Sur. Según Swope et. al (2024), Corea del Norte ha interferido repetidamente con las señales GPS, afectando a la aviación civil y la navegación marítima en el nordeste asiático. Estas operaciones de interferencia sirven como demostraciones reales de la capacidad y la disposición de Corea del Norte para interrumpir los sistemas espaciales en tiempos de paz. Los mismos sistemas que atacan las señales GNSS pueden dirigirse a herramientas militares de navegación y selección de blancos, lo que los hace potentes en conflictos de baja intensidad o como mecanismo de disuasión. La inversión de Corea del Norte en GE es particularmente preocupante dada su capacidad para actuar de forma impredecible y su falta de adhesión a las normas internacionales.

Las unidades cibernéticas norcoreanas, en particular el Grupo Lazarus, han llevado a cabo intrusiones sofisticadas en los sectores financiero y de defensa. Si bien la mayoría de los casos documentados no involucran sistemas espaciales, la experiencia técnica demostrada en estos ataques sugiere el potencial de atacar redes de control terrestre de satélites o infraestructura de comunicaciones. La ambigüedad estratégica de las intenciones de Corea del Norte, sumada a su limitada transparencia, dificulta evaluar el alcance total

de sus ambiciones antiespaciales; sin embargo, su búsqueda de capacidades de lanzamiento espacial, herramientas cibernéticas ofensivas y sistemas de guerra electrónica apunta a una doctrina que incluye elementos antiespaciales, especialmente en escenarios donde la escalada pueda contribuir a la supervivencia del régimen o a su influencia diplomática.

En conclusión, Irán y Corea del Norte quizá no posean los extensos arsenales antiespaciales de las potencias más avanzadas, pero han desarrollado capacidades asimétricas que pueden debilitar los sistemas espaciales. Su enfoque en interferencias, suplantación de identidad, operaciones cibernéticas y tecnologías de misiles de doble uso les permite interrumpir o denegar servicios espaciales durante un conflicto. Estas capacidades tienen un enfoque regional, pero tienen implicaciones globales, especialmente para las redes satelitales involucradas en C4ISR, navegación y alerta temprana.

La utilidad estratégica de estas herramientas no reside en lograr el dominio espacial, sino en complicar el entorno operativo para los adversarios, introduciendo incertidumbre y aumentando el coste de la intervención militar. A medida que el espacio se vuelve más disputado, comprender el papel de actores emergentes como Irán y Corea del Norte es esencial para gestionar los riesgos de escalada y reforzar las normas globales para un comportamiento espacial responsable.

Los desafíos legales y normativos de la armamentización espacial

El Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967 (TEU) continúa constituyéndose como el marco jurídico fundamental que rige las actividades en el espacio ultraterrestre (Álvarez y Corredor, 2019). Celebrado por sus principios de uso pacífico, no apropiación y cooperación, el TEU representó un logro histórico durante la Guerra Fría. Empero, a medida que las nuevas realidades estratégicas, tecnológicas y geopolíticas configuran el espacio ultraterrestre en el siglo XXI, las limitaciones del tratado para prevenir la armamentización del espacio se han hecho cada vez más evidentes.

Una de las limitaciones más significativas del TEU es su lenguaje vago y anticuado, que permite una amplia interpretación. Si bien el tratado prohíbe

el emplazamiento de armas de destrucción masiva en órbita, no prohíbe las armas convencionales en el espacio. Además, la cláusula que promueve el “uso pacífico” del espacio es particularmente problemática; como señalan

Johnson-Freese y Burbach (2019), “pacífico” no es sinónimo de “no militar”. De hecho, el tratado permite diversos usos militares, siempre que no impliquen armas de destrucción masiva; esta ambigüedad ha permitido la proliferación de tecnologías de doble uso con aplicaciones tanto civiles como militares, difuminando la línea entre fines pacíficos y hostiles. Adicionalmente, el TEU no se pronuncia sobre el uso de sistemas ASAT, cinéticos o no cinéticos, ni sobre otras tecnologías emergentes como las ciberarmas o los sistemas de energía dirigida. Las zonas grises legales han permitido a las grandes potencias, en particular a los Estados Unidos, Rusia, China y, más recientemente, India, desarrollar y probar capacidades ASAT sin violar la letra de la ley, aunque socavando claramente su espíritu.

Otro desafío crítico que el TEU no aborda es la naturaleza de doble uso de las tecnologías espaciales. Tecnologías como la maniobra satelital, el rastreo láser y los sistemas de defensa antimisiles pueden tener propósitos benignos, incluso beneficiosos. Sin embargo, estas mismas capacidades también pueden servir como herramientas ofensivas. Johnson-Freese y Burbach (2019) subrayan este dilema con ejemplos como la Operación Burnt Frost (2008), cuando Estados Unidos utilizó sistemas de defensa antimisiles para destruir un satélite inactivo; si bien se planteó como una medida de seguridad, la operación demostró capacidades ASAT que podrían interpretarse como un armamento.

La ausencia de criterios técnicos o de comportamiento claros para definir qué constituye un “arma espacial” agrava significativamente el problema. Como lo señala Moltz (2024), las definiciones varían y a menudo son objeto de controversia política; el resultado es un entorno estratégico donde la transparencia es baja, la atribución es difícil y el pensamiento del peor escenario domina la planificación militar, condiciones propicias para la carrera armamentista y la escalada.

Otra limitación fundamental del TEU reside en su incapacidad para evolucionar con las dinámicas geopolíticas cambiantes. Es improbable que se modifique el tratado debido al requisito de consenso entre las partes y a la creciente desconfianza entre las principales potencias espaciales. Johnson-Freese y Burbach (2019) argumentan que el control de armas espaciales actual se encuentra atrapado en una trampa de *realpolitik*, donde la ventaja estratégica prevalece sobre la moderación cooperativa. El caso de la prueba ASAT de India en 2019 es ilustrativo; impulsada por la competencia regional con China y el deseo de lograr paridad estratégica, India justificó la prueba utilizando el lenguaje de la autodefensa y la soberanía tecnológica. La moderada respuesta de Estados Unidos, en comparación con su reacción a la prueba ASAT de China

en 2007, refleja una diplomacia selectiva moldeada por alianzas estratégicas en lugar de principios legales. Esta asimetría socava la legitimidad del Tratado de Control de Armamentos y desalienta el cumplimiento por parte de las potencias espaciales emergentes que temen quedarse atrás.

El rechazo de Estados Unidos a los tratados de control de armas propuestos por China y Rusia (debido a las preocupaciones sobre la verificación y la exclusión de los sistemas terrestres) ilustra aún más cómo la desconfianza geopolítica obstaculiza el desarrollo de tratados. En lugar de fortalecer la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas (UNOOSA), las tendencias actuales sugieren un cambio hacia el unilateralismo, el desarrollo militar y la controversia sobre las normas. Cabe recordar que el TEU carece de mecanismos de aplicación. No existe un órgano institucional permanente que supervise el cumplimiento ni resuelva controversias. Si bien la UNOOSA promueve la coordinación y la transparencia, carece de mandato y capacidad para vigilar las violaciones. La dependencia de la autodeclaración y el cumplimiento voluntario crea un vacío de rendición de cuentas.

Con base en lo anterior, Klein (2024), Bowen (2022) y Moltz (2024) coinciden en que los marcos jurídicos vigentes (en particular el TEU), son obsoletos e inadecuados. Klein (2024) y Moltz (2024) enfatizan la necesidad de nuevos acuerdos sobre normas de conducta, transparencia y uso responsable del espacio, mientras que Bowen (2022) critica el idealismo de las normas jurídicas actuales, argumentando que las realidades estratégicas siempre influirán en el comportamiento más que los tratados. Moltz (2024) sugiere que las potencias intermedias y los actores comerciales podrían impulsar nuevas formas de gobernanza mediante coaliciones, códigos de conducta y mecanismos de verificación; sin embargo, el camino hacia el control de armamentos espaciales sigue siendo incierto debido a la profunda desconfianza entre las grandes potencias.

Los esfuerzos para promover el derecho indicativo (*soft law*) mediante normas voluntarias de comportamiento, como las directrices de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos de la ONU (COPUOS), sobre la sostenibilidad a largo plazo del espacio, han tenido un éxito limitado. Como observan Johnson-Freese y Burbach (2019), estas iniciativas siguen siendo marginales en la planificación de la defensa nacional y son vulnerables a los cambios políticos. Además, los Estados poderosos suelen manipular dichas normas para preservar su libertad de acción, lo que da lugar a acusaciones de hipocresía estratégica. Sin acuerdos vinculantes, mecanismos de verificación ni confianza mutua, el espacio sigue siendo un ámbito predominantemente ofensivo, donde la capacidad de ataque supera

con creces la capacidad de defensa. En un entorno así, la disuasión se vuelve inestable y los errores de cálculo en las crisis se vuelven más probables.

En resumen, el TEU, si bien históricamente significativo, es cada vez más insuficiente para regular las realidades estratégicas del espacio en el siglo XXI. Su lenguaje impreciso, la falta de abordaje de las tecnologías de doble uso, la falta de aplicación y el estancamiento político entre las principales potencias limitan su eficacia para prevenir la militarización del espacio. No obstante, el tratado sigue siendo una base valiosa sobre la que se pueden construir nuevos marcos, mediante protocolos, normas y la diplomacia de las potencias intermedias. A medida que el espacio adquiere un papel más central para la seguridad global, la necesidad de una gobernanza clara, creíble y cooperativa se hace cada vez más urgente.

Control de armamentos en el espacio

Según Khalid (2021), uno de los principales desafíos del control de armamentos espaciales reside en la naturaleza fragmentada del régimen jurídico. No existe un tratado único e integral que prohíba todas las formas de uso de armas en el espacio. En cambio, las disposiciones se encuentran dispersas en diversos instrumentos: el Tratado de Prohibición Parcial de los Ensayos Nucleares (1967), el Tratado de Prohibición Parcial de los Ensayos Nucleares (1963), el Acuerdo sobre la Luna (1979) e instrumentos propuestos como la Prevención de la Carrera Armamentista en el Espacio Ultraterrestre (PAROS) y el proyecto de Tratado para la Prevención del Emplazamiento de Armas en el Espacio Ultraterrestre (PPWT). Estos instrumentos varían en cuanto a su fuerza vinculante y participación estatal.

Khalid (2021) enfatiza que el Artículo IV del Tratado de Prohibición de los Ensayos Nucleares prohíbe las armas de destrucción masiva en el espacio, pero permite las armas convencionales y la mayoría de las tecnologías de doble uso. De igual manera, el Acuerdo sobre la Luna busca limitar las actividades militares en cuerpos celestes, pero carece de una amplia ratificación. La falta de definiciones claras (por ejemplo, qué constituye un arma espacial) y de mecanismos de verificación limita aún más su aplicación y permite maniobras estratégicas.

Por su parte, Peoples (2011) introduce el concepto de securitización para explicar el estancamiento político en torno al control de armas espaciales. Basándose en la Escuela de Copenhague, argumenta que la concepción del espacio exterior como un ámbito de amenaza existencial ha propiciado un discurso excepcionalista, especialmente en la política estadounidense. A

medida que Estados Unidos vincula cada vez más el espacio a la supervivencia nacional y la supremacía tecnológica, se resiste a las restricciones legales a su libertad de acción. Esta securitización, si bien políticamente efectiva, dificulta el consenso sobre las iniciativas multilaterales de control de armamentos. Peoples (2011) también señala la persistente ambigüedad definitoria en el discurso sobre política espacial. Las disputas sobre qué constituye el armamentismo, especialmente con ASAT terrestres y armas no cinéticas, obstruyen las negociaciones de tratados; además, las objeciones de Estados Unidos al PPWT por motivos de verificación reflejan una profunda desconfianza y asimetrías de poder.

Dadas las dificultades para negociar tratados vinculantes, tanto Khalid (2021) como Peoples (2011) señalan la creciente relevancia de los mecanismos de derecho indicativo. Las medidas de fomento de la confianza, los códigos de conducta (por ejemplo, el Código de Conducta Internacional de la Unión Europea), y las iniciativas de transparencia, ofrecen herramientas pragmáticas para reducir las percepciones erróneas y generar confianza. Sin embargo, estas iniciativas siguen sin ser vinculantes y a menudo carecen de aplicación.

En conclusión, los regímenes jurídicos actuales que rigen el espacio ultraterrestre siguen siendo inadecuados para controlar la creciente militarización y el armamentismo espacial. La fragmentación, la ambigüedad en las definiciones y la desconfianza geopolítica siguen obstaculizando el progreso. La securitización del espacio ha arraigado discursos nacionalistas sobre seguridad, especialmente en las potencias espaciales dominantes, lo que reduce las perspectivas de un control de armamentos sólido. No obstante, el progreso gradual mediante el derecho indicativo, el diálogo entre civiles y militares y la colaboración con las potencias intermedias ofrece un camino a seguir. Fortalecer el marco jurídico para la seguridad espacial requiere no solo innovación jurídica, sino también una reformulación del espacio como un ámbito de gestión colectiva en lugar de una rivalidad estratégica.

Conclusiones

La consolidación del espacio ultraterrestre como un dominio estratégico de competencia y confrontación en el siglo XXI ha transformado radicalmente la arquitectura de la seguridad internacional. Lejos de constituir un entorno exclusivamente científico o exploratorio, el espacio se ha convertido en un teatro de operaciones donde convergen intereses militares, tecnológicos, económicos y geopolíticos. La evolución de la militarización hacia la

armamentización del espacio, como se evidencia en el desarrollo y prueba de capacidades ASAT, ciberataques, armas de energía dirigida y operaciones de proximidad orbital, refleja una dinámica en la cual la disuasión, el control de acceso y la superioridad tecnológica se convierten en elementos clave de la estrategia estatal.

Las dimensiones analíticas de la armamentización propuestas por Mueller (2003) permiten comprender este fenómeno como un proceso gradual y multifacético que abarca desde la localización de las armas (basing) hasta su utilidad estratégica. Este enfoque evidencia que la amenaza espacial no radica únicamente en sistemas desplegados de forma visible, sino en la proliferación de tecnologías duales, doctrinas ofensivas y mecanismos de ataque ambiguos que dificultan la verificación, la atribución y la gobernanza legal. En este contexto, la discriminación técnica de los sistemas, sus efectos reversibles o irreversibles y su capacidad ofensiva o defensiva son dimensiones críticas para evaluar los riesgos estratégicos de una escalada.

Las perspectivas teóricas de Klein (2024), Bowen (2022) y Moltz (2024) enriquecen este diagnóstico al aportar modelos interpretativos complementarios: Klein enfatiza la lógica de la disuasión y el control estratégico; Bowen subraya la infraestructura y la geografía orbital como vectores de poder; mientras que Moltz destaca el papel de las normas, la diplomacia y la cooperación cívico-militar como herramientas de contención. Juntas, estas visiones convergen en una advertencia común: el espacio, aunque tecnológicamente innovador, es un dominio profundamente político, donde la incertidumbre estratégica y la ausencia de acuerdos vinculantes incrementan el riesgo de conflicto inadvertido o deliberado.

En consecuencia, el actual escenario espacial se caracteriza por una competencia estratégica entre grandes potencias, especialmente entre Estados Unidos y China, que reproduce dinámicas propias de la “trampa de Tucídides”. Esta competencia, alimentada por percepciones de amenaza mutua y la ausencia de transparencia, ha llevado a una rápida expansión de capacidades contraespaciales que erosiona la confianza interestatal y debilita los esfuerzos de gobernanza global.

Frente a este panorama, resulta imperativo fortalecer los mecanismos de cooperación internacional, establecer códigos de conducta comunes, fomentar medidas de fomento de la confianza y promover un régimen normativo que regule no solo el uso de armas espaciales, sino también las tecnologías de doble uso. Comprender las capacidades contraespaciales emergentes de actores como China, India, Irán y Corea del Norte no solo es vital para la

disuasión y la planificación estratégica, sino también para salvaguardar el carácter sostenible, seguro y pacífico del espacio exterior en beneficio de toda la humanidad.

A medida que el espacio ultraterrestre se vuelve cada vez más crítico para la seguridad nacional y los asuntos internacionales, distinguir entre los conceptos de militarización y armamentización espacial es esencial para la formulación de políticas informadas y el debate académico. Aunque a menudo se usan indistintamente en el discurso público, estos términos denotan diferentes niveles y formas de intervención militar en el ámbito espacial, cada uno con distintas implicaciones legales, estratégicas y normativas.

La militarización del espacio se refiere al uso de sistemas espaciales para apoyar las operaciones militares en la Tierra. Esto incluye satélites de comunicación, navegación, reconocimiento, alerta temprana y observación meteorológica; y si bien estos sistemas son operados por entidades militares, no están diseñados para ejercer fuerza destructiva. Desde el lanzamiento de los primeros satélites militares durante la Guerra Fría, el espacio ha estado profundamente militarizado. Hoy en día, casi todas las fuerzas militares modernas dependen de servicios espaciales para mejorar el mando y control, el conocimiento de la situación y la precisión en la puntería. Es importante destacar que la militarización no está prohibida explícitamente por el derecho internacional y se acepta ampliamente como un uso legítimo del espacio ultraterrestre en virtud del Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967, siempre que dichas actividades tengan fines pacíficos y no sean de naturaleza agresiva.

En cambio, la armamentización del espacio implica el emplazamiento o uso de armamento en el espacio (o el ataque a sistemas espaciales desde la Tierra), capaces de aplicar fuerza cinética, electromagnética o de otro tipo contra objetivos en el espacio, la atmósfera o la Tierra. Esto incluye armas ASAT, armas espacio-Tierra (STEW) o cualquier despliegue a largo plazo de capacidades ofensivas en órbita. A diferencia de la militarización, la armamentización traspasa un umbral normativo y estratégico que genera temores de carrera armamentística, desestabilización y la transformación del espacio de un ámbito de apoyo a un campo de batalla disputado. El Tratado del Espacio Ultraterrestre prohíbe el emplazamiento de armas de destrucción masiva en órbita, pero no prohíbe explícitamente las armas convencionales ni los sistemas ASAT, lo que deja margen para la ambigüedad jurídica y las maniobras estratégicas.

Comprender esta distinción es fundamental para definir las normas globales y evitar la escalada en el espacio (Peoples, 2008). Si bien la militarización

se ha convertido en un componente consolidado de la defensa moderna, el armamentismo sigue siendo una vía polémica y potencialmente escalable. Preservar el espacio como un ámbito seguro y sostenible depende de mantener esta claridad conceptual y de reforzar los esfuerzos diplomáticos para evitar que se cruce el umbral del armamentismo. Con base en lo anterior, en las últimas décadas, el debate sobre la armamentización del espacio exterior se ha intensificado, impulsado por los avances en la tecnología espacial militar, la competencia estratégica y la creciente dependencia global de los sistemas espaciales; por consiguiente, una de las preguntas más persistentes y polarizantes en este discurso es si la armamentización espacial es inevitable.

Una afirmación popular es que la militarización es una extensión de la naturaleza humana: dondequiera que vayan los humanos, las armas los siguen. Esta visión suele ir acompañada de escepticismo respecto al control de armamentos, lo que implica que todos los ámbitos, incluido el espacio, serán inevitablemente militarizados. Sin embargo, Mueller (2003) cuestiona esta visión citando contraejemplos como el régimen del Tratado Antártico, que ha prohibido con éxito la actividad militar en la Antártida durante décadas. Además, diversos tipos de armas, incluyendo armas químicas y biológicas y minas terrestres antipersonal, han sido estigmatizadas y restringidas internacionalmente, lo que sugiere que las normas sociales y la voluntad política pueden influir en la proliferación de armamento. Por lo tanto, si bien los patrones históricos ofrecen advertencias, no establecen una ruta determinista para el armamentismo espacial.

Otra corriente de pensamiento sobre la inevitabilidad se centra en el creciente valor económico y militar de los satélites y otros sistemas espaciales. A medida que los actores comerciales y gubernamentales se vuelven más dependientes de la infraestructura espacial para las comunicaciones, la navegación, la vigilancia y la predicción meteorológica, se argumenta que los adversarios naturalmente buscarán atacar estos recursos, lo que requerirá el desarrollo de armas espaciales defensivas y ofensivas. Sin embargo, Mueller argumenta que no todas las vulnerabilidades requieren respuestas espaciales. Sugiere que reforzar los sistemas espaciales, invertir en redundancia y mejorar las defensas terrestres puede ser más efectivo y menos escalable que desplegar armas espaciales. Por lo tanto, la importancia económica por sí sola no convierte el armamentismo espacial en una necesidad.

Quizás el argumento más sólido a favor de la inevitabilidad del armamento espacial sea su potencial utilidad militar. Desde esta perspectiva, los conflictos futuros podrían implicar ataques a satélites que proporcionan apoyo crucial para el comando, control, comunicaciones, inteligencia, vigilancia y

reconocimiento (C4ISR). Además, las armas espacio-Tierra podrían ofrecer nuevas opciones estratégicas para ataques globales o defensa antimisiles. Sin embargo, Mueller enfatiza que, si bien la lógica militar puede favorecer las armas espaciales en condiciones específicas, esto no significa que su desarrollo sea universalmente racional ni estratégicamente acertado. Muchos adversarios potenciales podrían optar por estrategias asimétricas o terrestres para neutralizar las ventajas espaciales en lugar de apresurarse a desplegar armas orbitales. En consecuencia, la suposición de que el armamento espacial se derivará naturalmente de la necesidad militar ignora las alternativas estratégicas y subestima la diversidad de percepciones y doctrinas nacionales sobre las amenazas.

Una contribución clave del análisis de Mueller es la afirmación de que la armamentización espacial no está predeterminada, sino que es una construcción social. El umbral que define qué constituye la armamentización, y si traspasarlo es aceptable, se define por percepciones compartidas, marcos legales y comportamiento político. El despliegue de ASATs de ascenso directo o tecnologías de doble uso no implica automáticamente que el espacio se haya irrevocablemente armamentizado. Más bien, la interpretación que los Estados y las sociedades hagan de estos desarrollos determinará la trayectoria futura de las actividades militares espaciales; este reconocimiento subraya la importancia de la diplomacia, la transparencia y la elaboración de normas como herramientas para influir en el comportamiento de los Estados y mantener el espacio como un ámbito de relativa paz.

Si bien existen argumentos convincentes que justifican la armamentización del espacio, Mueller (2003) afirma que ninguno de ellos prueba que deba ocurrir. La creencia en su inevitabilidad sirve más como justificación para la militarización preventiva que como una observación neutral de las tendencias geopolíticas. Por lo tanto, los responsables políticos deben resistirse a las suposiciones fatalistas y abordar con mayor rigor las implicaciones estratégicas, éticas y diplomáticas de la militarización del espacio. En lugar de rendirse al determinismo tecnológico o al miedo geopolítico, aún existe la oportunidad de moldear el futuro de la seguridad espacial mediante decisiones deliberadas, marcos de cooperación y una prudente moderación. En otras palabras, la trayectoria del armamentismo espacial no es fija; es una cuestión de iniciativa humana, visión política y responsabilidad global.

Referencias bibliográficas

- Allen, P. y Gilbert, D. (2009). The information sphere domain: increasing understanding and cooperation. En Czosseck, C. y Geers, K. (Eds.), *The virtual battlefield: perspectives on cyber warfare* (pp. 132-142). IOS Press.
- Álvarez, C. y Corredor, C. (2019). El Espacio Ultraterrestre y el Derecho Internacional. En Álvarez, C. y Corredor, C. (Eds.), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia (2da Ed.), Volumen 1: Mirando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana* (pp. 223-269). Planeta.
- Álvarez, C. y Quiroga, R. (2019). Programas Espaciales de Europa, Estados Unidos de América, Federación Rusa y República Popular de China. En Álvarez, C. y Corredor, C. (Eds.), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia (2da Ed.), Volumen 1: Mirando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana* (pp. 325-378). Planeta.
- Álvarez, C. y Correcha, Y. (2022). Poder mul-tidominio: visión estratégica de la Fuerza Aérea Colombiana en el siglo XX. En Baquero, F. (Ed.), *Poder aéreo, espacial y ciberespacial frente a desafíos y amenazas multidimensionales que afectan al Estado colombiano* (pp. 209-249). Sello Editorial ESDEG.
- Bingen, K.; Johnson, K. y Young, M. (2023). *Space Threat Assessment 2023*. CSIS Aerospace Security Project.
- Bowen, B. (2020). *War in Space: Strategy, Spacepower, Geopolitics*. Edinburgh University Press.
- Bowen, B. (2022). *Original Sin: Power, Technology, and War in Outer Space*. Oxford University Press.
- DIA (2022). *Challenges to Security in Space 2022: Space Reliance in an Era of Competition and Expansion*. Defense Intelligence Agency.
- Dolman, E. (2001). *Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age*. Routledge.
- Drozhashchikh, E. (2018). China's National Space Program and the "China Dream." En *Astropolitik*, 16(3), 175-186.

- Grego, L. (2020). A History of Anti-Satellite Weapons and Their Implications for Future Security. En *Bulletin of the Atomic Scientists*, 76(5), 273-280.
- Hammack, K. (2021). International Relations in Space: The Role of Miscalculation, Militarization, and Weaponization. En *Astropolitics*, 19(3), 230-236.
- Harrison, T.; Johnson, K. y Roberts, S. (2018). *Space Threat Assessment 2018*. CSIS Aerospace Security Project.
- Harrison, T.; Johnson, K. y Roberts, S. (2019). *Space Threat Assessment 2019*. CSIS Aerospace Security Project.
- Harrison, T.; Johnson, K.; Roberts, S.; Way, T. y Young, M. (2020). *Space Threat Assessment 2020*. CSIS Aerospace Security Project.
- Harrison, T.; Johnson, K.; Moye, J. y Young, M. (2021a). *Space Threat Assessment 2021*. CSIS Aerospace Security Project.
- Harrison, T.; Johnson, K. y Young, M. (2021b). *Defense Against the Dark Arts in Space: Protecting Space Systems from Counterspace Weapons*. CSIS Aerospace Security Project.
- Harrison, T.; Johnson, K.; Young, M.; Wood, N. y Goessler, A. (2022). *Space Threat Assessment 2022*. CSIS Aerospace Security Project.
- Johnson-Freese, J. (2017). *Space Warfare in the 21st Century: Arming the Heavens*. Routledge.
- Johnson-Freese, J., y Burbach, D. (2019). The Outer Space Treaty and the weaponization of space. En *Bulletin of the Atomic Scientists*, 75(4), 137-141.
- Khalid, M. (2021). Space Legal Regimes, Militarization, and Weaponization of Outer Space. En *Astropolitics*, 19(1-2), 128-144.
- Klein, J. (2024). *Space Warfare: Strategy, Principles and Policy*, 2nd ed. Routledge.
- Klein, J. (2019). *Understanding Space Strategy: The Art of War in Space*. Routledge.
- Moltz, J. (2024). *Crowded Orbits: Conflict and Cooperation in Space*, 2nd ed. Columbia University Press.

- Mueller, K. (2003). Totem and Taboo: Depolarizing the Space Weaponization Debate. En *Astropolitics*, 1(1), 4-28.
- Nawaz, R.; Bilal, A. y Rehman, M. (2022). United States-China Space Offensive: A Dangerous Competition. En *Astropolitics*, 20(1), 27-42.
- Peoples, C. (2008). Assuming the Inevitable? Overcoming the Inevitability of Outer Space. En Weaponization and Conflict. En *Contemporary Security Policy*, 29(3), 502-520.
- Peoples, C. (2011). The Securitization of Outer Space: Challenges for Arms Control. En *Contemporary Security Policy*, 32(1), 76-98.
- Stares, P. (1985). *The Militarization of Space: U.S. Policy, 1945-1984*. Cornell University Press.
- Swope, C.; Bingen, K.; Young, M.; Chang, M.; Songer, S. y Tammelleo, J. (2024). *Space Threat Assessment 2024*. CSIS Aerospace Security Project.
- United Nations. (1967). *Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies*.
- Weeden, B. y Samson, V. (2020). Global Counterspace Capabilities: An Open Source Assessment. Secure World Foundation.
- Wright, D.; Grego, L. y Gronlund, L. (2018). *The physics of space security: A reference manual*. American Academy of Arts and Sciences

CAPÍTULO 3.

Militarización Espacial: Supervivencia Humana respecto a la Seguridad Nacional²³

David Barrero-Barrero²⁴

Fabio Baquero Valdés²⁵

CR. Naily Akid Ganem Hernández²⁶

Escuela Superior de Guerra “Rafael Reyes Prieto”

Resumen: La militarización del espacio, con su potencial para desatar el uso de armas de destrucción masiva, representa no solo una amenaza tangible para la seguridad global, sino también un giro alarmante hacia un escenario de confrontación que trasciende las fronteras terrestres. El despliegue de armamento en el espacio ultraterrestre no solo intensifica las tensiones geopolíticas, sino que plantea un riesgo existencial directo para la humanidad. El objetivo del presente capítulo es el de proporcionar un análisis acerca de esta complejidad multifacética, a través de la evaluación del rol de la militarización

- 23 Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación “Desafíos futuros en los dominios aéreo, ciberespacial y espacial por la aplicación de la inteligencia artificial en la transición de la revolución industrial (5.0)” del grupo de investigación “Masa Crítica” de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, categorizado en A1 por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL0123247. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.
- 24 Doctor en Bioética, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia; Master of Science in Inter-American Defense and Security, Colegio Interamericano de Defensa; Magister en Seguridad y Defensa; Coronel de la Reserva de la Fuerza Aérea Colombiana; Administrador Aeronáutico, y docente e investigador junior, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Orcid: Código ORCID:0000-0003-0412-1371. Contacto: david.barrero@esdeg.edu.co.
- 25 Coronel de la Reserva de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Administrador Aeronáutico. Magister en Educación de la Universidad Santo Tomás, Docente Ocasional Asociado e Investigador Junior Min ciencias del Grupo “Masa Crítica” en la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Colombia. Código ORCID: 0000-0002-5509-322X. Contacto: fabio.baquero@esdeg.edu.co.
- 26 Coronel de la Fuerza Aérea Colombiana, alumno de la Maestría en Estrategia y Geopolítica en la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Especialista en Seguridad y Defensas Nacionales de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Administrador Aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”. Actualmente Jefe del Departamento de la Fuerza Aérea en la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Código ORCID: 0009-0004-0810-8689. Contacto: naily.ganem@esdeg.edu.co.

espacial en la disuasión y la estabilidad estratégica en las zonas grises, el planteamiento de los riesgos asociados con la escalada armamentística en el espacio; con afectación directa en la vida y supervivencia humana, para proponer algunas vías para la desmilitarización del espacio y su escalada armamentista, que permitan replantear como meta final, el uso pacífico del espacio.

Palabras clave: Militarización espacial, Seguridad nacional, Dinámicas sociopolíticas, Fronteras.

Introducción

Militarizar el espacio hace referencia a la utilización de este dominio con fines militares, como consecuencia del desarrollo, pruebas e implementación de una gran variedad de tecnologías y sistemas de defensa, ataque y vigilancia desde el espacio extraterrestre como los satélites de reconocimiento y vigilancia, empleados para recolectar información y hacer monitoreo de todas las actividades que puedan suceder en la Tierra en tiempo real, además de suministrar imágenes datos e información importante para la seguridad nacional de cualquier país.

Otra implementación, son los satélites militares de comunicación, los que prestan sus servicios a las fuerzas armadas de un país, en la transmisión de datos, órdenes y cualquier información. También esta militarización, comprende los misiles antisatélite (ASAT por sus siglas en inglés), definidos como “un dispositivo que hace un satélite inoperante al negar su funcionalidad” (Johnson-Freese en Yagües, 2018, p. 179), los cuales, como sistemas cinéticos y no cinéticos, están diseñados para incapacitar o destruir satélites en órbita, y que pueden ser lanzados desde la Tierra, desde el espacio o desde otras plataformas, con propósitos de destrucción y establecimiento de una carrera sin freno por la supremacía espacial. Este desarrollo, en el marco de la carrera espacial, está siendo ejecutado específicamente por Israel, Rusia, Estados Unidos y China (Ruíz, L., & Gómez, E., 2020, p. 42), quienes preparan “sus estrategias de seguridad y defensa nacionales, [dándole] un papel protagónico a la defensa de sus activos espaciales y su territorio” (Ruíz, L., & Gómez, E., 2020, p. 43).

Lo anterior, en plena conexión con los sistemas nucleares de destrucción masiva desarrollados desde la Guerra Fría, lo que permite a cualquier país

poseedor de esta tecnología, destruir la Tierra varias veces, bajo un principio claro de “dominación” (Blazejewski, K. R. , 2008, p. 38).

La militarización del espacio también comprende la defensa antimisiles; concebidos en la teoría y la práctica como sistemas que permiten detectar, alertar, rastrear y destruir misiles balísticos lanzados por los potenciales enemigos. Adicionalmente se encuentran las estaciones espaciales o bases en la órbita, que sirven como medios de comando y control para las operaciones espaciales. Finalmente, entre la gama de medios militares ya existentes en algunos inventarios de las potencias espaciales, se pueden mencionar los vehículos espaciales de combate que en el mediano plazo podrían servir como medios con capacidades de ataque y defensa.

Por lo tanto, el proceso de militarización espacial que se está viendo desde hace algunas décadas, genera múltiples preocupaciones que conllevan una carrera armamentista de forma exponencial; no solamente por las armas, también por que el aumento incontrolable de una gran cantidad de desechos espaciales, que ocasionan un peligro para la vida en el espacio y lógicamente en el planeta, a su vez, con implicaciones éticas y legales, por cuanto los conflictos en la Tierra se están forjando en el espacio ultraterrestre, desconociendo lo establecido en el Tratado sobre el Espacio Exterior de 1967, cuya base de entendimiento global es el uso del dominio espacial con fines pacíficos, y el cual dejó claro la negativa de cualquier uso de armas en el ambiente exterior.

En este sentido, la militarización del espacio, además de los aspectos éticos y legales, impacta los campos de seguridad referentes a la vida y supervivencia humana; dejando planteada la emergencia de la seguridad planetaria, la sostenibilidad de las actividades que los seres humanos adelantan en el espacio con fines de desarrollo humano y beneficios colectivos comunes para todos. Por lo tanto, el despliegue de armas al espacio exterior, conlleva de inmediato a desarrollar todas las acciones necesarias para desmilitarización del *global common* espacial (Kutt, 2015).

Por medio de una revisión hermenéutica académica de análisis normativo y propositivo como paradigma de investigación, con enfoques de investigación: cualitativo y epistemológico: el Estudio de Caso: la militarización espacial y sus implicaciones para la seguridad nacional e internacional. El problema evidenciado, es el creciente y descontrolado desarrollo y despliegue; al margen de las regulaciones internacionales, de capacidades militares espaciales, así como los desafíos que provienen de la disuasión y la estabilidad estratégica respecto al equilibrio global en seguridad, los riesgos que conlleva una escalada armamentista hacia una carrera de supremacía espacial por parte de

las potencias globales y finalmente, encontrar algunas vías de desmilitarización y fomento del uso pacífico del espacio exterior.

Para lo anterior, se examinarán las implicaciones de la militarización del espacio ultraterrestre, desde el enfoque de la seguridad nacional y la supervivencia humana, mediante el desarrollo de tres apartados. En el primero, se analiza el rol de la militarización espacial y su influencia en los aspectos de disuasión y estabilidad estratégica de las potencias mundiales. En él se revisa la disuasión espacial, en torno a las capacidades espaciales que conllevan a la generación de la desestabilización global, considerando algunas doctrinas, desarrollos tecnológicos y la influencia global de algunos países con capacidades espaciales.

En el segundo apartado, se plantean los riesgos de lo que envuelve la dispersión de una carrera armamentista en el espacio, además de las implicaciones del despliegue de armas antisatélite y tecnologías espaciales letales, que a su vez generan los desechos espaciales; producto de los conflictos que puedan llevarse a cabo en y desde el espacio, y a partir de allí los efectos desestabilizadores en la seguridad global.

Una vez planteados los anteriores apartados, en el tercero se proponen estrategias y políticas; denominadas vías para desmilitarización del espacio, que abordan algunas medidas normativas y de confianza hacia la continuación o establecimiento de la cooperación internacional, el uso ético de las tecnologías espaciales y a participación de civiles en el desarrollo del dominio espacial. Lo anterior presupone el fortalecimiento de una gobernanza espacial. Finalmente se plantean las principales conclusiones resultado del análisis problemático del tema en cuestión

Rol de la Militarización Espacial en la Disuasión y la Estabilidad Estratégica en las Zonas Grises

La militarización del espacio genera un papel fundamental en la disuasión de conflictos, a pesar de los riesgos inminentes a una militarización que se viene desarrollando por décadas. Sin embargo, la carrera armamentista, la ininterrumpida proliferación de armas nucleares; ahora desde del espacio, y por lo tanto “las amenazas aumentan y el espacio se vuelve más disputado con una zona gris”²⁷ (Center for Space Policy and Strategy, 2021, p. 18), lo

27 Traducción propia.

que puede acarrear en el corto plazo, una desestabilización del equilibrio, no solo ambiental, si no también estratégico ampliada, si no se logra gestionar de forma adecuada el uso del espacio.

El presente apartado, analiza la creciente militarización espacial y sus repercusiones en las seguridades nacional e internacional, conforme a los desarrollos de las potencias mundiales y su despliegue de capacidades militares al espacio, particularmente en las zonas grises, donde se llevan a cabo actividades de cualquier tipo como la coerción, la hostilidad, pruebas militares sin control y aviso o simplemente tomar ventaja sobre los adversarios y aumentar las tensiones geopolíticas; perfectas para “la viabilidad y eficacia de las armas espaciales, y los riesgos que las actividades de la zona gris producen para la disuasión y la estabilidad estratégica”²⁸ (Center for Space Policy and Strategy, 2021, p. 18)

Además, y a pesar de que pueda llegar a entenderse que la militarización del espacio, podría interpretarse como una forma de disuadir a potenciales adversarios y buscar de esta manera el mantenimiento de la estabilidad estratégica en la Tierra, el hecho es que el despliegue de sistemas espaciales para vigilancia, comunicaciones y armas de todo género, con el pretexto de la protección de los intereses nacionales y la garantía de la seguridad nacional, pone en la mesa una situación desencadenante de conflictos a gran escala; situación que comenzó a evidenciarse desde la Guerra del Golfo en 1991 (Jordán, J., 2023), cuando se usaron partir de entonces, las ventajas estratégicas que podría ofrecer el espacio, en especial aquellas zonas grises que ofrecen primordialmente esas ventajas, sin aun llegar al nivel de confrontación convencional (Jordán, J., 2020).

Sin embargo, la militarización del espacio, prohibida por el “Tratado sobre el espacio ultraterrestre” (United Nations, 1967) y más recientemente por el “Derecho internacional del espacio: instrumentos de las Naciones Unidas” (United Nations Office for Outer Space (UNOOSA), 2017), es una situación que puede desencadenar en el incremento de las tensiones entre los Estados, aumento de los arsenales, involucrando el espacio ultraterrestre y el deterioro de la confianza y relaciones internacionales, lo que finalmente se traduce en la generación de conflictos así como los riesgos a la supervivencia humana, considerada esta como una de las teorías estratégicas del espacio (Lupton en Jordán, J., 2023, p. 73), la cual depende en la actualidad de “la efectividad de los sistemas ASAT, la fragilidad y falta de maniobrabilidad de los satélites, y el coste político comparativamente menor de destruirlos, que no supondría a priori un casus belli” (Jordán, J., 2023, pp. 173-174).

28 Traducción propia.

La militarización del espacio se convierte en un momento crítico para la humanidad, y en consecuencia para la seguridad global, el derecho y el orden internacional. Además, se erige como un desafío para todos en común, por lo que se redefine y amplía el concepto de disuasión, se plantean nuevos desafíos a la hora de establecer una estabilidad estratégica para el planeta.

En este sentido, en el presente apartado se analiza el papel y lo que implica la militarización espacial respecto a la discusión y la estabilidad estratégica, desde dos perspectivas: la aplicación de lo que se conoce tradicionalmente como disuasión y la forma en que puede evolucionar la estabilidad estratégica planetaria, a partir de las capacidades espaciales contemporáneas.

El Concepto Amplio de la Disuasión Tradicional desde lo Espacial

La disuasión, como estrategia de Estado (Barrero-Barrero, D., 2020), se define como el “instrumento para influenciar en el comportamiento de otros estados de manera congruente con los propios intereses” (Sodupe, K., 1991). El empleo teórico y práctico de la disuasión desde la carrera nuclear en la Guerra Fría, ha sido fundamental en las estrategias de defensa desde aquella época, donde prevaleció la amenaza de causar daños irreversibles a un adversario en caso de que este llegase a realizar un ataque. Por tanto, la militarización del espacio amplía este concepto de disuasión al dominio del espacio ultraterrestre y con ello un nuevo escenario de confrontación a partir de capacidades disuasorias cinéticas de las potencias globales.

Así las cosas y de acuerdo con el Mayor Albert C. Harris III de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF por sus siglas en inglés), la disuasión espacial es “el grado de dominio en el espacio de una fuerza sobre otras que permite llevar a cabo operaciones en un momento y un lugar dados sin la interferencia prohibitiva de amenazas basadas en el espacio” (2018, p. 13), o según Michael Krepon en Yagües (2018) “desincentivar acciones nocivas por cualquier medio contra los activos nacionales en el espacio y los activos que asisten a las operaciones espaciales” (p. 182). En este sentido, se puede decir que la disuasión espacial es un concepto estratégico que se refiere a la capacidad de un Estado para impedir que un adversario utilice el espacio exterior en afectación directa de sus intereses, la cual puede darse desde la consideración de una amenaza creíble que requiera de respuesta contundente, hasta la simple demostración de capacidades militares espaciales, que inhiban emprender cualquier acción, que podría resultar en ser demasiado costosa o arriesgada para el adversario.

Por lo anterior, la disuasión, como teoría de la no acción, busca mantener condiciones de estabilidad y seguridad en el dominio espacial; un concepto muy parecido a la disuasión nuclear, que desde sus inicios se ha mantenido en la estrategia de la prevención del uso de armas nucleares. De acuerdo con Forrest E. Morgan de *RAND Corporation* (2010) “una disuasión espacial eficaz fortalece la disuasión y la estabilidad generales”²⁹ (p. 21). Por tanto, La disuasión refuerza la capacidad de prevenir conflictos y mantiene la estabilidad global al proteger activos estratégicos en el espacio. Lo anterior, no implica sin embargo, dar vía libre al desarrollo de las peligrosas capacidades actuales y la fragilidad del marco normativo vigente.

A continuación, se amplía el análisis de la disuasión espacial como estrategia, desde tres ópticas: Superioridad Espacial como Multiplicador de Capacidad Militar, el desarrollo y despliegue de armas antisatélite (ASAT) la alerta y evaluación de riesgos.

Superioridad Espacial como Multiplicador de Capacidad Militar

Según el reporte de la *Defense Intelligence Agency* (DIA por sus siglas en inglés) del 2022, el Ejército Popular de Liberación de China (EPL), define la Superioridad Espacial como:

La capacidad de controlar la esfera de información habilitada por el espacio y negar a los adversarios sus propias capacidades de recopilación y comunicación de información basada en el espacio, como un componente crítico de llevar a cabo una “guerra informatizada” moderna³⁰. (p. 9)

Lo que significa que, una de las mayores estrategias de empleo del espacio con capacidades militares, es alcanzar el control del dominio espacial y de esta forma asegurar la información propia y a su vez, bloquear la de los adversarios; considerando China esto último como esencial para lo que denominan guerra informatizada moderna.

En este sentido, las principales ventajas estratégicas de dominar militarmente el espacio, son aquellas que permiten monitorear, detectar, neutralizar y tomar ventaja de cualquier amenaza antes de que ésta se concrete. Los satélites de navegación, comunicaciones y reconocimiento, son importantes y esenciales

29 Traducción propia.

30 Traducción propia.

para el funcionamiento de las fuerzas militares contemporáneas, puesto que brindan capacidades en la protección de activos espaciales, además de neutralizar los satélites enemigos y de los potenciales agresores, demostrando con lo anterior, capacidad de superioridad del entorno operacional espacial (Defensebridge, 2023).

Desarrollo de Armas Antisatélite (ASAT)

Los ASAT son sistemas de armas que han sido diseñadas para destruir total o parcialmente cualquier tipo de satélite. Estas armas son de una gran variedad y forma, de acuerdo con la tecnología, el objetivo a alcanzar y los efectos deseados. De acuerdo con la gran variedad de diseños y modelos, se puede hablar de misiles balísticos que impactan directamente el objetivo como el misil estadounidense SM-3, los láser de energía dirigida que buscan dañar o segar sensores; cuya tecnología se ha desarrollado bastante por los rusos y los chinos, las armas de interferencia electrónica para bloqueo o interrupción de comunicaciones y sistemas de navegación o satélites GEO, y las armas de energía cinética, lanzados desde otros satélites con el propósito de colisionar o dañar satélites, entre otros más.

Puede existir alrededor de más de diez tipos de sistemas ASAT; incluidos los ataques cibernéticos como el hacking para tomar el comando y control de satélites de otros países. Todo lo anterior, desarrollado por la mayoría las potencias espaciales; debido a las limitaciones de acceso a información de inteligencia, pero que bien es cierto, son las piezas claves de la disuasión espacial, por cuanto poseen grandes capacidades de destruir totalmente o inutilizar satélites enemigos, proyectando una amenaza creíble y tangible, no se encuentran debidamente reguladas en el presente orden internacional, generando un problema ético y bioético tangible para la vida y supervivencia humana.

De hecho, el informe de la DIA sugiere la existencia de una capacidad básica para utilizar tecnología ASAT contra satélites a grandes distancias y no solo los establecidos en LEO³¹ (Defense Intelligence Agency, 2022, p. 17). Así las cosas, la disuasión espacial más allá de demostrar los alcances en armamento, busca que los adversarios no proliferen en el espacio con el despliegue de armas, generando a su vez, mayores capacidades bélicas como los sistemas ASAT.

31 LEO: *Low Earth Orbit* (Órbita Terrestre Baja).

Alerta y Evaluación de Riesgos

La efectividad de la disuasión depende en buena proporción de lo que pueda ser la percepción del adversario. Del análisis que se ha venido haciendo acerca de la militarización del espacio, es importante resaltar que esta no depende únicamente de unas capacidades tecnológicas, sino también de otros factores como las comunicaciones estratégicas que fortalezcan las habilidades de interlocución acerca de respuesta en caso de cualquier agresión.

Lo anterior implica amplia divulgación del desarrollo de capacidades tecnológicas. De los activos militares espaciales, como lo ha hecho Estados Unidos con su misil antisatélite SM-3, el cual ha sido adquirido por su socio Japón (Navarro, J., 2019). Además, China inició sus demostraciones de fuerza con el primer disparo de armas antisatélite en 2007, que destruyó al FY-1C, provocando basura espacial (Yagües, 2018, p. 178), lo que a su vez, ocasionó el rechazo internacional. Por su parte la India, divulgó la demostración de capacidades ASAT de la misión Shakti, de derribo de satélites (Pokharel, S., 2019), y Rusia, no se ha quedado atrás con el desarrollo de capacidades nuevas, que se unen a las destacadas armas antiaéreas de largo alcance S-600 y S-700 (Defensa, 2017; 2017).

Lo anterior incluye un formato de divulgación amplia acerca de las capacidades tecnológicas desarrolladas y activos militares espaciales; inclusive con la integración de los otros dominios, además demostraciones de fuerza y poder, pero lo cierto es que estas capacidades marcan la pauta de un nuevo capítulo, no solo en la militarización del espacio, si no también, en la historia de la humanidad.

Evolución de la Estabilidad Estratégica

La estabilidad estratégica se refiere a una situación en la que los actores no tienen incentivos para lanzar un primer ataque, debido al equilibrio de fuerzas y la certeza de una represalia devastadora. La inclusión del espacio en esta ecuación complejiza aún más este equilibrio. A continuación se plantean tres aspectos relevantes de la estabilidad estratégica global.

El peligro de la estabilidad si se produce el primer disparo (first strike)

El *first strike* “es el temor a que la otra parte pueda golpear primero, lo que incentiva a tomar la delantera en el ataque” (Yagües, 2018, p. 184), refiriéndose al ataque sorpresa o ataque preventivo para tomar la ventaja,

evitar cualquier contraataque, negar capacidades por efecto de la destrucción anticipada del adversario o simplemente al “desarme del contrincante” (Yagües, 2018, p. 184).

Sin embargo, entre los militares estadounidenses, ha surgido la creencia de que posibles adversarios están considerando la posibilidad de atacar de manera sorpresiva sus activos espaciales, con el objetivo de reducir o eliminar las ventajas que proporcionan los satélites en las operaciones de combate (Yagües, 2018, p. 184), lo que podría acarrear el sobrepasar el umbral para iniciar una guerra y romper con la estabilidad espacial.

Normas y Tratados Internacionales

Las Normas y Tratados Internacionales son acuerdos desarrollados por naciones unidas o países entre sí, para el establecimiento de la regulación de las relaciones y mecanismos de cooperación. En lo que respecta al ambiente espacial, las normas y tratados internacionales buscan mantener la estabilidad y el desarrollo común de los países a partir de las capacidades espaciales, buscando de tal manera hacer un uso pacífico y sostenible del espacio ultraterrestre en común por todas las naciones.

Esta situación surgió a partir del Tratado del Espacio Exterior de 1967, donde quedó plasmada la prohibición del “emplazamiento de armas nucleares o de cualquier tipo de armas de destrucción en masa en el espacio ultraterrestre y el estacionamiento de dichas armas en cuerpos celestes” (United Nations, 1967).

Sin embargo, se requieren nuevas normas y acuerdos internacionales que aborden las capacidades ASAT, el uso de armas en el espacio y la prevención de una carrera armamentista es crucial para mantener la estabilidad, dado el hecho que desde 1959 se dio comienzo al desarrollo de los misiles antisatélite, con el disparo exitoso del misil *Bold Orion* desde un avión B-47 de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (White, 2015), en plena Guerra Fría.

Mecanismos de Transparencia y Confianza

A pesar de las actuales dificultades en materia de confianza por las que atraviesa el planeta, debido a la diversidad de conflictos que se encuentra en el desarrollo permanentemente y más aún, con el uso de tecnologías espaciales

(Naciones Unidas, 2024), el origen de cualquier ataque cibernético desde el espacio, genera el dilema y la duda del sitio de donde proviene.

La confianza mutua es fundamental para llevar a cabo la estabilidad estratégica espacial y en este sentido, es viable a través de mecanismos de transparencia: notificaciones previas de lanzamientos espaciales, así como de ejercicios militares, establecimiento de acuerdos de actividades espaciales, intercambios de información y muy importante, el establecimiento de comunicaciones entre las grandes potencias.

Las anteriores medidas, pueden fortalecer de alguna manera los mecanismos de transparencia y confianza de las actividades espaciales, a pesar y como se dijo anteriormente de las actividades *proxy* que se pudieran estar adelantando.

Riesgos Asociados con la Escalada Armamentista en el Espacio

La escalada armamentista en el espacio es un tema de creciente preocupación internacional. A medida que países además de Estados Unidos, Francia, Israel, Japón, Corea del Sur y Reino Unido, que no representan una amenaza directa en la inversión espacial, pese a desarrollar tecnología militar espacial, si aparecen en la lista de riesgo y peligro directo: China, Rusia, Irán, Corea del Norte e India, quienes particularmente invierten cada vez más en tecnologías espaciales militares (Harrison, T., Johnson, K., Moye, J., & Young, M., 2021), cuyos riesgos asociados aumentan de manera significativa. Este apartado aborda los principales riesgos de esta militarización del espacio, incluyendo la proliferación de armas, el incremento de tensiones geopolíticas, la amenaza a la infraestructura civil y comercial como el potencial impacto en la estabilidad y seguridad global. Los riesgos que se denotan desde ya y en el corto plazo son: la proliferación de armas y tecnología militar avanzada, los desechos espaciales, el incremento de tensiones geopolíticas, la amenaza a la infraestructura civil y comercial, el impacto en la estabilidad y seguridad global y la falta de un mayor marco regulatorio.

Proliferación de Armas y Tecnología Militar Avanzada

Las brechas tecnológicas y desarrollo permanente de armas para uso en el espacio, condicionan la llamada escalada armamentista desde este dominio y por tanto, la proliferación de armas y tecnología militar avanzada, aumenta la probabilidad de guerras y conflictos desde y hacia el espacio, lo que trae como

consecuencia un devastador panorama a la infraestructura espacial y la vida en la Tierra. Según Bowen (2020), la militarización del espacio fomenta una carrera armamentista en la que los países compiten por desarrollar capacidades ofensivas y defensivas superiores. Esta competencia puede llevar a un aumento descontrolado de armas en el espacio; que ya es evidente, lo que a su vez incrementa la probabilidad de conflictos armados (Bowen, 2020, p. 145) y por consiguiente otro peligro inminente como lo es la amenaza de desechos espaciales, las colisiones accidentales o deliberadas como consecuencia de lo anterior.

Estas situaciones generan a su vez, dificultades en el acceso al espacio y peligro para las misiones espaciales y satelitales que hoy en día son fundamentales para la supervivencia humana como la observación climática, anticipación de desastres, navegación y comunicaciones.

El riesgo de los Desechos Espaciales

El incremento de los desechos espaciales como consecuencia de la carrera armamentística, es causado principalmente por la destrucción de satélites y otros objetos que se encuentren en la órbita, lo que detona en consecuencias catastróficas para el uso del espacio.

El desarrollo de armas antisatélite (ASAT); mencionado en líneas anteriores, es un ejemplo y causa raíz; no solo de proliferación de armas si no de sus desechos por el empleo de estas. Moltz (2011) señala que varios países, incluidos Estados Unidos, China y Rusia, han realizado pruebas exitosas de armas ASAT. Estas armas tienen la capacidad de destruir o incapacitar satélites, lo que no solo representa una amenaza directa para los activos espaciales, sino que también puede generar escombros espaciales peligrosos que pongan en riesgo a otros satélites y misiones espaciales tripuladas (Moltz, 2011, p. 79), los cuales pueden permanecer en las diferentes órbitas hasta por varias décadas, lo que las puede llegar a convertir en zonas vulnerables o peligrosas. Además de lo anterior, es importante destacar que estos desechos no solamente ponen en peligro a las naves espaciales de todas las naciones, si no más importante aún los astronautas y cosmonautas de la estación Espacial Internacional (ISS por sus siglas en inglés) y de la estación espacial China *Tiangsong* (Defense Intelligence Agency, 2022).

Falsas Percepciones Competitivas

La percepción de una ventaja competitiva entre actores y potencias espaciales, puede llevar a acciones preventivas y con ello, un espiral de acciones y reacciones de los considerados adversarios, que pueda desembocar en un conflicto concreto. La militarización, a consecuencia de lo anterior, puede exacerbar las tensiones geopolíticas existentes y aumentar la ya creciente rivalidad en espacio ultraterrestre, por lo que según Dolman (2001), el dominio del espacio, llegará a ser un objetivo estratégico clave para las potencias mundiales; como actualmente lo demuestran todas, similar al control de los mares en la era de la exploración.

Por consiguiente, la competencia por la supremacía espacial puede llevar a una nueva dinámica de confrontación entre las naciones, aumentando el riesgo de conflictos armados (Dolman, 2001, p. 56), debido además, por la falta de mecanismos de confianza por la carrera armamentística y con ello, enfrentamientos directos.

La política espacial de Estados Unidos, que ha priorizado el desarrollo de capacidades militares en el espacio, ha sido vista por otros países como una amenaza a su seguridad nacional. Esta percepción ha llevado a respuestas militarizadas por parte de otras naciones, creando un ciclo de acción y reacción que puede ser difícil de controlar (Smith, 2006, p. 132). Además, la falta de un marco internacional robusto para regular el uso militar del espacio solo agrava esta situación, dejando a las naciones a merced de sus propias políticas y decisiones unilaterales.

Lo anterior puede demostrarse en el actual escenario espacial del planeta, donde las diferentes percepciones y malentendidos, la ya planteada carrera de armas espaciales, asociada a la falta de normas y acuerdos internacionales que regulen el uso militar del espacio, como se tratará más adelante, están llevando particularmente a las potencias espaciales a buscar alcanzar una supremacía espacial, fundamentada en el impedimento y negación de avances de la tecnología espacial de los adversarios, o simplemente un acelerado desarrollo tecnológico militar del espacio que permita alcanzar ventajas estratégicas.

Amenaza a la Infraestructura Civil y Comercial

La militarización del espacio no solo afecta a los actores militares; también representa una amenaza significativa para la infraestructura civil y comercial. Wright et al. (2005) destacan que los satélites comerciales son esenciales para una amplia gama de servicios, desde las comunicaciones y la navegación hasta la

observación terrestre y el pronóstico del tiempo. La destrucción o interferencia de estos satélites debido a acciones militares puede tener consecuencias devastadoras para la economía global y la vida cotidiana (Wright et al., 2005, p. 204), debido a la dependencia de las estructuras espaciales al servicio de la humanidad como la navegación, las comunicaciones y la vigilancia; que en el siglo XXI sería un caos el carecer de estas.

Además, el espacio es cada vez más accesible para empresas privadas que están invirtiendo en tecnologías innovadoras y misiones comerciales. La escalada armamentista crea un entorno peligroso y volátil que puede disuadir la inversión y el desarrollo en el sector espacial comercial. La creación de escombros espaciales por la destrucción de satélites también representa un riesgo para las futuras misiones comerciales, aumentando el costo y la dificultad de operar en el espacio.

Si bien es cierto que lo anterior afecta a quienes desarrollan capacidades espaciales, con mayor razón este impacto se vería reflejado en los países no espaciales, debido al desequilibrio en el acceso al espacio, lo que a su vez podría conllevar a que estos países deban alinearse con cualquiera de las potencias o bloques de desarrollo espacial, aumentando a su vez, tensiones geopolíticas, polarización internacional, conflictos, y retraso en asuntos claves como los objetivos de desarrollo sostenible a partir de las capacidades espaciales, como plantea Naciones Unidas (2024).

Impacto en la Estabilidad y Seguridad Global

El aumento de la militarización espacial puede desestabilizar la seguridad global. Stares (1985) advierte que la introducción de armas en el espacio puede provocar una carrera armamentista similar a la de la Guerra Fría, donde las naciones se sienten obligadas a desarrollar capacidades militares espaciales para mantener un equilibrio de poder. Esta carrera no solo es costosa, sino que también aumenta el riesgo de errores de cálculo y conflictos no intencionales (Stares, 1985, p. 112).

El espacio es un dominio global compartido, y cualquier conflicto en este ámbito tiene el potencial de tener repercusiones a nivel mundial. La falta de los mencionados acuerdos internacionales vinculantes que limiten el uso militar del espacio aumenta la incertidumbre y el riesgo de una confrontación, por lo que es esencial desarrollar y fortalecer los tratados internacionales que aborden la militarización del espacio para evitar una escalada incontrolada (Bowen, 2020, p. 147), o en el peor de los casos, enfrentamientos directos entre naciones, ahora en el Espacio.

Falta de un Mayor Marco Regulatorio

A medida que la tecnología espacial avanza, las oportunidades para el desarrollo de armas más sofisticadas y efectivas también aumentan, por lo que es importante anticipar estos desarrollos y establecer marcos regulatorios que puedan gestionar el uso militar del espacio de manera efectiva. Esto incluye no solo la creación de nuevos tratados, sino también la actualización de los existentes para reflejar las realidades tecnológicas y estratégicas actuales (Moltz, 2011, p. 152).

Más allá de lo establecido en Tratado del Espacio Exterior de 1967, “sobre los Principios que Deben Regir las Actividades de los Estados en la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre, incluso la Luna y otros Cuerpos Celestes” (Oficina de Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas, 2024), la cooperación internacional es crucial para abordar los riesgos de la militarización del espacio. En este sentido, las naciones deben trabajar juntas para desarrollar normas y estándares que limiten el uso de armas en el espacio y promuevan el uso pacífico del mismo. Esto incluye medidas para prevenir la creación de escombros espaciales y garantizar la seguridad de las operaciones espaciales comerciales y civiles (Smith, 2006, p. 139), además de proteger la vida de astronautas y cosmonautas en misiones espaciales a bordo de las estaciones establecidas en órbita.

Vías para la Desmilitarización y Uso Pacífico del Espacio

Encontrar vías efectivas para la desmilitarización y fomentar el uso pacífico del espacio, es un aspecto fundamental para buscar la sostenibilidad en las actividades espaciales, de cara al futuro. La competencia espacial que ha desencadenado su militarización, hacia una supremacía y dominio global espacial, representa una serie de riesgos y amenazas a la estabilidad global. Esta escalada armamentista afecta tanto la seguridad nacional de las potencias involucradas, pone en peligro la infraestructura civil y comercial, al punto de imponer un nuevo orden mundial a partir de un conflicto de carácter global.

En este apartado final, se proponen nueve vías para la desmilitarización del espacio, agrupadas en tres factores fundamentales: la creación de un marco legal regulatorio del orden internacional, el fomento de la cooperación a nivel internacional y la promoción de tecnologías y usos civiles del espacio. Al final de la anterior, estas propuestas serán evaluadas empíricamente, asignándoles

evaluaciones cualitativas de relevancia, viabilidad, impacto y sostenibilidad, para ser finalmente presentadas en un diagrama *Spider* y demostrar con ello, que las vías de desmilitarización del espacio aquí planteadas, pueden ser elementos recurrentes de mayores estudios o profundización, y que puedan alcanzar niveles superiores de evaluación y toma de decisiones.

Las vías para la desmilitarización y el uso pacífico del espacio se definen como estrategias, políticas y acuerdos internacionales diseñados para prevenir la militarización del espacio y promover su utilización para fines civiles, científicos y comerciales. Estas vías incluyen la creación de marcos legales y regulatorios internacionales robustos, el fomento de la cooperación internacional, y la promoción de tecnologías y usos civiles del espacio. A continuación, se detallan estas vías y sus componentes específicos:

Creación de un Marco Legal y Regulatorio Internacional Robusto

A pesar de que el Tratado del Espacio Exterior de 1967 (Office for Disarmament Affairs, 1967) prohíbe la instalación de armas nucleares y armas de destrucción masiva en la órbita terrestre, no prohíbe sin embargo, las actividades militares. Y por otra parte, el Tratado de Limitación de Sistemas de Misiles Antibalísticos de 1972 (AMB) pactado entre Estados Unidos y la Unión Soviética, pero abandonado en el 2001, además del retiro de ambos países “del Tratado de Misiles de Corto y Medio Alcance (denominado Tratado INF), firmado en Washington el 8 de octubre de 1987” (Pérez, 2019, p. 187) y con ello, permitiendo la “ruptura del régimen de estabilidad estratégica y los posibles escenarios para el futuro” (Pérez, 2019, p. 187), que puede desembocar desde entonces en una tercera guerra mundial. Además de lo anterior, está el Acuerdo de la Luna de 1979, que tan solo fue “ratificado y firmado por un número limitado de países” (Kopal, 2009, p. 8).

De ahí en adelante hasta la actualidad, el desarrollo tecnológico de las potencias espaciales ha caminado por delante de regulaciones estrictas. Un ejemplo de ello son los desafíos que plantea la necesidad de una regulación internacional con relación a las armas antisatélite y los satélites de capacidades duales (civil y militar); por lo que particularmente, este documento hace énfasis en un marco legal y regulatorio internacional de forma robusta, debe ser un tratado integral de orden internacional, que pueda abordar todas las lagunas actuales y en definitiva establezca la normatividad clara y específica del uso militar del espacio.

Acompañado a lo anterior, deben generarse desde ya mecanismos de verificación y transparencia, que permitan implementar sistemas de monitoreo y verificación internacionales, cuya actividad principal se centre en el aseguramiento del cumplimiento de los acuerdos, así como la transparencia de todas las naciones comprometidas en el desarrollo espacial y aquellas que se encuentren en vía de generar estas capacidades. Es importante resaltar que en esta propuesta, se resalta la necesidad de incluir las capacidades ciberespaciales y de guerra electrónica, por cuanto estos dos temas, deben ser contemplados de forma inmediata.

Refuerzo del Tratado del Espacio Exterior de 1967

A pesar de que este tratado Estableció como eje central de su existencia, el uso pacífico del espacio, así como la prohibición de armas nucleares y las armas de destrucción masiva, el documento no aborda las complejidades y realidades del presente, debido particularmente a los desafíos tecnológicos, el incremento de varios actores con capacidades nucleares y armas espaciales, como el despliegue de lanzadores de misiles Mk-41 adaptables para el disparo de misiles de crucero Tomahawk (Pérez, 2019), de los Estados Unidos.

En este sentido la actualización del tratado debe incluir y como se mencionó anteriormente, mecanismos de verificación, cumplimiento y particularmente la adhesión universal de un nuevo tratado, que incluya además, la prohibición de cualquier tipo de armamento espacial, así como la escalada armamentista y finalmente logre llevar a cabo la desmilitarización del espacio ultraterrestre.

A pesar de no ser un trabajo fácil, requiere el consenso mundial, la cooperación internacional, la confianza y la transparencia, puesto que está en riesgo la existencia de la especie humana.

Nuevos Tratados y Acuerdos Internacionales

Si bien es cierto se ha tratado en líneas anteriores, la necesidad de actualizar los tratados existentes, quizás la reactivación de algunos otros; aumentando el número de países participantes, si es clara la necesidad desarrollar nuevos acuerdos internacionales, que permitan abordar los vacíos y aquellas zonas grises que permiten la escalada armamentista y la militarización espacial.

El primer tratado debe ser uno que contenga la negativa absoluta a la proliferación de armas espaciales, incluidas las sanciones y la promoción de las armas existentes. Otro tratado debe ser el de la gestión y manejo de los desechos espaciales, porque es imperativo establecer normas irresponsabilidades que conlleven a la mitigación de estos peligrosos desechos en las órbitas espaciales, incluyendo el desarrollo de tecnologías de prevención, recolección y mecanismos de compensación por daños causados.

También se propone a manera cooperativa, un tratado que pacte la cooperación y transparencia de todas las actividades espaciales y que busque la participación obligatoria de todos los estados a compartir y hacer pública cada una de sus actividades espaciales; a manera de principios claros, incluidos libros blancos de actividades espaciales.

A lo anterior debe sumarse la normativización de mecanismos de verificación de cumplimiento y acceso a inspecciones y monitoreos internacionales. Lo anterior permitiría acondicionar un nuevo tratado acerca de la protección de los activos espaciales, lo cual permitiría el desarrollo libre y sin interferencias de los satélites y activos espaciales puestos en órbita por cualquier nación del mundo y con ello se evitaría cualquier tipo de incidente a consecuencia de interferencias.

Finalmente debe existir, particularmente un tratado en el que se fomente el uso civil y científico del espacio, que permita además inversión y desarrollo de tecnologías espaciales, que busquen el avance de toda la sociedad planetaria o mismo objetivo común, donde la participación de las naciones sea activa y equitativa.

Institucionalización de Mecanismos de Resolución de Conflictos

Si bien es cierto que esta tarea podría considerarse tarea propia del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, lo cierto que la visión de aquella época, no da una cobertura más amplia a los asuntos de conflictos espaciales, precisamente por falta de mayor regulación.

Por tanto se hace necesario la creación de un tribunal internacional espacial, que encabeza de Naciones Unidas, trabaje exclusivamente en la solución de disputas espaciales, emita fallos vinculantes, facilitar actividades de mediación y particularmente de arbitraje.

Esta tarea puede ser compleja debido a la experiencia de los miembros que deban componer citado tribunal, puesto que deben ser jueces y expertos en derecho espacial, ciencia y tecnología en ciencias espaciales de diferentes países del mundo.

Fomento de la Cooperación Internacional

No habrá posibilidad de supervivencia humana desde el punto de vista de la militarización espacial, si no se reactiva la cooperación internacional a fin de priorizar el inicio de un plan que comprometa a todas las naciones del mundo y particularmente las que desarrollan capacidades militares en el espacio ultraterrestre, de llegar a acuerdos para su desmilitarización y asegurar su uso seguro y pacífico, como fue acordado desde 1967.

Esta cooperación internacional, debe darse a través de alianzas colaborativas, para la construcción de confianza, el establecimiento de normas vinculantes para todos, así como la promoción de La Paz y la seguridad espacial internacional.

En el presente siglo XXI, debe terminarse con las armas de proliferación espacial, llegar a consensos de transparencia y confianza mutua, así como el establecimiento de un sistema de vigilancia y monitoreo para el cumplimiento de los tratados de desmilitarización; en el sentido amplio. Lo anterior requiere la convocatoria de todos los países, incluido China, el cual, el 13 de mayo de 2019 manifestó no estar interesado en hacer parte de ningún tratado de armas espaciales, afirmando que sus intereses nacionales están enfocados en la defensa (Pérez, 2019); situación que no asegura la proliferación, la generación de desechos y las reacciones adversas por parte de otros actores militares espaciales, aun cuando en el 2007, quedaron en evidencia los efectos colaterales de su prueba del disparo de un misil antisatélite, dejando claro además la intención china en su Estrategia Espacial de Defensa del 2020, en la que planteó la urgencia de desarrollar una *“leading position”* (Wang, H., Graff, G., & Dale-Huang, A., 2024, p. 7) en este asunto.

Iniciativas Conjuntas en Exploración Espacial

Si bien es cierto que el tratado del espacio exterior de 1967, no contempla específicamente la exploración espacial de forma conjunta entre los países, si fomenta un ambiente cooperativo y transparente entre las naciones. Algunos artículos como el IX, establecen que,

Los Estados parte deben llevar a cabo actividades en el espacio exterior con la debida consideración a los intereses correspondientes de todos los demás Estados parte en el Tratado. Se alienta a los Estados a consultar y cooperar con otros Estados para evitar interferencias dañinas en sus actividades espaciales”. (Office for Disarmament Affairs, 1967)

Es por lo anterior, que bajo los principios que regulan el Tratado, se logró consolidar proyectos importantes en exploración espacial conjunta, como la puesta en órbita de la Estación Espacial Internacional (ISS), como modelo cooperación. Precisamente ejemplos como el anterior y particularmente en lo que sigue del siglo XXI, estas iniciativas deben construir relaciones diplomáticas seguras, reducción de las tensiones militares, colaboración mucho más amplia entre las naciones, reducción significativa de los intereses de la militarización del espacio y consolidación de actividades científicas y exploración compartida.

Transparencia y Confianza Mutua

Lo anterior implica, la creación de un sistema global de monitoreo y verificación de actividades espaciales, desde el cual se implementen las medidas de transparencia y la creación de confianza, a fin de reducir la suspicacia y se adopten medidas para la prevención y mitigación de cualquier carrera armamentista en el espacio.

Esta propuesta contempla el intercambio de información de forma regular, el permiso de acceso a inspecciones no sólo por parte de Naciones Unidas, sino también por la OTAN y los países que desarrollen capacidades militares espaciales, reporte de datos sobre ubicación y misiones desarrolladas por los satélites, notificación sobre lanzamientos y pruebas espaciales.

Además de todo lo anterior, es necesario la negociación y ratificación de acuerdos bilaterales y multilaterales, a fin de restablecer y proyectar nuevas relaciones sobre la base de una normativa común, que promocióne y se ha aceptado, el uso de espacio con fines pacíficos y se reduzca cualquier el riesgo de escalada militar.

Acuerdos de No Militarización de Satélites

El llegar a acuerdos de no militarización de satélites espaciales, puede considerarse una utopía. Ello no implica que los países, direccionados por la oficina de asuntos espaciales de Naciones Unidas, no lleguen a acuerdos que reduzcan o restringen la militarización de ciertos tipos de satélites, particularmente aquellos que tienen capacidad dual (civil y militar), o los que se desempeñan en misiones de observación de la Tierra, meteorología y desarrollo científico.

La “ausencia de restricciones normativas, es decir, de un régimen explícito, [ha abierto la] puerta a una nueva carrera de armamentos que pone especial énfasis en la militarización del espacio y las armas avanzadas” (Pérez, 2019, p. 201). Es por lo anterior entre otras cosas, que los acuerdos de no militarización de satélites, amplíen su regulación para hacer uso compartido de datos y capacidades satelitales civiles, dónde se evidencie la reducción significativa de intereses particulares en torno de la militarización y se evidencie el aumento de la cooperación.

Promoción de Tecnologías y Usos Civiles del Espacio

La promoción de tecnologías y usos civiles del espacio, implica el fomento del desarrollo especial fuera del contexto militar y en concordancia a la premisa, de que las tecnologías espaciales se han aplicadas con fines civiles y comerciales, asegurando el uso pacífico del espacio ultraterrestre, a fin de brindar garantías de beneficio y colectivo para la humanidad. En este sentido, se plantea la inversión en investigación y desarrollo civil, de infraestructura espacial sostenible, así como a la educación y la conciencia global del uso del espacio.

Inversión en Investigación y Desarrollo Civil

Desde los gobiernos, los órganos supranacionales y las organizaciones internacionales, es posible la activación y los incentivos a la inversión en tecnologías espaciales; tanto civiles como espaciales, que incluyan proyectos e investigación y desarrollo en las diferentes ciencias; no solamente la tecnología militar y exploración científica, sino también al compromiso de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el uso de las tecnologías espaciales, precisamente como lo viene trabajando Naciones Unidas para el Desarrollo; en su Planificación Espacial Integrada (PNUD, 2023), o el uso de estas tecnologías “en la reducción del riesgo de desastres y en la respuesta a

emergencias” (Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge Portal, 2024), pero donde se hace necesario, que la comunidad internacional participe en asuntos de trascendental importancia para la humanidad.

Los beneficios económicos y sociales del uso de las tecnologías espaciales para beneficio de los seres humanos, permitirá desviar la atención y los recursos en el desarrollo de capacidades militares o al menos atenuar de alguna forma; situación que a pesar de no estar ni en el corto ni mediano plazo, no deja de plantearse como una de las alternativas a las vías de desmilitarización del espacio.

Desarrollo de Infraestructuras Espaciales Sostenibles

La promoción del desarrollo de infraestructuras espaciales sostenibles y residentes, en un asunto prioritario para un planeta desgastado por el cambio climático, pero particularmente por los daños causados por los seres humanos. En este aspecto la investigación científica y tecnológica debe centrar la atención en la gestión efectiva de los desechos espaciales recolectándolos y reciclando estos desechos; pueden permanecer en órbita por muchos años generando riesgos de colisión y daños en su entrada a la Tierra, la construcción de satélites y estaciones espaciales con fines de investigación; pero también como modelo de hábitats espaciales de forma modular y autosuficientes, con capacidades de agua y alimentos para exploraciones a largo plazo.

También se hacen necesarias, la fabricación de estaciones de energía solar espacial puestas en órbita, para la captura de energía solar y su transmisión a la Tierra; siendo esto una alternativa de energía limpia y renovable, que reduzca a su vez la dependencia de los combustibles fósiles y de esta forma reducir la huella de carbono en el planeta.

Educación y Concienciación Global

La educación y la concienciación global en uso de las capacidades espaciales para el beneficio común, es un asunto que ha sido de poco interés para la comunidad internacional, sin embargo, este tema es crucial para abortar la desmilitarización del espacio, la mitigación de armas espaciales y la cooperación internacional, puesto que su influencia puede alcanzar niveles de políticas de gobierno y políticas públicas con relación a los asuntos espaciales.

Además de lo anterior, la educación espacial hoy debe darse en todos los niveles educativos, a partir de currículos sobre ciencias del espacio y tecnología espacial, creación de mayores centros educativos en torno a las tecnologías, ingenierías, matemáticas y desarrollo espacial. Unido a esta propuesta, están las campañas de sensibilización, por medio de los medios de comunicación y redes sociales, en donde los asuntos espaciales sean de carácter público, cuyo acompañamiento ciudadano permita su participación y vocería en el crecimiento espacial colectivo.

Diagrama Spider de las Vías de Desmilitarización del Espacio propuestas

La Tabla 1 presenta un análisis de nueve vías propuestas para la desmilitarización y uso pacífico del espacio, evaluadas en términos de viabilidad, impacto y sostenibilidad. Cada vía es evaluada y puntuada según estos tres criterios. Las vías incluyen propuestas como el refuerzo del Tratado del Espacio Exterior de 1967, nuevos tratados y acuerdos internacionales, institucionalización de mecanismos de resolución de conflictos, y otras iniciativas que buscan fomentar la cooperación y el desarrollo de infraestructuras espaciales sostenibles. Los puntajes varían, destacando áreas con mayor viabilidad y sostenibilidad, como la inversión en investigación y desarrollo civil.

- **Refuerzo del Tratado del Espacio Exterior de 1967**
- **Nuevos tratados y acuerdos internacionales**
- **Institucionalización de mecanismos de resolución de conflictos**
- **Inversión en investigación y desarrollo civil:** Promoción de proyectos científicos y tecnológicos con fines pacíficos, desincentivando el uso militar del espacio.
- **Educación y concienciación global:** Programas para aumentar la conciencia pública y educativa sobre los beneficios del uso pacífico del espacio.
- **Infraestructura espacial sostenible:** Desarrollo de infraestructuras que minimicen el impacto ambiental y promuevan la cooperación internacional.
- **Transparencia y confianza mutua:** Medidas para aumentar la transparencia entre naciones en actividades espaciales, reduciendo la desconfianza y los malentendidos.
- **Fomento de la cooperación internacional**
- **Desarrollo de capacidades locales**

Tabla 1. *Tabla de valores cualitativos de las 9 vías de desmilitarización espacial propuestas*

Aspecto	Relevante	Viable	Impacto	Sostenible
Refuerzo del Tratado del Espacio Exterior de 1967	5	4	5	5
Nuevos Tratados y Acuerdos Internacionales	5	3	5	4
Institucionalización de Mecanismos de Resolución de Conflictos	4	3	4	5
Iniciativas Conjuntas en Exploración Espacial	5	3	5	3
Transparencia y Confianza Mutua	5	3	4	4
Acuerdos de No Militarización de Satélites	5	4	5	3
Inversión en Investigación y Desarrollo Civil	5	5	5	5
Desarrollo de Infraestructuras Espaciales Sostenibles	5	4	4	4
Educación y Concienciación Global	5	3	3	3

Fuente: elaboración propia.

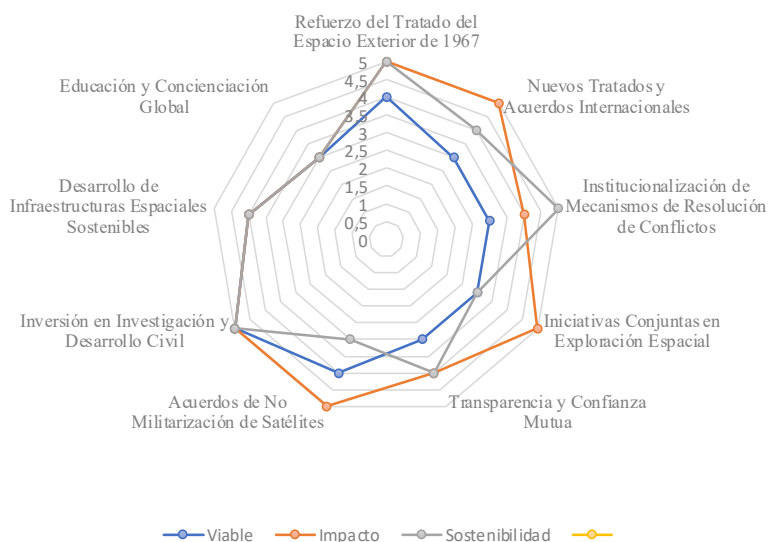
A partir de lo anterior, la Figura 1 es un diagrama de araña (*Spider Diagram*) que visualiza la factibilidad de desarrollar las nueve vías de desmilitarización espacial propuestas. Este diagrama utiliza ejes para representar diferentes criterios (relevancia, viabilidad, impacto y sostenibilidad) y muestra cómo cada vía se desempeña en estos aspectos. Las puntuaciones de cada vía en los diferentes criterios están conectadas, formando un polígono que permite comparar rápidamente las fortalezas y debilidades de cada propuesta.

Los ejes de los criterios planteados, son definidos de la siguiente manera:

- **Relevancia:** Se espera calificar la importancia de cada elemento analizado en medio del entorno internacional considerado.
- **Viabilidad:** Se evalúa la practicabilidad de implementar cada vía, considerando factores como recursos necesarios, barreras tecnológicas y políticas, y tiempo de implementación.
- **Impacto:** Busca medir el efecto potencial de cada vía sobre la desmilitarización y la promoción del uso pacífico del espacio, incluyendo su capacidad para reducir tensiones y conflictos.
- **Sostenibilidad:** Analiza la durabilidad y la capacidad de mantener las iniciativas a largo plazo, incluyendo aspectos económicos, ambientales y sociales.

Este análisis empírico a manera de resumen de lo abordado en el apartado final del capítulo, representado en el diagrama, demuestra que, aunque algunas vías son más viables o sostenibles que otras, todas las propuestas tienen potencial para contribuir significativamente a la desmilitarización del espacio.

Figura 1. Diagrama Spider donde se demuestra la factibilidad de desarrollar 9 vías de desmilitarización espacial propuestas



Fuente: elaboración propia

El análisis del diagrama de araña revela que mientras algunas vías, como el refuerzo de tratados y la inversión en I+D civil, son altamente viables y tienen

un impacto significativo, otras como la educación y concienciación global requieren más esfuerzos coordinados y sostenibles. Las vías propuestas deben ser abordadas de manera complementaria, integrando esfuerzos educativos con políticas robustas y acciones concretas para maximizar su efectividad.

Conclusiones

La militarización del espacio plantea importantes desafíos para la supervivencia humana, desde la escalada de conflictos hasta la generación de basura espacial y el riesgo de colisiones catastróficas. Es crucial abordar estos desafíos de manera proactiva mediante la promoción de la desmilitarización y el uso pacífico del espacio, así como la adopción de medidas para fomentar la cooperación internacional y la confianza entre estados. Solo a través de un enfoque colaborativo y basado en el diálogo podemos garantizar la seguridad y la supervivencia de la humanidad en el vasto y cada vez más disputado dominio del espacio.

Un hallazgo novedoso es la exploración de posibles vías para la desmilitarización y el uso pacífico del espacio como un medio para salvaguardar la supervivencia humana. Esto incluye la promoción de tratados internacionales que prohíban el despliegue de armas en el espacio, el fomento de la transparencia y la confianza entre estados, y el impulso de iniciativas de cooperación espacial para abordar los desafíos globales, como el cambio climático y la gestión de desastres. Además, se podría explorar el desarrollo de tecnologías de defensa no letales que permitan la protección de activos espaciales sin recurrir a la militarización. Estas medidas podrían contribuir a preservar la seguridad y la supervivencia de la humanidad en un entorno espacial cada vez más complejo y disputado.

Desde la perspectiva de la comunidad internacional, la escalada armamentista del espacio presenta riesgos significativos para la paz mundial y la supervivencia de la humanidad. La proliferación de armas, la generación de escombros espaciales y la militarización de los recursos espaciales son problemas que requieren una acción coordinada y el desarrollo de marcos regulatorios robustos. La cooperación internacional, la actualización de tratados existentes y la promoción de la transparencia y la confianza son esenciales para mitigar estos riesgos y asegurar un uso pacífico del espacio en beneficio de toda la humanidad.

Las políticas públicas son esenciales para contrarrestar la militarización del espacio. Mediante la adopción de medidas de transparencia, la regulación de actividades espaciales, la promoción de la cooperación internacional y la creación de normas y organismos de supervisión es posible avanzar hacia un uso pacífico del espacio exterior. La cooperación global y el compromiso con estos principios son fundamentales para mantener el espacio como un dominio seguro y accesible para todos.

Referencias bibliográficas

- Barrero-Barrero, D. (2020). La Estrategia de la Disuasión: una variable independiente y potencializadora frente al Poder Aéreo Integral del Estado Nación en el siglo XXI. En Baquero-Valdés F. (Ed.), *El poder aéreo integral del Estado nación en el siglo XXI* (pp. 167-183). Bogotá: Sello Editorial ESDEG. doi:<https://doi.org/10.25062/9789584289018.08>
- Blazjewski, K. R. (2008). Space weaponization and US-China relations. *Yale Journal of International Law*, 33(2), 651-692. *Strategic Studies Quarterly*, 2, 33-55. Obtenido de https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/SSQ/documents/Volume-02_Issue-1/blazjewski.pdf
- Bowen, B. E. (2020). *War in Space: Strategy, Spacepower, Geopolitics*. Edinburgh University Press. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/10.3366/j.ctv1453js4>
- Center for Space Policy and Strategy. (2021). *Space Agenda 2021. Informing the Future of Space*. Arlington: The Aerospace Corporation.
- Defensa. (2017). El escudo antimisiles de EEUU obliga a Rusia a crear armas antisatélite. *Sputnik*. Obtenido de <https://latamnews.lat/20170328/washington-moscu-defensa-armas-1067928442.html>
- Defensa. (2017). Escudo antimisiles de EEUU provoca carrera armamentista. *Sputnik*. Obtenido de <https://latamnews.lat/20170328/estados-unidos-defensa-antimisiles-1067909423.html>
- Defense Intelligence Agency. (march de 2022). *Challenges to Security in Space*. Obtenido de DIA Space Report: https://www.dia.mil/Portals/110/Documents/News/Military_Power_Publications/Challenges_Security_Space_2022.pdf

- Defensebridge. (2023). The Role of Military Satellites in National Security. *Defensebridge*. Obtenido de <https://defensebridge.com/article/the-role-of-military-satellites-in-national-security.html>
- Dolman, E. (2001). *Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age*. London: Routledge. doi:<https://doi.org/10.4324/9780203016640>
- Harris III, A. (2018). Mantenimiento de la superioridad espacial. *Air & Space Power Journal*, 29(4), 13-21. Obtenido de https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ_Spanish/Journals/Volume-29_Issue-4/2017_4_02_harris_s.pdf
- Harrison, T., Johnson, K., Moye, J., & Young, M. (2021). *Space Threat Assessment 2021.* ", April 2021. Washington: Center for Strategic and International Studies.
- Jordán, J. (2020). La escalada en las estrategias híbridas y en el conflicto en la zona gris. *Global Strategy*(11). Obtenido de <https://global-strategy.org/la-escalada-en-las-estrategias-hibridas-y-en-los-conflictos-en-la-zona-gris/>
- Jordán, J. (2023). Competición entre grandes potencias y militarización del espacio exterior. *Araucaria*, 25(53), 169-194. doi:<https://doi.org/10.12795/araucaria.2023.i53.07>
- Kopal, V. (2009). Tratado sobre los Principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del Espacio Ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes. *United Nations Audiovisual Library of International Law*, 11. Obtenido de https://legal.un.org/avl/pdf/ha/tos/tos_s.pdf
- Kutt, A. (2015). La importancia de dominar los Global Commons en el siglo XXI. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, 1-21.
- Moltz, J. (2011). *The Politics of Space Security: Strategic Restraint and the Pursuit of National Interests* (Second ed.). Stanford: Stanford University Press.
- Morgan, F. (2010). *Deterrence and First-Strike Stability in Space. A Preliminary Assessment*. Santa Mónica: RAND Corporation.
- Naciones Unidas. (4 de junio de 2024). *Oficina de Asuntos de Desarme*. Obtenido de Espacio Exterior: <https://disarmament.unoda.org/es/espacio-ultraterrestre/>

- Navarro, J. (2019). Japón potencia su protección contra misiles balísticos con la compra del SM-3. *Defensa.com*. Obtenido de <https://www.defensa.com/africa-asia-pacifico/japon-potencia-proteccion-contramisiles-balisticos-compra-sm-3>
- Office for Disarmament Affairs. (10 de octubre de 1967). *Tratado sobre los principios que rigen las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluidos la Luna y otros cuerpos celestes*. Obtenido de Naciones Unidas: https://treaties.unoda.org/t/outer_space
- Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge. (21 de julio de 2024). *United Nations*. Obtenido de Tecnologías Espaciales en la ONU: en la reducción del riesgo de desastres y en la respuesta a emergencias,
- Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas. (2024). *La Agenda “Espacio 2030”. El Espacio como Motor del Desarrollo Sostenible*. Obtenido de UNOOSA: https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2024/stspace/stspace88_0_html/st_space-088S.pdf
- Pérez, L. (2019). La ruptura del régimen de estabilidad estratégica y los posibles escenarios para el futuro. *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*(14), 187-202.
- PNUD. (2023). *Manual de Planificación Espacial Integrada*. Nueva York: Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Pokharel, S. (2019). Misión Shakti: la India dice que realizó su primera operación para el derribo de satélites con misiles. *CNN Mundo*. Obtenido de <https://cnnespanol.cnn.com/2019/03/27/mision-shakti-la-india-dice-que-realizo-su-primera-operacion-para-el-derribo-de-satelites-con-misiles/>
- Ruíz, L., & Gómez, E. (2020). La nueva carrera por el dominio del espacio ultraterrestre. *Ciencia Y Poder Aéreo*, 32-52. doi:<https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.677>
- Smith, M. (2006). *Space as a Strategic Asset*. AIAA.
- Sodupe, K. (1991). La teoría de la disuasión: un análisis de las debilidades del paradigma estatocéntrico. *Afers Internacionals*, 23-79.
- Stares, P. (1985). *The Militarization of Space: U.S. Policy, 1945-1984*. Cornell University Press.

- Unidas, O. d. (18 de julio de 2024). *Comisión de Desarme de las Naciones Unidas*. Obtenido de Comisión de Desarme de las Naciones Unidas: <https://disarmament.unoda.org/es/comision-de-desarme-de-las-naciones-unidas-2/>
- United Nations. (27 de jan de 1967). *Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies*. Obtenido de Office for Disarmament Affairs Treaties Database: https://treaties.unoda.org/t/outer_space
- United Nations Office for Outer Space (UNOOSA). (2017). *Derecho Internacional del Espacio: Instrumentos de las Naciones Unidas*. Nueva York: United Nations Office for Outer Space Affairs. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas. United Nations Office for Outer Space (UNOOSA).
- Wang, H., Graff, G., & Dale-Huang, A. (2024). *Wang, H., Graff, G., & Dale-Huang, A. (2024). China's Growing Risk Tolerance in Space: People's Liberation Army Perspectives and Escalation Dynamics*. Santa Monica: RAND Corporation. Obtenido de RAND.
- White, J. T. (15 de october de 2015). Bold Orion's ASAT Mission. *White Eagle Aerospace*. Obtenido de <https://www.whiteeagleaerospace.com/bold-orions-asat-mission/>
- Wright, D., Grego, L., & Gronlund, L. (2005). *The Physics of Space Security. A reference manual*. Cambridge: American Academy of Arts and Sciences.
- Yagües, M. (2018). Las implicaciones estratégicas de la disuasión espacial en el marco de las relaciones sino-americanas. *Revista de Estudios en Seguridad Internacional*, 4(1), 177-95. doi:<http://dx.doi.org/10.18847/1.7.11>

CAPÍTULO 4.

Órbitas Estratégicas: Física Fundamental de la Guerra Orbital y el Combate Astrodinámico en el Segunda Región Astropolítica^{32*}

Carlos Álvarez Calderón³³

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

MG. Kerly Sánchez Pesca³⁴

CR. Guillermo Alberto Poveda Zamora³⁵

Fuerza Aeroespacial Colombiana

-
- 32 *Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación “Desarrollo Espacial en Colombia y aportes de la Fuerza Aeroespacial Colombiana”, del grupo de investigación “GICMA” de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, categorizado en A por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL140489. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.
- 33 Profesional Oficial de Reserva de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Candidato a Doctor en Estudios Estratégicos, Seguridad y Defensa de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Magister en Relaciones Internacionales de la Pontificia Universidad Javeriana y Magister en Coaching Ontológico Empresarial de la Universidad San Sebastián (Chile). Politólogo de la Pontificia Universidad Javeriana. Becario del Centro de Estudios Hemisféricos de Defensa “William J. Perry”. Investigador Asociado categorizado por MinCiencias. Docente Investigador de la Escuela de Superior de Guerra, Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Escuela de Inteligencia Aérea y Academia Naval de Estudios Estratégicos. Columnista de la Revista Aeronáutica de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Analista en Inteligencia Estratégica, y Consultor en Seguridad y Defensa para diversas instituciones nacionales e internacionales. Código ORCID: 0000-0003-2401-2789. Contacto: carlos.alvarez@esdeg.edu.co.
- 34 Mayor General de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Piloto instructor militar con más de 8.000 horas de vuelo en los Equipos OV-10, AC-47, KC-137, B737, participante en el ejercicio operacional internacional Red Flag en tres ocasiones, como Piloto y como Comandante del Destacamento FAC. Administrador Aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación, Especialista en Seguridad y Defensa Nacional y Especialista en Comando y Estado Mayor de la Escuela de Guerra. Magister en Seguridad Nacional de la misma institución. Graduado de la Escuela de Armas y Tácticas de la FAC. Con conocimiento en contraterrorismo y armas de destrucción masiva adquirido en el Centro Europeo de Estudios de Seguridad. Comandante del Centro de Operaciones Aéreas de Comando y Control. Comandante del Componente Aéreo del Comando Conjunto de Operaciones Especiales. Piloto e Instructor del Avión Presidencial. Director de Plataformas de Inteligencia Aérea. Comandante Fuerza de Tarea Conjunta “ARES”. Oficial de Enlace de la Fuerza Aérea Colombiana en la Fuerza de Tarea Conjunta Inter agencial del Sur (JIATF-S). Jefe de Combate Aéreo y Defensa Aérea FAC. Jefe Departamento Conjunto de Inteligencia y Contrainteligencia del COGFM. Comandante Comando Aéreo de Combate N°2 FAC. Jefe Jefatura de Educación Aeronáutica y Espacial FAC. Actualmente Comandante del Comando de Desarrollo Humano FAC. Contacto: kerly.sanchez@fac.mil.co.
- 35 De la promoción 73 de Oficiales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, es Administrador aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación e Ingeniero de telecomunicaciones de la Universidad Militar Nueva

Resumen: Este capítulo examina la relevancia de la mecánica orbital y la astrodinámica en la guerra espacial, subrayando cómo las restricciones físicas del movimiento y la gravedad condicionan las operaciones militares en órbita. Frente a la visión simplificada de la cultura popular, se enfatiza que los conflictos espaciales dependen de principios técnicos rigurosos y de vehículos no tripulados operados a distancia. A partir de los aportes de Kepler y Newton, se presentan los fundamentos de las trayectorias orbitales, las fuerzas gravitacionales y las maniobras satelitales, vinculándolos con aplicaciones estratégicas como el despliegue preciso de satélites, la evasión de amenazas y el desarrollo de medidas antisatélite. En síntesis, se ofrece al lector una comprensión de los distintos regímenes orbitales y de su impacto en la conducción militar del espacio como dominio estratégico en disputa.

Palabras clave: Astrodinámica; Guerra Espacial; Órbitas; Satélites.

Introducción

El concepto de la guerra ya ha trascendido las fronteras terrestres, aventurándose en las inexploradas extensiones del espacio exterior. A medida que los Estados dependen cada vez más de recursos y activos espaciales para las comunicaciones, navegación, reconocimiento y vigilancia, la importancia estratégica del espacio exterior aumenta, impulsando el desarrollo de capacidades militares diseñadas para operaciones más allá de la atmósfera terrestre. No obstante, las películas de cine suelen representar la guerra en el vacío del espacio exterior de una manera similar a como representan la guerra en la Tierra. Por ejemplo, los cazas estelares participan con agilidad en combates aéreos cercanos mientras los infantes de marina espaciales son

Granada. Además, es becario y magíster en Ciencias Militares y Aeronáuticas de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, y magister en Ingeniería - Aeroespacial de la Universidad del Valle.

Con más de 28 años de servicio, ha volado más de 3500 horas como Navegante en aeronaves como AC-47T, C-208B y C-130B/H Hércules. Ha trabajado en proyectos de investigación y desarrollo de alto impacto, como el FACSAT-1, puesto en órbita en noviembre de 2018, y el satélite de observación de la tierra FACSAT-II, puesto en órbita el 15 de abril de 2023. También ha formado parte de reconocidos grupos de investigación, como TIGUM de la Universidad Militar Nueva Granada, el Grupo de Investigación Ciencia y Poder Aéreo (CIPAER) de la Escuela de Postgrados de la FAC, el Grupo de Investigación en Ciencias Militares Aeronáuticas y Administrativas (GICMA), con varias publicaciones propias de sus investigaciones. Participó en la tercera y cuarta expedición Antártica Colombiana, con proyectos de investigación relacionados con la caracterización de fenómenos meteorológicos peligrosos para la aviación en sistemas antárticos. Desde octubre de 2019, se desempeña como Jefe de Operaciones Espaciales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, liderando la estrategia para el desarrollo de las capacidades espaciales de la institución. Código ORCID: 0000-0002-3358-102X. Contacto guillermo.poveda@fac.mil.co.

llevados a las superficies de objetos celestes mediante naves transportadoras que descienden de la órbita. Sin embargo, es muy poco probable que se produzca una guerra espacial de este tipo, ya que, en un conflicto en el corto o mediano plazo, las batallas que tendrán lugar en el espacio sólo incluirán aeronaves remotamente pilotados por operadores terrestres; e incluso, este tipo de vehículos estarán sujetos a las importantes restricciones físicas de movilidad en el espacio (Reesman y Wilson, 28 de junio de 2021).

Por consiguiente, y en el contexto de la guerra orbital, comprender los principios básicos de la astrodinámica no es simplemente una necesidad técnica, sino un imperativo estratégico. El espacio es un ámbito único e implacable en el que las reglas de combate están dictadas por las leyes del movimiento y la gravedad, por lo que para operar de manera eficaz en este dominio de guerra (ya sea desplegando satélites, realizando maniobras defensivas o neutralizando amenazas), los planificadores militares, los encargados de formular políticas y los estrategas deben tener una comprensión básica de cómo se mueven e interactúan los objetos en el espacio.

La “astrodinámica” o la ciencia del movimiento en el espacio, sustenta todos los aspectos de las operaciones orbitales. Determina las trayectorias de los satélites, el momento de los ajustes orbitales y la viabilidad de interceptar o evadir los activos del adversario. Sin embargo, para muchos, el tema sigue estando envuelto en complejidad, lleno de ecuaciones y conceptos matemáticos que pueden parecer indescifrables sin una formación avanzada en física o cálculo. Por lo tanto, este capítulo busca cerrar esa brecha ofreciendo una descripción conceptual, eliminando las matemáticas intimidantes para centrarse en los principios prácticos que rigen las operaciones espaciales; al presentar la astrodinámica de una manera accesible, este documento procura proporcionar a los lectores las herramientas necesarias para comprender el movimiento de las naves espaciales y los satélites, las limitaciones de la mecánica orbital y los factores que influyen en el éxito o el fracaso de las operaciones militares en el espacio. Desmitifica conceptos clave como las fuerzas gravitacionales, los parámetros orbitales y las perturbaciones externas, proporcionando una base clara y atractiva para lectores de todos los orígenes.

Comprender estos conceptos básicos es crucial porque la guerra orbital no se libra en un campo de batalla plano, sino en un entorno dinámico y tridimensional donde el tiempo, el posicionamiento y la maniobrabilidad son primordiales. Por ejemplo, la decisión de colocar un satélite en una órbita específica (ya sea una órbita terrestre baja, una órbita geoestacionaria o una órbita altamente elíptica) tiene implicaciones significativas para sus capacidades operativas y vulnerabilidades. De manera similar, la capacidad de predecir y responder a

las perturbaciones orbitales, como la resistencia atmosférica o las anomalías gravitacionales, puede significar la diferencia entre mantener el control de un activo o perderlo por fuerzas imprevistas. Además de las consideraciones prácticas, este conocimiento fundamental también fomenta una apreciación más profunda de los desafíos y las oportunidades que presenta el ámbito espacial. Destaca la importancia estratégica del espacio como un entorno en disputa, donde el dominio depende de una comprensión matizada de cómo explotar las características únicas de la mecánica orbital para obtener una ventaja sobre los adversarios.

En última instancia, este capítulo sirve como puerta de entrada al complejo pero fascinante mundo de la astrodinámica, lo que permite a los lectores participar en los debates posteriores sobre la guerra orbital con confianza y claridad. Garantiza que incluso aquellos sin conocimientos técnicos puedan apreciar la ciencia que da forma a la estrategia en este dominio crítico, sentando las bases para una toma de decisiones informada en el ámbito de los conflictos espaciales, que evoluciona rápidamente.

Fundamentos de la Mecánica Orbital y la Astrodinámica

El estudio de la mecánica orbital, es decir, la ciencia que rige el movimiento de todos los objetos en el espacio bajo la influencia de la gravedad, tiene una rica y dilatada historia. Es una disciplina que nació de la fascinación milenaria de la humanidad por los cielos y que evolucionó a lo largo de siglos de observación, conocimiento matemático e innovación tecnológica. Desde los primeros intentos de cartografiar las estrellas hasta los sofisticados modelos que hoy guían a los satélites y las naves espaciales, la mecánica orbital representa una de las intersecciones más profundas de la filosofía natural y la ciencia aplicada. Por su parte, la astrodinámica es el estudio del “movimiento de objetos artificiales en el espacio, influenciado tanto por fuerzas naturales como por fuerzas aplicadas artificialmente” (Griffin y French, 1991, p. 85). Sus principios derivan de la mecánica orbital, razón por la cual ambas disciplinas proporcionan las herramientas teóricas y prácticas necesarias para planificar, ejecutar y adaptar las operaciones militares en el dominio del espacio.

En la guerra orbital, comprender la astrodinámica es una necesidad imperativa por varias razones. En primer lugar, el éxito de las operaciones espaciales depende de la colocación de los satélites en las órbitas correctas; la astrodinámica permite a los operadores calcular las trayectorias, velocidades y maniobras necesarias para colocar los activos en la órbita terrestre baja

(LEO), órbita geoestacionaria (GEO) u otras trayectorias especializadas. En segundo lugar, la guerra orbital a menudo implica el reposicionamiento de los satélites para evadir amenazas, atacar naves espaciales adversarias o mejorar el posicionamiento estratégico; en este sentido, la astrodinámica permite realizar predicciones precisas de los cambios orbitales necesarios para estas maniobras, como alterar la inclinación o realizar transferencias de Hohmann.

En tercer lugar, al aplicar los principios de la astrodinámica, los operadores espaciales pueden pronosticar las trayectorias de los satélites o las armas espaciales adversarias; esta previsión es fundamental para desarrollar contramedidas, como operaciones de interferencia de tiempo o el despliegue de armas antisatélite (ASAT). En cuarto lugar, en un entorno orbital cada vez más congestionado, evitar las colisiones es primordial. La astrodinámica ayuda a rastrear y predecir el movimiento de los desechos espaciales y otros satélites, lo que garantiza una navegación segura y la protección de los activos. Y finalmente, cada maniobra requiere combustible, que es un recurso finito y valioso; por consiguiente, la astrodinámica permite el cálculo de trayectorias y maniobras energéticamente eficientes, lo que prolonga la vida útil operativa de los satélites.

La mecánica orbital proporciona el marco teórico que sustenta la astrodinámica. Abarca las leyes universales del movimiento y la gravedad, como las leyes de Newton y las leyes de Kepler, que rigen el comportamiento de los objetos en el espacio exterior. Y si bien la mecánica orbital es más teórica, la astrodinámica traduce estos principios en herramientas y metodologías prácticas, ya que implica el uso de modelos computacionales, algoritmos y técnicas de ingeniería para resolver problemas del mundo real en operaciones espaciales.

Por lo tanto, en la guerra orbital, la sinergia entre estos dos campos de conocimiento garantiza tanto la previsión estratégica como la precisión táctica; mientras que la mecánica orbital ofrece el “por qué” del movimiento espacial, la astrodinámica proporciona el “cómo” para ejecutar maniobras y lograr objetivos de misión.

Historia del estudio de la mecánica celeste, la mecánica orbital y la astrodinámica

Si bien la astrodinámica, como campo de conocimiento, surge a partir de la década de 1950, los orígenes de la astrodinámica se remontan al periodo antes del nacimiento de Cristo, dentro del ámbito de la astrología, ya que las

civilizaciones antiguas, como la china, la egipcia, la babilónica, la maya, la romana y la griega, observaron el cielo para mejorar su comprensión de la naturaleza que los rodeaba (Szebehely, 1989). En efecto, las constelaciones de estrellas fueron designadas y examinadas para ayudar a diversas culturas a integrar sus vidas en el Universo más amplio, y los esfuerzos iniciales que condujeron a la sedentarización de las sociedades humanas, centrados predominantemente en la actividad agrícola, requirieron una comprensión integral de los ciclos estacionales, informados por las observaciones celestiales. Además, numerosas civilizaciones antiguas postularon que las constelaciones eran las moradas de sus deidades, y el imperativo de comprender lo divino requería una comprensión más profunda de la esfera celestial (Álvarez et al., 2021a).

Debido a la aleatoriedad de numerosos fenómenos naturales, como los terremotos y las tormentas, los astrólogos construyeron explicaciones en eventos constantes y predecibles, incluidos los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas, dando nacimiento al estudio de la mecánica celeste. El movimiento diario de salida y puesta del Sol era el más sencillo de detectar; sin embargo, su luminosidad dificultaba las observaciones precisas. No obstante, las civilizaciones antiguas observaban meticulosamente los eclipses solares debido al profundo temor que este tipo de fenómenos les infundían; por ejemplo, los caldeos establecieron el ciclo de Saros al observar la periodicidad de tipos específicos de eclipses a lo largo del tiempo³⁶ (Green, 1988).

El seguimiento de los ciclos lunares era más sencillo que el de los ciclos solares. Los primeros babilonios, que se beneficiaban de un clima favorable para las observaciones lunares, establecieron el mes lunar, de aproximadamente ($\approx$) 29½ días de duración (Pannekoek, 1989). Los astrónomos de la Antigüedad, al observar los planetas, encontraron problemático el carácter aparentemente efímero y errático de sus movimientos. Los babilonios alcanzaron logros notables y fueron capaces de predecir las fases y los ciclos de Venus. Sin embargo, como indica Pannekoek (1989), ciertas predicciones se basaban en ocurrencias inexactas o intervalos derivados de valores mal copiados y promedios aproximados.

Tales de Mileto (640–546 a.C.) fue probablemente el primer astrónomo que ganó prominencia. Se le reconoce por calcular la duración del año y establecer la escuela jónica de astronomía y filosofía. Se cree que Tales de Mileto postuló que la Tierra era redonda, pero el escepticismo generalizado persistió hasta

36 El intervalo entre eclipses es de 6585,32 días, y los eventos sucesivos ocurren alrededor de 120° al oeste del evento anterior

el siglo XV. Por su parte, Pitágoras (569-470 a.C.), quien es reconocido por sus avances en geometría, también impartió conocimientos de astronomía y filosofía. En sus clases, enseñó que la Tierra y los cometas orbitaban alrededor del Sol, mientras que la Tierra giraba sobre su propio eje³⁷. Postulaba que casi todos los problemas podían resolverse con el uso adecuado del análisis numérico (Dreyer, 1953). Esta teoría condujo al concepto de la armonía de las esferas, la idea de que cada planeta producía una nota musical específica. Una parte importante de la obra de Platón (c. 427–347 a.C.) puede haberse originado de sus discípulos. Si bien se lo reconoce principalmente por sus ideas filosóficas, también amplió la comprensión matemática del Universo, específicamente la armonía de las esferas a la que hace referencia Pitágoras. Su razonamiento postulaba que, si el reino de la música era fundamentalmente matemático, entonces el Universo debía estar estructurado de manera similar (Pannekoek, 1989).

Las teorías iniciales sobre la descripción matemática del movimiento fueron propuestas por Aristóteles (384-322 a.C.), quien postuló que la Tierra era el punto focal del Universo, con todos los cuerpos celestes moviéndose en relación con ella. Si bien la hipótesis es errónea, impulsó el desarrollo de una teoría alternativa de la gravedad, que postula que un objeto en la superficie de la Tierra permanece en estado de reposo una vez que se retira cualquier fuerza externa (Seitz, 1992). Si bien se reconoce que el matemático griego Euclides (330-275 a.C.), fue el primero en documentar las “secciones cónicas”³⁸, fue Apolonio (287-212 a.C.) el primero en designar las secciones por su nombre y en componer el libro más antiguo conocido sobre secciones cónicas (225 a.C.); a su vez, es posible que también haya sido primera persona en formular las teorías excéntrica y epicíclica del movimiento orbital³⁹.

37 Aristarco (310-250 a.C.) también propuso que la Tierra orbitaba alrededor del Sol. Lamentablemente, su idea no logró una aceptación inmediata debido a no haber logrado predecir la posición de Marte y su falta de adaptación a la separación angular prevista desde varios puntos de observación. Casi 1800 años después, Copérnico utilizó ciertos hallazgos de Aristarco para formular su paradigma heliocéntrico.

38 En el ámbito matemático y, en particular, en la geometría, se define como sección cónica a todas las curvas que emergen de las intersecciones entre un cono recto y un plano; si dicho plano no atraviesa el vértice, se obtienen las cónicas específicamente denominadas, tales como elipse, parábola, hipérbola y circunferencia.

39 El epiciclo constituye el fundamento de un modelo geométrico concebido por los antiguos griegos con el objetivo de elucidar las fluctuaciones en la velocidad y la orientación del movimiento aparente de la Luna, el Sol y los planetas. Al documentar los movimientos de los planetas cada noche durante años, se establece un patrón: el planeta se desplaza por el firmamento en una dirección, posteriormente retrocede en la dirección contraria y finalmente retorna a su trayectoria inicial. En el modelo geocéntrico, estos datos indican que el planeta se desplaza en círculos adicionalmente a su órbita terrestre. Los datos sugieren que cada planeta posee velocidades y diámetros distintos en sus respectivos epiciclos.

Asimismo, Eratóstenes (275-194 a.C.) fue quizás el primer individuo en derivar una estimación plausible del radio de la Tierra. Lo logró aplicando el conocimiento de los rayos de luz del Sol en el solsticio de verano en Siena (Asuán), Egipto (24° N). Durante el solsticio de verano, se observó que la luz del Sol incidía verticalmente en Siena, pero Eratóstenes residía a unos 805 kilómetros al norte de Siena en Alejandría (31° N). Al suponer que los rayos de luz eran paralelos al llegar a la Tierra, cuantificó los rayos del Sol en un ángulo de $7,2^\circ$, $\approx 1/50$ de un círculo (Vallado, 2013). Utilizando estos escasos datos y una geometría básica, calculó con éxito el radio de la Tierra. Por otro lado, Hiparco (161-126 a.C.) desarrolló la trigonometría esférica y postuló que la Tierra era el centro del Universo, al contrario de los modelos heliocéntricos anteriores propuestos por Pitágoras y Aristarco. Hiparco estableció el sistema inaugural para catalogar magnitudes estelares; y construyó una lista que clasificaba ≈ 1.000 estrellas en función de su luminosidad; para lograrlo, clasificó las estrellas en seis categorías de luminosidad, cada una de las cuales se diferenciaba por $\approx 2,5$ veces el brillo de la categoría anterior. La estrella más brillante era de primera magnitud, mientras que la más tenue, ≈ 100 veces más débil, era de sexta magnitud (Green, 1988).

Hiparco también formuló teorías para dilucidar el movimiento orbital y avanzó los modelos fundamentales excéntricos y epicíclicos. El sistema excéntrico postulaba que el Sol orbitaba alrededor de la Tierra en una trayectoria circular, denominada “excéntrica”, que ilustraba eficazmente la velocidad aparentemente errática del Sol mientras mantenía un movimiento circular perfecto desde el centro del círculo⁴⁰. En el sistema del epiciclo, el Sol estaba situado en un pequeño círculo conocido como “epiciclo”, cuyo centro giraba alrededor de la Tierra, mientras que la órbita circular del centro del epiciclo se denominaba “deferente”; tanto el sistema excéntrico como el epiciclo producían movimientos aparentes idénticos del Sol y los planetas alrededor de la Tierra (Dreyer, 1953).

Luego, Ptolomeo (100-170 d.C.) proporcionó un modelo matemático complicado para dilucidar el movimiento de los cuerpos celestes dentro del universo geocéntrico de Aristóteles, empleando un modelo de epiciclo con el enfoque excéntrico que casi se alineaba con el movimiento observado de los cuerpos celestes⁴¹; por ende, las teorías de Ptolomeo fueron aceptadas durante el milenio posterior y constituyeron la base para la investigación astronómica

40 Como se comentó anteriormente, la astrología antigua estaba estrechamente vinculada a la religión, lo que llevó a las personas a percibir los cielos como sagrados e impecables. Debido a que el círculo era la única forma geométrica considerada impecable, dependían del movimiento circular.

41 Ptolomeo empleó el término “excéntrico” en lugar de “deferente”.

durante el Renacimiento hasta su refutación por parte de Copérnico. En efecto, la prolongada pausa en los avances de los estudios de la mecánica celeste que se da a partir de la caída del Imperio terminó con la llegada de Nicolás Copérnico (1473-1543), aunque las motivaciones para esta transformación siguen siendo controvertidas. Se citan entre las diferentes posibles causas del inicio del Renacimiento a la expedición de Cristóbal Colón al Nuevo Mundo, el descubrimiento del telescopio por Galileo o la creación de la imprenta por Johann Gutenberg en 1440; sin embargo, Vallado (2013) postula que las tablas ptolemaicas, junto con las tablas alfonsinas creadas a partir de ellas en 1252, dejaron de ser fiables, lo que llevó a la detección de fallos por parte de instrumentos contemporáneos.

Pues bien, Nicolás Copérnico fue el primer científico que conectó la antigüedad con la modernidad; dedicó más de 31 años a dilucidar la dinámica fundamental del Sistema Solar, y la culminación de este esfuerzo se considera a veces el comienzo de una revolución tanto científica como cultural. Copérnico postuló la teoría heliocéntrica, afirmando que el Sol es el punto focal del Sistema Solar y que las órbitas de los planetas son circulares a su alrededor; esta teoría contradecía milenios de doctrina geocéntrica, explicando también el aparente movimiento retrógrado de los planetas más allá de la Tierra⁴² y las fluctuaciones en la luminosidad de los cuerpos celestes (Chaisson, 2007). Aunque no enfrentó ninguna censura de la Iglesia durante su vida por su modelo heliocéntrico, fue rechazado tanto por teólogos católicos como protestantes, y su libro fue prohibido por la Iglesia Católica en 1854; no obstante, el artículo “Sobre la revolución de las esferas celestes” (Copérnico, 2002), que se publicó el año de su fallecimiento, influyó significativamente en los esfuerzos posteriores de Galileo y Kepler, entre otros.

El italiano Galileo Galilei (1564-1642) desarrolló y amplió la teoría heliocéntrica del Sistema Solar propuesta por Copérnico. Entre los diversos logros de Galileo se encuentra la aplicación inicial del telescopio para examinar los movimientos de los planetas y sus lunas en el cielo; y utilizando su telescopio, identificó las cuatro lunas principales de Júpiter: Ío, Calisto, Europa y Ganimedes, conocidas colectivamente como las lunas galileanas. Sus observaciones iniciales indicaron que estas lunas exhibían un movimiento oscilatorio con respecto a la Tierra, actualmente clasificado como movimiento armónico simple, es decir, como un movimiento circular uniforme observado desde una perspectiva lateral (Dreyer, 1953). Cabe señalar que las observaciones

42 La retrogradación planetaria, también conocida como movimiento retrógrado aparente, se refiere al movimiento aparente de un planeta en una dirección contraria a la de otros cuerpos dentro de su sistema, observado desde una perspectiva específica.

de Galilei de las fases de Venus demostraron su órbita alrededor del Sol, lo que reforzó la teoría heliocéntrica⁴³ (Vallado, 2013).

El astrónomo danés Tycho Brahe (1546–1601) fue muy meticuloso en la realización de observaciones astronómicas y entre sus contribuciones se encuentra el desarrollo de múltiples instrumentos de medición novedosos (Darling, 2006). Documentó observaciones a simple vista de supernovas y paralajes planetarios, acumulando mediciones durante varios años sobre el movimiento de Marte y otros planetas en relación con las constelaciones, lo que las convirtió en las mediciones más precisas anteriores a la invención del telescopio. Basándose en sus observaciones, descartó el modelo copernicano y formuló una nueva hipótesis que postulaba que la Tierra era el centro del Universo, con el Sol y la Luna a su alrededor; y que los demás planetas orbitaban alrededor del Sol. Brahe también identificó pequeñas discrepancias en el movimiento observado de Marte que desafiaban la suposición de órbitas circulares para todos los planetas alrededor del Sol⁴⁴.

Por su parte, Johannes Kepler (1571-1630) fue un astrónomo y matemático alemán, considerado por muchos como la figura más importante de la “mecánica celeste”, o el estudio del movimiento inherente de los cuerpos celestes (Hintz, 2022). Pues bien, utilizando los datos de observación recopilados por Brahe, Kepler formuló y fundamentó sus tres leyes del movimiento planetario, que sirven como piedra angular de la “mecánica orbital”, o el estudio de las leyes que controlan cómo se mueven los cuerpos unos alrededor de otros cuando están sujetos a la gravedad y otras fuerzas; según Álvarez et. al (2021b), las tres leyes de Kepler establecen que (1) los planetas recorren órbitas elípticas con el Sol posicionado en uno de los focos, (2) un cuerpo en órbita barre áreas iguales en intervalos de tiempo iguales, y (3) el cuadrado del período de una órbita es proporcional al cubo de su distancia promedio al Sol (su semieje mayor). Si bien Kepler explicó los principios que rigen el movimiento planetario, no conocía los mecanismos que se encuentran detrás de su movimiento; por lo tanto, correspondió al matemático y físico inglés Sir Isaac Newton (1642-1727) dilucidar la mecánica del movimiento de los objetos influenciada por la atracción gravitatoria, aplicando los principios matemáticos a las obras de Copérnico, Galileo, Kepler, entre otros. Utilizando la tercera ley de Kepler (el cuadrado del período orbital es proporcional al cubo del semieje mayor), Newton derivó la ley del cuadrado inverso; esta

43 Al igual que Copérnico, Galileo experimentó fricciones con la Iglesia y pasó sus últimos años bajo arresto domiciliario.

44 Sólo hasta que Kepler obtuvo esta evidencia (posterior a la muerte de Brahe), la hipótesis de las órbitas circulares planetarias dio paso a la noción de que los planetas recorren órbitas excéntricas alrededor del Sol.

ley afirma que la fuerza gravitatoria entre dos objetos es inversamente igual al cuadrado de la distancia entre ellos⁴⁵.

El erudito suizo-francés Johann Lambert (1728-1777) logró la creación de una teoría para la determinación inicial de la órbita. Si bien no proporcionó una prueba analítica⁴⁶, sí ideó una prueba geométrica; el teorema de Lambert estableció una correlación entre el tiempo de vuelo entre dos lugares en una elipse y el semieje mayor, los radios en esos sitios y la longitud de la cuerda que los une (Szebehely, 1989). Por su parte, George William Hill (1838-1914) fue un matemático estadounidense reconocido por sus contribuciones al análisis del movimiento relativo entre dos cuerpos celestes, por lo que su estudio se centró en la mecánica celeste y el movimiento relativo de los planetas y sus satélites. No obstante, las nociones de Hill se aplicaron a la “velocidad relativa”⁴⁷ entre dos objetos artificiales hasta la llegada de la era espacial; por esta razón, y derivando nuevamente las ecuaciones linealizadas del movimiento relativo, fueron William Clohessy y Raymond Wiltshire quienes crearon un sistema de guía terminal para el encuentro de naves espaciales en órbita⁴⁸.

El francés Henri Poincaré (1854-1912) es conocido por sus aportes fundamentales al problema de los tres cuerpos con restricciones. En 1887, Oscar II, rey de Suecia y Noruega, convocó a un concurso matemático, estableciendo un premio para aquellos quienes pudieran proporcionar una solución al problema de N cuerpos, vinculado a la determinación de la estabilidad del Sistema Solar; pero si no se lograba una solución, el premio se concedería por una contribución notable a la mecánica clásica. En este contexto, Poincaré, al considerarlo prácticamente irresoluble, dedicó sus esfuerzos a profundizar en una restricción: el problema de los tres cuerpos⁴⁹. A pesar

45 Si bien Newton es reconocido principalmente por sus tres leyes del movimiento, su ley de la gravedad constituye una ecuación crucial en la mecánica orbital.

46 Lagrange desarrolló la prueba analítica póstumamente después de la muerte de Lambert.

47 La “velocidad relativa” de dos objetos (A y B) se define como la velocidad del elemento A observado desde la perspectiva del objeto B. A efectos de comparación, imagínese viajando por una carretera a una velocidad de 95 km/h. Si un automóvil está en el carril adyacente y también se mueve a una velocidad de 95 km/h en la misma dirección, la velocidad relativa entre los dos automóviles es cero (esto significa que ambos automóviles parecen estar inmóviles entre sí). En cambio, si se adelanta a un automóvil que se mueve en la misma dirección a una velocidad de 80 km/h, el automóvil que adelanta al otro lo hará a una velocidad 15 km/h mayor. Por su parte, la velocidad relativa entre dos automóviles que van en direcciones opuestas se puede calcular sumando sus velocidades individuales; en este caso, si un automóvil viaja a 95 km/h y el otro a 193 km/h, su velocidad relativa sería 288 km/h. En este caso, el segundo vehículo parece pasar a gran velocidad.

48 Aunque estas ecuaciones fueron formuladas inicialmente por Hill y otros, ahora se las conoce como ecuaciones de Clohessy-Wiltshire o de Hill-Clohessy-Wiltshire.

49 En la física y mecánica clásica, el problema de los tres cuerpos consiste en determinar las posiciones y velocidades de tres cuerpos, de cualquier masa, que están sujetos a una atracción gravitacional

de que no se proporcionó una solución al problema de N cuerpos, el jurado decidió otorgar el premio a Poincaré por sus contribuciones a la comprensión de las ecuaciones dinámicas (denominadas sistemas hamiltonianos), y por los numerosos conceptos innovadores que introdujo en matemáticas y mecánica. De acuerdo con Diacu (1996), la obra de Poincaré fue significativo porque sentó las bases para la teoría del caos determinista.

Otro matemático y astrónomo que contribuyó al estudio de la mecánica celeste fue el italiano y naturalizado francés Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), quien identificó puntos de equilibrio en el problema restringido de los tres cuerpos. Su predicción sobre la presencia de asteroides en los puntos de libración triangular dentro del sistema Sol-Júpiter fue validada posteriormente por astrónomos observacionales, y sus avances matemáticos sentaron las bases para la dinámica durante varios siglos (Spence y Conte, 2023). El matemático prusiano Carl Gustav Jacobi (1804-1851), además de otras contribuciones, se basó en el trabajo de Lagrange e identificó una integral de movimiento en el problema restringido de los tres cuerpos; la constante de integración empleada en esta solución se conoce como la constante de Jacobi y es un atributo básico de un sistema dinámico de N cuerpos.

Asimismo, el astrónomo francés François Félix Tisserand (1845-1896) es reconocido por conectar la astronomía observacional y analítica. Tisserand descubrió que cuando un cometa se acerca a un planeta masivo, como Júpiter, su órbita se altera; en consecuencia, estableció un enfoque matemático, conocido como el Criterio de Tisserand, para relacionar la órbita anterior y posterior al paso. Como señala Roy (2005), esto permitió a los astrónomos observacionales identificar que un cometa que se acercaba y pasaba cerca de Júpiter era, de hecho, el mismo cometa visto después del paso. En este mismo campo, Josiah Gibbs (1839-1903), un científico estadounidense, contribuyó significativamente a varias ciencias al aplicar el cálculo vectorial a la determinación de las trayectorias planetarias y de los cometas; esta técnica,

mutua, a partir de condiciones iniciales específicas. Mientras que el problema de los dos cuerpos posee una solución analítica a través del método de cuadraturas integrales, dado que se trata de un sistema integrable, el problema de los tres cuerpos es un caso particular del problema de los n cuerpos para el cual no existe una solución analítica; el sistema Tierra-Luna-Sol constituye un caso muy cercano al problema. El estudio de Poincaré ilustró que las soluciones numéricas específicas del problema de los tres cuerpos producen un movimiento caótico sin ninguna indicación aparente de una trayectoria repetitiva; la evolución de estas órbitas es muy sensible a ligeras variaciones en la posición y la velocidad de un objeto en relación con otras entidades gravitacionales, lo que la vuelve fundamentalmente impredecible. Entonces, y dado que el sistema resultante es caótico en un sentido físico, lo que implica que pequeñas variaciones en las condiciones iniciales pueden resultar en desenlaces completamente disímiles, exige, por lo tanto, la utilización de modelos matemático. Charles-Eugène Delaunay examinó este sistema Tierra-Luna-Sol entre 1860 a 1867, y entre numerosos otros logros, su trabajo aborda el caos y emplea la teoría de la perturbación, que implica resolverlo como un problema de dos cuerpos, considerando que el tercero perturba la posición de los otros dos.

conocida como el método de Gibbs, se utiliza principalmente en la actualidad para la determinación inicial de la órbita (Bate et al., 2020).

Sin embargo, los métodos iniciales de determinación de la órbita que utilizan mediciones angulares fueron introducidos por el matemático francés Pierre-Simon Laplace (1749-1827), cuya principal contribución a la mecánica celeste fue establecer un marco matemático para el movimiento de los cuerpos en órbita (Szebehely, 1989). A su vez, la principal contribución a la mecánica celeste por parte del matemático suizo Leonhard Euler (1707-1783) se relacionó con la teoría lunar y su uso en la navegación astronómica; la teoría se utilizó para proporcionar datos de efemérides (predicciones de la posición y velocidad orbital de la Luna). Carl Friedrich Gauss (1777-1855) fue un matemático y físico alemán que ideó un método para calcular la órbita de un objeto utilizando dos vectores de posición en momentos distintos y el intervalo de tiempo entre las mediciones; este método se implementó inicialmente para la órbita del pequeño planeta Ceres, utilizándose también ampliamente en la astrodinámica, que corresponde al estudio de las rutas de vuelo controladas de las naves espaciales (Bate et al., 2020).

Por otro lado, Sir William Rowan Hamilton (1805-1865), un matemático, astrónomo y físico irlandés, es reconocido por su desarrollo de la mecánica hamiltoniana; este enfoque se utiliza comúnmente en cuestiones generales de perturbación dentro de la mecánica celeste. Cabe señalar que antes de la aparición de las computadoras, se idearon numerosas técnicas de perturbación para analizar el movimiento de los cuerpos en órbita. Además de las ventajas informáticas, numerosos métodos de perturbación ofrecen una importante perspectiva física del comportamiento del sistema⁵⁰. Los métodos especiales de perturbación ideados por el astrónomo británico Philip Herbert Cowell (1870-1949), junto con los astrónomos alemanes Johann Encke (1791-1865) y Peter Hansen (1795-1874), abordan los problemas de forma distintiva, empleando técnicas que integran las ecuaciones diferenciales de movimiento en coordenadas rectangulares, perturban las órbitas de dos cuerpos y utilizan coordenadas polares (Szebehely, 1989). Asimismo, y basándose en las contribuciones de Poincaré, el matemático finlandés Karl Sundman (1873-1949) empleó técnicas analíticas para estimar la solución del problema restringido de los tres cuerpos; su método, aunque poco práctico para soluciones numéricas y carente de conocimientos detallados sobre el movimiento real

50 En la mecánica celeste, la perturbación es un enfoque matemático empleado para obtener una solución aproximada a un problema que no puede resolverse de forma exacta, fundamentándose sobre la solución precisa de un problema conexo. Por ejemplo, en el contexto del movimiento de un planeta alrededor del Sol, se clasifica como un problema de dos cuerpos, considerando la influencia de otros cuerpos como perturbaciones.

de los objetos, demostró que un problema que con anterioridad no se podía resolver era, de hecho, solucionable.

Y en la medida que se acercaba el inicio de la era espacial, numerosos científicos e ingenieros del siglo XX formularon teorías y metodologías para mejorar la comprensión de los vuelos espaciales. Por ejemplo, Walter Hohmann (1880-1945) fue un ingeniero alemán que se centró en los desafíos relacionados con los vuelos espaciales interplanetarios; reconoció que un elemento crucial para hacer factible el vuelo espacial era descubrir métodos para reducir el consumo de combustible. Finalmente, identificó un método de transferencia orbital que lleva su nombre (transferencia de Hohmann), caracterizado como la transferencia orbital circular a circular, coplanar, de dos quemados y con combustible mínimo. Hohmann y otros científicos e ingenieros han hecho avanzar significativamente la mecánica orbital hasta nuestros días.

Importancia de las leyes de Kepler y Newton para comprender la guerra orbital

Las leyes de Johannes Kepler sobre el movimiento planetario y las leyes de Sir Isaac Newton sobre movimiento y gravitación son principios fundamentales en el campo de la mecánica orbital. No solo explican cómo se mueven los objetos en el espacio exterior, sino que también proporcionan el marco esencial para comprender y ejecutar operaciones orbitales. Estas leyes rigen el comportamiento de los satélites, las naves espaciales y otros sistemas orbitales, lo que los convierte en herramientas indispensables para planificar y llevar a cabo actividades militares en el espacio ultraterrestre.

Uno de los grandes logros de Sir Isaac Newton es el desarrollo de las tres leyes del movimiento. Según estas leyes (Spencer y Conte, 2023): (1) todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, a menos que se vea obligado a cambiar ese estado por fuerzas impresas en él; (2) la alteración del movimiento es siempre proporcional a la fuerza motriz impresa y se realiza en la dirección de la línea recta en la que esa fuerza está impresa; y (3) a toda acción siempre se opone una reacción igual, o las acciones mutuas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas a partes contrarias. Por consiguiente, toda dinámica se basa en estas reglas, que controlan todo movimiento⁵¹. La segunda regla se expresa con frecuencia

51 La dinámica constituye una subdisciplina de la física que examina la progresión temporal de un sistema físico en relación con las causas o factores que inducen las alteraciones en el estado físico o estado de movimiento. La finalidad de la dinámica consiste en caracterizar los elementos capaces de

como una ecuación $F=ma$, donde F es el vector de fuerza neta, m es la masa y a es la aceleración inercial⁵².

Con frecuencia puede observarse perturbaciones y aceleraciones gravitacionales en la astrodinámica; en este orden de ideas, Newton demostró que la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos, lo que es un corolario de su segunda ley. Y el trabajo de Kepler sirvió como base para estas leyes; si bien el estudio de Kepler se centró en la cinemática de los cuerpos celestes, abordaron los principios de la dinámica del movimiento. Por consiguiente, Kepler desarrolló tres leyes para explicar cómo se mueve un cuerpo en relación con otro en el espacio exterior (Spencer y Conte, 2023): (1) las órbitas planetarias son elipses con el Sol en uno de sus focos; (2) un cuerpo recorre un área igual en un tiempo igual; (3) el cuadrado del período es proporcional al cubo del semieje mayor (la mitad del eje largo) de la órbita elíptica. Cabe señalar que estas leyes se aplican también a los objetos en órbita creados por el hombre, aunque Kepler las formuló para describir el movimiento de objetos celestes que giran de forma natural.

En consecuencia, las leyes de Johannes Kepler describen el movimiento de los objetos en órbita, como los satélites alrededor de la Tierra. Su relevancia para la guerra orbital radica en su capacidad de predecir dónde estará un satélite o una nave espacial en un momento dado, lo que es fundamental tanto para las operaciones ofensivas como defensivas. Como ya se enunció, la primera ley de Kepler establece que los objetos en el espacio se mueven en órbitas elípticas, con el cuerpo central (por ejemplo, la Tierra) en un foco; por ende, esta comprensión es crucial en la guerra orbital, donde el conocimiento preciso de la trayectoria de un objeto determina el momento y la eficacia de las maniobras, intercepciones o acciones evasivas. La segunda ley de Kepler explica que un objeto en órbita se mueve más rápido cuando está más cerca del cuerpo central y más lento cuando está más lejos; entonces, este principio permite a los operadores anticipar los cambios en la velocidad, lo que es esencial para cronometrar las maniobras satelitales o predecir el movimiento de los activos del adversario. Por último, la tercera ley establece una relación entre el tamaño de una órbita y el tiempo que tarda en completar una revolución; esta información permite a los militares calcular períodos

provocar modificaciones en un sistema físico, cuantificarlos y formular ecuaciones de movimiento o ecuaciones de evolución para dicho sistema operativo. La investigación de la dinámica se destaca notablemente en los sistemas mecánicos; no obstante, también se manifiesta en las disciplinas de la termodinámica y electrodinámica.

52 La primera y la tercera leyes son más difíciles de expresar matemáticamente.

orbitales y sincronizar operaciones en múltiples satélites o coordinar sistemas espaciales con fuerzas terrestres, marítimas y aéreas.

Mientras tanto, las leyes de Isaac Newton del movimiento y la gravitación universal amplían las ideas de Kepler al explicar las fuerzas que rigen el movimiento orbital. Estos principios son vitales para comprender cómo cambiar o mantener las órbitas, consideraciones clave en escenarios de combate espacial. Con relación a la primera ley de Newton, un objeto en movimiento permanece en movimiento a menos que actúe sobre él una fuerza externa; en el espacio, esto significa que los satélites continuarán a lo largo de sus trayectorias orbitales a menos que actúen sobre ellos fuerzas como el empuje, la resistencia o las perturbaciones gravitacionales. La segunda ley de Newton vincula la fuerza, la masa y la aceleración, y explica cómo responden los satélites al empuje aplicado; en la guerra orbital, este principio guía el diseño y el uso de sistemas de propulsión para maniobras, como acciones evasivas para evitar ataques o reposicionamiento de activos para obtener una ventaja estratégica. Finalmente, la tercera ley de Newton dicta que, por cada acción, hay una reacción igual y opuesta; esto es particularmente relevante en la propulsión, donde la expulsión de masa (por ejemplo, combustible) genera el empuje necesario para que una astronave⁵³ cambie su órbita. Por consiguiente, dominar este principio permite un control preciso sobre las trayectorias de los satélites durante operaciones de combate o defensivas.

En resumen, al aplicar las leyes de Kepler y Newton, los operadores militares pueden determinar las órbitas óptimas para los sistemas de vigilancia, comunicación o alerta de misiles. Además, la predicción del movimiento de los satélites enemigos y la planificación de maniobras para interceptarlos o evadirlos dependen directamente de estos principios fundamentales. Y comprender la dinámica orbital es crucial para desplegar y apuntar armas espaciales, asegurando que sus trayectorias se alineen con los objetivos previstos. En esencia, las leyes de Kepler y Newton forman la columna vertebral teórica de la guerra orbital. Proporcionan las herramientas para predecir, manipular y explotar el movimiento de los objetos en el espacio,

53 Una astronave, o nave espacial (como, por ejemplo, un satélite), puede ser un sistema tripulado o no tripulado. Una astronave no tripulada generalmente constan de un bus y una o varias cargas útiles; el bus aloja sistemas esenciales para el funcionamiento de la nave espacial, incluidos el sistema de energía eléctrica, el sistema de propulsión, el sistema de control de actitud, el sistema de control térmico, el sistema de telemetría, seguimiento y comando, así como el sistema informático y de software. La carga útil, que define el propósito de una astronave, puede incluir equipos para tareas como comunicación, navegación, teledetección, investigación científica, inteligencia, vigilancia, reconocimiento, operaciones ofensivas o defensivas, entre otras.

lo que permite operaciones precisas en un dominio donde el tiempo y el posicionamiento lo son todo.

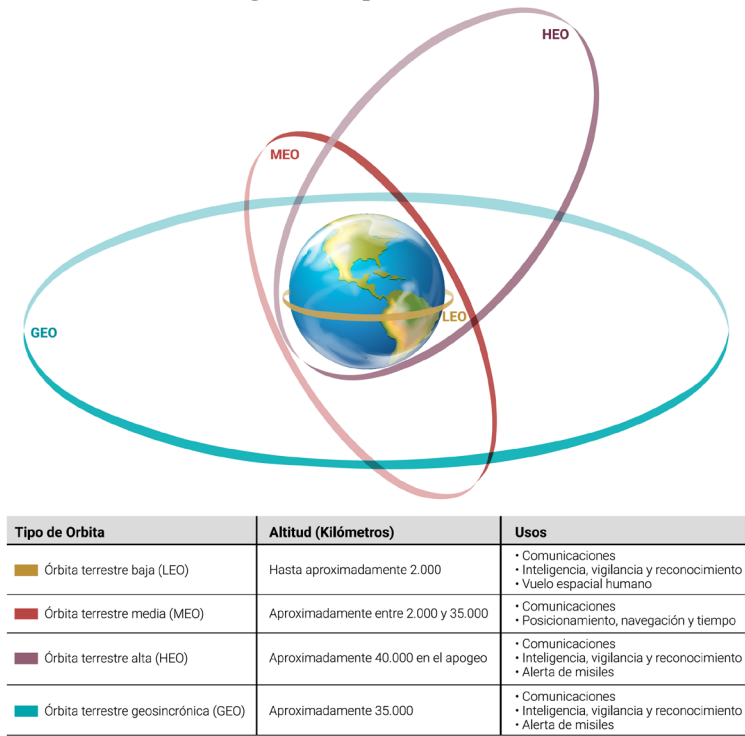
Regímenes orbitales y sus trayectorias

Un “régimen orbital” se refiere a un dominio espacial gobernado por un sistema gravitacional predominante capaz de capturar las órbitas de otros cuerpos celestes. Los objetos celestes con gran masa producen campos gravitacionales dentro de su región de influencia, que también delimitan los límites entre los regímenes orbitales. En este orden de ideas, la Fuerza Espacial de los Estados Unidos actualmente delimita tres regímenes orbitales jerárquicos para misiones espaciales, aunque futuras operaciones espaciales militares podrán trascender estos tres regímenes (US Space Force, 2023). El primer régimen orbital es el sistema geocéntrico, caracterizado por el dominio gravitacional de la Tierra, que obliga a los objetos a adherirse a trayectorias orbitales en relación con la Tierra. Por consiguiente, las actuales operaciones espaciales militares de los Estados se llevan a cabo en órbitas específicas dentro del dominio geocéntrico. El segundo régimen orbital es el dominio cislunar, definido por la interacción gravitacional de la Tierra y la Luna; por lo tanto, este dominio abarca el espacio translunar, los puntos de Lagrange Tierra-Luna y las órbitas selenocéntricas⁵⁴. El tercer régimen orbital es el solar, en el que el campo gravitacional sustancial del Sol delimita el resto del Sistema Solar; este régimen abarca además de las órbitas de los demás planetas y cuerpos celestes que orbitan al Sol, los puntos de Lagrange Sol-Tierra 1 y 2 que afectan el área del espacio directamente más allá del dominio cislunar (Álvarez et al., 2021b).

A su vez, una “órbita” es una trayectoria cíclica y consistente que sigue una astronave alrededor de otro cuerpo celeste. En el modelo geocéntrico, la Tierra actúa como la entidad gravitacional principal. En este orden de ideas, las órbitas terrestres son de varios tipos y cumplen diferentes servicios (Figura 1).

54 Una órbita selenocéntrica se refiere a la trayectoria descrita por un objeto alrededor de la Luna, también denominada órbita lunar. Durante una trayectoria lunar, el punto más distante de la superficie lunar se denomina “apoapsis”, mientras que el punto más cercano se denomina “periapsis”. Los nombres de estos puntos se derivan de epítetos de la deidad lunar, conocida como la Luna.

Figura 1. Tipos de órbitas



Fuente: elaboración propia.

Los satélites de órbita terrestre geoestacionaria (GEO) funcionan a una altitud de aproximadamente ($\approx$) 35.000 kilómetros, manteniendo una órbita sincronizada con la rotación axial de la Tierra (Poveda y Álvarez, 2021). Una órbita GEO (ubicada precisamente sobre el ecuador con una inclinación de cero grados)⁵⁵, la cual posee un periodo orbital idéntico al del periodo de rotación intrínseca local de la Tierra. Por ende, una nave espacial geoestacionaria aparece ante los observadores en la Tierra como fija en una posición específica en el espacio, haciéndola óptima para las comunicaciones globales, la vigilancia, el reconocimiento, el monitoreo ambiental y la detección de misiles.

55 Una órbita inclinada es una órbita geosíncrona, que es una variación de una órbita geoestacionaria, utilizada con frecuencia para las comunicaciones por satélite. Un satélite en órbita geosíncrona cruzará el ecuador dos veces al día con una trayectoria terrestre en forma de “ocho” sobre un punto fijo en la Tierra (Soop, 1994).

Una órbita altamente elíptica (HEO) asume la forma de una elipse alargada. En su distancia máxima de la Tierra (apogeo), los satélites en órbita HEO pueden superar los 40.000 kilómetros, mientras que, al otro lado de la órbita elíptica, el punto de aproximación más cercano del satélite (perigeo) puede estar a tan solo unos cientos de kilómetros por encima de la superficie de la Tierra (Álvarez et al., 2021b). La HEO ofrece períodos de permanencia prolongados sobre una región específica de la Tierra cuando la astronave se acerca al apogeo, por lo que está diseñada de manera óptima para muchas funciones, como comunicaciones, investigación científica, vigilancia, advertencia de misiles y monitoreo ambiental⁵⁶. La órbita terrestre media (MEO) carece de una altitud establecida formalmente, pero abarca órbitas en algún lugar entre LEO y GEO. Las altitudes de la órbita MEO suelen oscilar entre los 2.000 y 35.000 kilómetros sobre la superficie de la Tierra. Una órbita semisincrónica es una categoría específica de la órbita MEO que replica la misma trayectoria terrestre después de dos revoluciones, y cada una de ellas se produce en poco menos de 12 horas (Álvarez et al., 2021b). Las órbitas MEO son valiosas para los satélites de posicionamiento, navegación y tiempo como el GPS.

Por último, la órbita terrestre baja (LEO) está situada a una distancia de entre 160 y 2.000 kilómetros de la superficie terrestre, lo que les permite a las astronaves hacer uso de transmisores menos potentes para comunicarse y obtener imágenes de mayor resolución con aperturas de tamaño comparable a las de las órbitas más altas. Por las características de este tipo de órbitas, los satélites en LEO son visibles para un usuario o estación terrena durante un tiempo limitado (cuando están directamente sobre ellas), requiriendo una constelación de astronaves distribuidas uniformemente en múltiples planos orbitales para garantizar una cobertura continua (Álvarez et al., 2021b). Las

56 Las órbitas de Molniya se caracterizan por su alta excentricidad, ya que poseen un período orbital de 12 horas y una inclinación de 63,4°. En este ángulo, el apogeo permanece fijo sobre la misma latitud en el hemisferio norte o sur, en lugar de experimentar precesión. La Unión Soviética empleó inicialmente este tipo de órbita para su sistema de satélites Molniya, de ahí el nombre. En ocasiones se las denomina órbitas altamente elípticas (HEO). Los satélites rusos Molniya poseen órbitas caracterizadas por un apogeo de ≈ 40.000 km y un perigeo de unos 1.000 km, lo que da como resultado una excentricidad de 0,75. Durante 8 de sus intervalos de 12 horas, cada satélite es visible desde las zonas situadas por debajo del apogeo, con ángulos de elevación superiores a los 70°. Una configuración de tres satélites, con sus ejes principales alineados a 120° entre sí, garantiza una cobertura ininterrumpida de esta región. Las órbitas Molniya son utilizadas por los satélites de inteligencia estadounidenses para vigilar a Rusia y por los satélites rusos de alerta temprana para detectar lanzamientos de misiles estadounidenses. Las órbitas de Tundra, similares a las órbitas de Molniya, poseen una inclinación de 63,4°, lo que garantiza que sus apogeos permanezcan ubicados en un solo hemisferio. Por lo general, se emplean para cubrir regiones de alta latitud, con su apogeo ubicado sobre el hemisferio norte. Sin embargo, no son tan elípticas como las órbitas de Molniya, y su período es de 24 en lugar de 12 horas. Los satélites en órbitas de tundra son observables desde las áreas bajo el apogeo durante 12 de sus ciclos de 24 horas; en consecuencia, la cobertura continua de esta región se puede lograr con solo dos satélites cuyas órbitas están orientadas a 180° entre sí. El sistema ruso Tundra tiene dos satélites en órbitas con un apogeo de alrededor de 54.000 km y un perigeo de ≈ 18.000 km.

órbitas LEO son óptimas para la inteligencia, la vigilancia ambiental, las comunicaciones y las misiones de vuelos espaciales tripulados⁵⁷.

Ahora bien, en el segmento orbital, las “líneas de comunicación” abarcan trayectorias de lanzamiento, órbitas y enlaces de comunicación hacia y desde nodos terrestres (en el segmento terrestre), así como entre aeronaves dentro del segmento orbital⁵⁸. Entonces, el acceso a las líneas de comunicación dentro del segmento orbital facilita el reposicionamiento rápido, el mantenimiento en órbita y la reconstitución de activos espaciales, por lo que comprender las líneas de comunicación a lo largo de las trayectorias orbitales críticas es vital para operadores espaciales en la planificación, ejecución y evaluación de misiones espaciales.

Cabe destacar que, en términos generales, una órbita no es circular sino elíptica. Un círculo se define como el conjunto de todos los puntos que son equidistantes de una ubicación específica, conocida como el centro del círculo, mientras que una elipse posee dos focos en lugar de un centro. Por lo tanto, una elipse se define como el conjunto de puntos para los cuales la suma de las distancias a dos focos fijos permanece constante⁵⁹ (Bate et al., 2020). Una órbita elíptica de un satélite coloca a la Tierra en uno de sus focos; la línea que atraviesa la sección más ancha de la elipse se denomina eje mayor e intersecta ambos focos, mientras que la línea que abarca la sección estrecha de la elipse, perpendicular al eje mayor, se conoce como eje menor. El grado en que una elipse diverge de un círculo se cuantifica por su excentricidad, que varía de cero (lo que indica un círculo), a uno (lo que indica una elipse infinitamente estrecha). En una órbita elíptica, la altitud y la velocidad del satélite fluctúan

57 Satélites en órbitas heliosincrónicas atraviesan cada día una región específica de la Tierra aproximadamente a la misma hora local. Por lo tanto, siempre que el satélite monitorea un sitio terrestre específico, el Sol ocupa constantemente la misma posición en el cielo. Estas órbitas son especialmente ventajosas para las misiones que capturan fotografías de la Tierra, ya que las sombras de los objetos en una ubicación específica en la superficie de la Tierra se proyectan constantemente en el mismo ángulo. Esto facilita la comparación de fotos tomadas en diferentes días para identificar cambios. Los satélites en estas órbitas a menudo se colocan a bajas altitudes (con breves períodos orbitales) para garantizar una cobertura completa de la superficie de la Tierra al menos una vez al día. En una órbita heliosincrónica especializada, conocida como órbita del “amanecer al anochecer”, el plano orbital del satélite se alinea con el plano que separa el hemisferio iluminado por el Sol de la Tierra del hemisferio oscuro. Si el plano estuviera orientado de manera ligeramente diferente, el satélite experimentaría duraciones iguales de luz solar y sombra; sin embargo, una órbita del amanecer al anochecer garantiza la iluminación continua de los paneles solares por parte del Sol. Los satélites de observación de la Tierra canadienses Radarsat utilizan una trayectoria del amanecer al anochecer para mantener sus paneles solares en una alineación casi constante con el Sol, por lo que dependen predominantemente de la energía solar en lugar de las baterías.

58 Las líneas de comunicación se refieren a corredores físicos y electromagnéticos utilizados para el tránsito de comercio, materiales, suministros, personal, naves espaciales, información y operaciones militares hacia y desde el espacio (US Space Force, 2023).

59 Un círculo es un caso específico en el que los dos focos convergen en un punto singular.

dependiendo de su posición dentro de la órbita. El punto de una órbita elíptica donde el satélite está más cerca de la Tierra se llama “perigeo”, mientras que el punto en el que está más lejos se denomina “apogeo”. El perigeo y el apogeo están situados en extremos opuestos del eje principal. Un satélite en una órbita elíptica viaja a mayor velocidad cuando está cerca de la Tierra (en el perigeo) y a menor velocidad cuando está lejos de la Tierra (en el apogeo).

Las trayectorias de todos los planetas en el Sistema Solar, así como de los satélites artificiales, tienen forma elíptica. Un objeto en una órbita elíptica recorre repetidamente la misma trayectoria, ya que una elipse es una curva cerrada; y el tiempo que tarda el satélite en completar una órbita completa se denomina “período orbital”. El período orbital depende de la longitud del eje mayor, por lo que se alarga a medida que este se expande⁶⁰. Como se explica más adelante, la velocidad de un satélite en una ubicación específica depende no solo de su altura en ese momento, sino también de la configuración de la órbita, en particular de la longitud del eje mayor. Un satélite en una órbita elíptica puede tener una velocidad a una altitud específica que sea mayor o menor que la velocidad que mantendría en una órbita circular a la misma altitud, dependiendo de la configuración de la elipse.

Por otra parte, un círculo es un ejemplo específico de una elipse; por lo tanto, todas las relaciones derivadas para órbitas elípticas, incluido el período, también son aplicables a órbitas circulares. La velocidad necesaria para colocar un satélite en una órbita circular se denomina “velocidad circular”, que indica tanto la velocidad como la dirección adecuada. Cuanto mayor sea el radio de la órbita circular, menor será la velocidad necesaria para mantener el satélite en esa órbita; por ejemplo, en una órbita terrestre baja (LEO), la velocidad circular es de $\approx 7,9$ km/s, mientras que la velocidad necesaria para mantener la órbita de la Luna alrededor de la Tierra es de 0.9 km/s (Bate et al., 2020).

Si bien las órbitas parabólicas apenas se observan en la astrografía, las trayectorias de ciertos cometas se parecen mucho a una parábola. Ahora bien, un objeto que sigue una trayectoria parabólica está en un viaje unidireccional hacia el infinito y no volverá a recorrer su curso anterior (Bate et al., 2020). Aunque el campo gravitatorio del Sol o de un planeta se extiende teóricamente hasta el infinito, su intensidad disminuye rápidamente con la distancia, por lo que solo se necesita una cantidad finita de energía cinética para contrarrestar los efectos gravitatorios y permitir que un objeto se desplace hasta una distancia infinita sin regresar. La velocidad necesaria para lograr esto se denomina

60 Las órbitas elípticas pueden ser geosincrónicas pero no geoestacionarias debido a la variación de la velocidad orbital del satélite a lo largo del tiempo.

“velocidad de escape”⁶¹; una sonda espacial que alcanza la velocidad de escape en cualquier dirección seguirá una trayectoria de escape parabólica, y teóricamente, cuando la distancia desde el cuerpo central se acerca al infinito, su velocidad se acerca a cero.

Por otro lado, meteoritos que impactan contra la Tierra y astronaves interplanetarias lanzadas desde la Tierra, siguen trayectorias hiperbólicas en relación con ella. Una órbita hiperbólica es esencial para que la sonda conserve la velocidad residual después de escapar de la influencia gravitatoria de la Tierra (Spencer y Conte, 2023). Si se proporciona a una sonda espacial una velocidad de escape precisa, apenas superará el campo gravitatorio, lo que hará que su velocidad se acerque a cero a medida que su distancia del centro gravitatorio se acerque al infinito, mientras que si se proporciona a una astronave una velocidad superior a la velocidad de escape en un lugar cercano a la Tierra, se puede prever que su velocidad a una distancia considerable de la Tierra convergerá hacia un valor constante finito; y la velocidad residual que la sonda retendría incluso en el infinito se denomina “velocidad excesiva hiperbólica”. Sin duda, es absurdo hablar de una sonda espacial que “alcanza el infinito”, lo que hace que la noción de escapar por completo de un campo gravitatorio carezca de sentido. Pero es cierto que una vez que una nave espacial se encuentra a una distancia considerable del planeta Tierra (1.609.334 km), ha escapado de su campo gravitatorio; es decir, prácticamente ha desacelerado hasta alcanzar su velocidad hiperbólica excesiva. Por lo tanto, es práctico delinear una esfera alrededor de cada entidad gravitatoria y afirmar que cuando una astronave atraviesa el límite de esta “esfera de influencia”, ha logrado escapar de su campo gravitatorio (Spencer y Conte, 2023).

Orientación del plano de la órbita

La órbita de un satélite se sitúa siempre dentro de un plano que intersecta el centro de la Tierra, por lo que para caracterizar la órbita de un satélite es necesario delinear la dirección del “plano orbital”. Como lo indica su nombre, una órbita se clasifica como ecuatorial cuando su plano coincide con el ecuador de la Tierra. El plano orbital está generalmente inclinado con respecto al plano ecuatorial de la Tierra; este ángulo se denomina “ángulo de inclinación” (Figura 2). Cuando el ángulo de inclinación es de 90 grados, el

61 Si un objeto se lanza desde la Tierra con una velocidad igual o superior a 11,2 km/s, la fuerza gravitatoria de la Tierra es insuficiente para mantener su órbita, lo que provoca su escape al espacio profundo. Esta velocidad se suele denominar “velocidad de escape”.

plano orbital se alinea con el eje de la Tierra y la órbita pasa por encima de los polos de la Tierra; una órbita de este tipo se conoce como “órbita polar”.

Figura 2. Plano orbital, plano ecuatorial y ángulo de inclinación



Fuente: elaboración propia a partir de Wright et. al (2005).

La inclinación orbital dicta las regiones de la Tierra que atraviesa un satélite, y la trayectoria sobre la superficie de la Tierra directamente debajo del satélite se denomina “trayectoria terrestre” del satélite. La Figura 2 ilustra que un satélite en una órbita con una inclinación mínima atraviesa exclusivamente aquellas regiones de la Tierra situadas dentro de una banda estrecha que rodea el ecuador; en consecuencia, un satélite con una inclinación cercana a θ puede ser incapaz de observar o comunicarse con regiones de la Tierra cercanas a los polos. La figura también ilustra que un objeto en una órbita con un ángulo de inclinación θ no puede atravesar directamente ningún sitio de la Tierra con una latitud superior a θ ; la latitud de una ubicación en la Tierra denota su posición angular con respecto al ecuador, medida al norte o al sur (Wright et al., 2005).

De acuerdo con Vallado (2013), un satélite lanzado desde una ubicación en la latitud θ sigue una órbita con una inclinación igual o superior a θ . En un lugar de lanzamiento ubicado en la latitud θ , es imposible lanzar un satélite a una órbita con una inclinación inferior a θ . En consecuencia, un punto de lanzamiento ubicado lejos del ecuador es incapaz de desplegar un satélite directamente en una órbita ecuatorial. Para modificar su inclinación una vez en órbita, un satélite debe ejecutar una maniobra, lo que requiere gasto de combustible. Un satélite alcanzará una órbita con inclinación θ si se encuentra en órbita con una velocidad dirigida hacia el este o el oeste cuando se encuentra sobre el punto

de lanzamiento (en la latitud θ). Si el satélite posee una velocidad orbital en cualquier dirección distinta de esa ubicación, atravesará latitudes superiores a la del punto de lanzamiento, lo que dará como resultado un ángulo de inclinación mayor que θ .

Velocidades y periodos orbitales

El veloz movimiento y trayectoria predecible de los objetos en el espacio exterior son conceptos distintos, pero igualmente importantes, ya que los objetos exhiben características de moción distintas cuando atraviesan el espacio exterior en comparación con el movimiento dentro de la atmósfera terrestre. Y esa velocidad es bastante rápida; por ejemplo, los satélites en órbitas circulares de uso frecuente exhiben velocidades que oscilan entre 3 km/s y 8 km/s, dependiendo de su altitud⁶². Wright et al. (2005) señalan la existencia de tres diferencias clave entre el movimiento de los objetos en la atmósfera terrestre y en el espacio exterior:

En primer lugar, la velocidad de una aeronave no está directamente relacionada con su altitud o trayectoria de vuelo, ya que dos aeronaves pueden volar por una misma ruta a distintas velocidades. Por el contrario, en el caso de órbitas circulares, todas las astronaves (satélites) que se mueven a la misma altitud deben tener la misma velocidad, mientras que los satélites a diferentes altitudes deben tener velocidades distintas. Por consiguiente, existe un vínculo estricto entre la órbita y la velocidad de un satélite, por lo que la forma en que se comporta un objeto en el espacio exterior está significativamente limitada por esta relación entre la altitud y la velocidad. Además, la masa de un satélite no afecta su órbita, ya que satélites de diferentes tamaños, ya sean pequeños o enormes, viajan a la misma velocidad a una altitud específica. En la Tierra, el movimiento a menudo se logra agregando energía, y los objetos más grandes generalmente se mueven a un ritmo más lento en comparación con los objetos más pequeños, incluso cuando se aplica la misma cantidad de energía; en efecto, una aeronave comercial de pasajeros necesita una mayor cantidad de energía para alcanzar la misma velocidad que un diminuto jet privado.

En segundo lugar, una aeronave utiliza la presencia del aire no sólo para mantenerse en el aire, sino también para maniobrar, empleando alerones y un timón para cambiar de dirección, de forma muy similar a como un barco utiliza remos para maniobrar en el agua. Por ende, las astronaves y las aeronaves

⁶² En contraste, una bala típica tiene una velocidad de $\approx 0,75$ km/s.

tienen métodos bastante diferentes para desafiar la gravedad; las fuerzas de sustentación de una aeronave se producen cuando las alas se mueven a través de la atmósfera terrestre, manteniéndolo en el aire. A diferencia de las aeronaves, que dependen principalmente del aire para maniobrar, la falta de aire en el espacio excluye esta posibilidad. Y las órbitas de los satélites también están limitadas en la dirección de su movimiento; a diferencia de las aeronaves que tienen la capacidad de cambiar de rumbo libremente, un satélite en órbita sigue normalmente una trayectoria y dirección constante sin necesidad de movimientos de propulsión adicionales, aunque si requieren el uso de un motor para alterar su órbita predeterminada (Reesman y Wilson, 2020). Por otra parte, debido a la correlación entre la altitud de un satélite y su velocidad, este alcanzará constantemente la misma posición en su órbita a intervalos regulares, denominado “período orbital”; esto ocurre independientemente de la forma de la órbita y en ausencia de cualquier maniobra deliberada para alterar la órbita. Por lo tanto, la correlación entre velocidad orbital y altitud de un satélite en una órbita circular es definitiva, y el mantenimiento de la órbita de un satélite se puede conceptualizar de dos maneras equivalentes, ambas dilucidando la relación entre la altura y la velocidad del satélite.

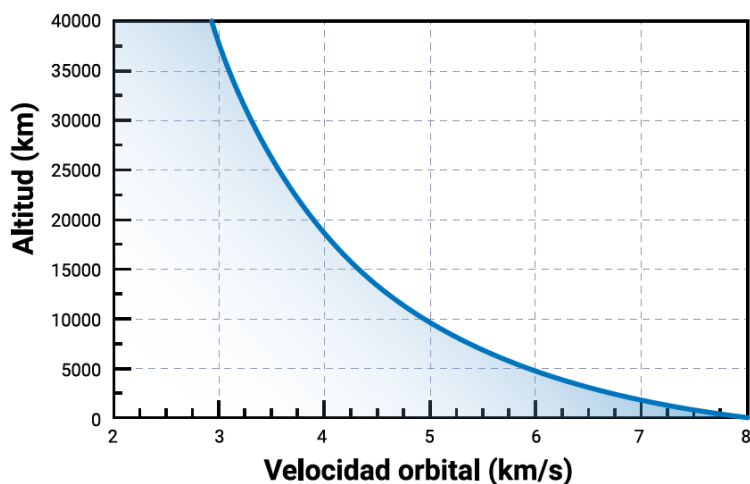
En tercer lugar, dado que la resistencia del aire al movimiento de una aeronave la frena continuamente, esta debe estar continuamente propulsada por motores para mantenerse en vuelo. En contraste y en el vacío del espacio, esto no sucede con un satélite; ya que una vez que un objeto alcanza la velocidad orbital mediante propulsión por cohete, no necesitará energía continua para mantener su órbita⁶³. Esto es resultado de la primera ley de movimiento de Newton, que establece que, en ausencia de fuerzas como la fricción y la resistencia del aire, un objeto en reposo permanece en reposo y un objeto en movimiento continúa en movimiento. En consecuencia, una vez propulsado por un cohete, un satélite mantendrá su trayectoria, y la gravedad de la Tierra curvará su curso desde una trayectoria lineal hasta una órbita. Esta es la razón por la cual los satélites pueden permanecer en órbita durante períodos prolongados, ya que no requieren reservas sustanciales de combustible para mantener su movimiento. Esto implica que una vez en órbita, varios objetos (como la basura espacial), permanecerán en órbita de forma indefinida a menos que se encuentren a altitudes suficientemente bajas donde la resistencia atmosférica los haga descender gradualmente a la Tierra.

63 Para mantenerse en órbita, los satélites deben encender regularmente motores de cohetes para superar la modesta atracción del aire que experimentarán cuando estén en órbita a varios cientos de kilómetros de altitud de la superficie terrestre. En contraste, la Luna es un satélite terrestre que existe de forma natural y orbita el planeta sin el uso de un cohete propulsor.

Como señalan Wright et al. (2005), la velocidad del satélite genera una fuerza centrífuga que contrarresta la atracción gravitatoria, por lo que, a la velocidad adecuada, la fuerza centrífuga ejercida por la rotación de un satélite alrededor de la Tierra contrarresta precisamente la atracción gravitatoria, lo que permite que el satélite mantenga su órbita. La ley de gravitación de Newton explica cómo cada objeto con masa atrae a todos los demás objetos. Este principio define las fuerzas gravitacionales que mantienen a los satélites en órbita e informa cómo se pueden aprovechar o contrarrestar estas fuerzas⁶⁴. Entonces, a medida que la atracción gravitatoria disminuye con el aumento de la distancia a la Tierra, la fuerza centrífuga necesaria para contrarrestar la gravedad también disminuye con la distancia. Es decir, cuanto mayor sea la altitud de la órbita del satélite, menor será su velocidad orbital. El satélite también puede percibirse como si descendiera perpetuamente hacia el centro de la Tierra. Sin embargo, a medida que un satélite se mueve en paralelo a la superficie terrestre, la Tierra se aleja constantemente del satélite. En una órbita circular, la velocidad de una astronave debe estar calibrada con precisión para garantizar que descienda perpetuamente mientras mantiene una distancia constante de la Tierra, por lo que la velocidad necesaria dependerá de la altitud del satélite debido a la geometría Tierra-satélite y la fuerza gravitatoria a esa altitud, que influye en la velocidad de descenso del satélite hacia la Tierra. En el escenario de un satélite en una órbita circular, la Figura 3 ilustra la velocidad orbital a diferentes altitudes.

64 Por ejemplo, comprender las perturbaciones gravitacionales es fundamental para predecir cambios orbitales a largo plazo o planificar trayectorias de intercepción.

Figura 3. *Velocidad orbital de satélites en órbitas circulares a diferentes*



Fuente: elaboración propia a partir de Wright et. al (2005).

Como puede observarse, las velocidades requeridas son extremadamente altas; por ejemplo, los satélites en órbitas LEO se desplazan de 7 a 8 km/s⁶⁵, una velocidad 30 veces mayor que la de una aeronave comercial. Empero, la velocidad necesaria para mantener un satélite en órbita es independiente de la masa de la astronave⁶⁶; la intuición humana sobre este asunto a menudo se ve oscurecida por la observación de que, en la Tierra, la resistencia del aire influye en el movimiento de los objetos más ligeros de forma más significativa que en el de los objetos más pesados. Los satélites en órbitas circulares mantienen una distancia constante de la superficie de la Tierra y viajan a una velocidad constante. Las órbitas elípticas exhiben cambios de altura, donde la velocidad del satélite disminuye a medida que asciende y aumenta a medida que desciende en altitud. La correlación entre altitud, velocidad y forma de la órbita da como resultado la previsibilidad de las trayectorias de los satélites (Yuan et al., 2019). Las relaciones imperfectas pueden deberse a causas externas, como la resistencia atmosférica que experimentan los satélites a altitudes inferiores a 600 km y la forma no esférica de la Tierra.

Según la mecánica orbital, objetos en altitudes más bajas tendrán constantemente una velocidad más alta en comparación con los objetos que se encuentran en altitudes más altas. En consecuencia, cualquier intento de incrementar o reducir la velocidad de una astronave resultará invariablemente

⁶⁵ En contraste, la velocidad de rotación de la superficie terrestre cerca del ecuador es de 0,46 km/s.

⁶⁶ Tanto satélites pequeños como grandes se mueven a la misma velocidad para una altitud determinada.

en una alteración de su altura (Liu, 2023). La Tabla 1 presenta los atributos de los patrones orbitales típicos, enfatizando la correlación previsible entre altitud y velocidad. Los satélites en órbita LEO, como la Estación Espacial Internacional ubicada a una altitud de 400 km, están muy cerca de la Tierra y, por lo tanto, tienen la velocidad más alta; esto es comparable a la distancia entre Bogotá D.C. y Medellín. Sin embargo, si se viaja a la velocidad de un satélite, se llegaría a destino en menos de un minuto.

Tabla 1. *Velocidades y periodos orbitales*

	Altitud	Velocidad Orbital	Periodo Orbital
LEO	160–2.000 km	7–8 km/s	1.5–2 horas
MEO	2.000–35.000 km	3–7 km/s	2–23.5 horas
GEO	35.786 km	3 km/s	24 horas
HEO	Varía (no circular)	1.5–10 km/s	12–24 horas

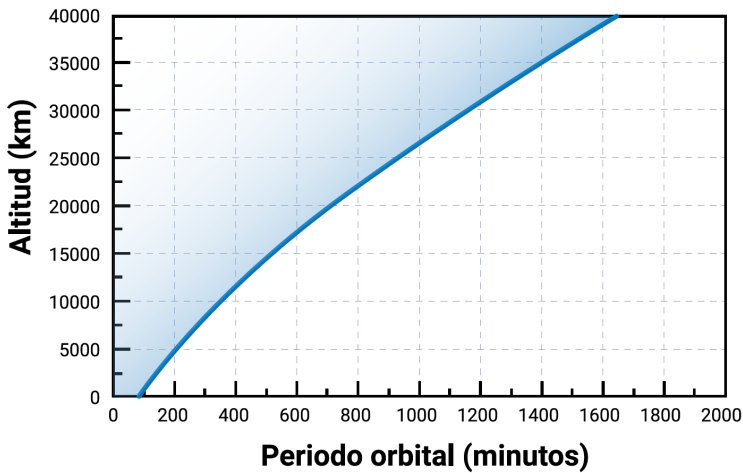
Fuente: elaboración propia.

Los satélites en órbita GEO, como los satélites de televisión y de comunicaciones, orbitan a una altitud de 35.786 km, que es aproximadamente igual a la distancia recorrida alrededor del planeta en el ecuador. Los satélites exhiben un modo distinto de movimiento que difiere significativamente de lo que estamos acostumbrados en la Tierra. Sin embargo, su movimiento es mucho más predecible en comparación con la mayoría de los vehículos conocidos, por lo que la previsibilidad de este fenómeno tiene consecuencias sustanciales para la guerra orbital.

Ahora bien, un parámetro crucial para caracterizar los satélites es el tiempo que tarda un satélite en completar una órbita completa alrededor del planeta Tierra; esta duración se denomina “período orbital”. A medida que aumenta la altitud de la órbita, el satélite se mueve más lentamente y debe recorrer una distancia mayor en cada órbita, lo que da como resultado un período orbital mayor. La Tabla 1 y la Figura 3 ilustran la duración de las órbitas circulares a diferentes alturas. En órbitas de baja altitud, el período orbital es de ≈ 90 minutos; por el contrario, a mayores altitudes, el tiempo se extiende. Dado

que un día terrestre comprende ≈ 1.440 minutos, la Figura 4 ilustra que un satélite ubicado a una altura de alrededor de 36.000 kilómetros completa una órbita diariamente, coincidiendo con el período de rotación de la Tierra. Estas órbitas se denominan geosincrónicas, por lo que un satélite ubicado en este tipo de órbita sobre el ecuador se distingue por permanecer estacionario en relación con una determinada ubicación en la superficie de la Tierra (Poveda y Álvarez, 2021).

Figura 4. *Periodo orbital en función de la altitud para órbitas circulares*



Fuente: elaboración propia a partir de Wright et. al (2005).

Guerra Orbital: Operaciones en la Segunda Región Astropolítica

La “guerra orbital” se refiere al uso estratégico y táctico de sistemas y tecnologías espaciales para lograr objetivos militares en, a través o desde la segunda región astropolítica (Álvarez et al., 2021b), es decir, el primer régimen orbital caracterizado por el sistema geocéntrico (las órbitas terrestres). Esto incluye actividades destinadas a obtener la “superioridad espacial”, controlando o denegando el acceso a regiones orbitales estratégicas, salvaguardando activos espaciales propios o aliados, y/o neutralizando capacidades espaciales adversarias. Como ya se ha señalado, y a diferencia de otros dominios de guerra, la guerra orbital opera en un entorno único y complejo regido por los principios de la mecánica orbital y la astrodinámica.

Además, la falta de atmósfera, las condiciones de microgravedad y las grandes distancias, la distinguen también de los demás dominios tradicionales de guerra (Álvarez y Correcha, 2022). En la Tierra, la guerra generalmente implica que fuerzas opuestas participen en combate para establecer un dominio sobre una específica área geográfica, ya sea en tierra, mar o aire. Empero, la guerra espacial se desvía de este paradigma, ya que los satélites en órbita no poseen ni ejercen control sobre un lugar específico durante un período de tiempo prolongado.

Como los satélites ofrecen a las fuerzas militares diversos servicios y capacidades, como comunicaciones, posicionamiento, navegación, y/o la recopilación de inteligencia, entonces “controlar el espacio” no implica conquistar físicamente áreas específicas del espacio exterior, sino más bien, degradar o eliminar las capacidades satelitales adversarias, manteniendo al mismo tiempo, la libertad de operar las propias capacidades espaciales. Por consiguiente, existen múltiples objetivos concebibles para una fuerza ofensiva en un conflicto que ocurre en el espacio ultraterrestre (Reesman y Wilson, 2020): (1) manipular un adversario de manera que provoque respuestas perjudiciales para sus propios intereses; (2) interrumpir, negar o degradar la capacidad de un enemigo para utilizar una capacidad espacial, ya sea temporal o permanentemente; (3) destruir completamente una capacidad espacial; y (4) disuadir o defenderse de un adversario, ya sea en el espacio o en la Tierra. Y los medios empleados para el logro de estos objetivos pueden ser armas basadas en Tierra o en el espacio, y pueden ser cinéticas (que requieren un impacto físico sobre un objetivo), o no cinéticas (cibernéticos y/o electromagnéticos); no obstante, e independientemente de su empleo, el uso de armas espaciales cinéticas está limitada no sólo por el diseño del arma, sino también por las limitaciones físicas que afectan el movimiento y la maniobrabilidad en la segunda región astropolítica.

Desafíos de la guerra en la segunda región astropolítica

Álvarez et. al (2021b) clasifican el Sistema Solar en cuatro regiones astropolíticas, según su importancia estratégica y operativa. La primera región astropolítica es el planeta Tierra y su atmósfera, una zona que se extiende desde la superficie terrestre hasta la línea de Kármán, situada a unos 100 kilómetros (km) sobre el nivel del mar. Funciona como zona intermedia entre la geopolítica terrestre y el espacio exterior, sirviendo como punto de partida para todas las actividades espaciales, incluidos los lanzamientos, las

operaciones de mando y control, y el mantenimiento y reparación terrestre de los activos espaciales. Esta región es esencial para los puertos espaciales y las instalaciones que facilitan las misiones espaciales civiles y militares. La segunda región astropolítica es el espacio circumterrestre, es decir, el régimen orbital geocéntrico entre las órbitas LEO (≈ 200 km de altitud) y órbita GEO (≈ 35.000 km), la zona operativa de la mayoría de los satélites artificiales. Es por ello que la accesibilidad a esta zona la convierten en una preocupación central para la seguridad nacional y los esfuerzos comerciales (Álvarez et al., 2021b).

La tercera región astropolítica es el espacio cislunar, que abarca la Luna y su espacio orbital circundante (≈ 384.000 km). Esta región comprende la esfera de influencia gravitatoria de la Luna (donde su gravedad domina sobre la de la Tierra), la cual se extiende hasta unos 66.100 kilómetros desde el centro de la Luna. Posee potencial para la extracción de recursos de la superficie lunar y como puente espacial para el lanzamiento de misiones al espacio profundo. Finalmente, la cuarta región astropolítica del Sistema Solar es la región solar, esa extensa zona que se extiende más allá de la órbita de la Luna para incluir la totalidad del resto del Sistema Solar (los demás planetas, asteroides y el Sol); su límite exterior (el cinturón de Kuiper) se extiende a una distancia de $\approx 4.338.338.237$ km. Se considera una zona potencial para el crecimiento industrial y la explotación de recursos, esencial para garantizar la viabilidad a largo plazo de los esfuerzos humanos en el espacio (Álvarez et al., 2021b).

Con relación a la segunda región astropolítica, el área espacial entre la órbita LEO y la órbita GEO es de ≈ 200 billones de kilómetros cúbicos, un volumen 190 veces mayor que el de la Tierra, que es de alrededor de 1,08 billones de kilómetros cúbicos. El gran tamaño de este espacio orbital es a la vez una oportunidad y un desafío para las operaciones militares espaciales, ya que los satélites deben operar en un entorno donde las distancias involucradas son inmensas y sus trayectorias están regidas por una mecánica orbital precisa. La distancia recorrida por un satélite en una órbita es proporcional al tamaño de su trayectoria orbital; por ejemplo, un satélite en órbita LEO (≈ 500 km de altitud) recorre ≈ 40.000 km por órbita, completando una órbita en ≈ 90 minutos, mientras que un satélite en órbita geoestacionaria, mucho más alejado de la Tierra, recorre más de 265.000 km por órbita debido a la mayor circunferencia orbital, y tarda 24 horas en completar un periodo orbital.

Además, debido a su alta velocidad, una astronave posee una inercia significativa. Los satélites en órbitas más bajas deben viajar más rápido para contrarrestar la gravedad de la Tierra ($\approx 7,8$ km/s), mientras que, en órbita geoestacionaria, los satélites se mueven más lentamente ($\approx 3,1$ km/s), ya que

la atracción gravitatoria es más débil a mayores distancias (Roy, 2005). Por lo tanto, el proceso de alterar o reubicar un satélite en su trayectoria orbital, denominado “maniobra”, requiere una cantidad sustancial de tiempo y energía (Wright et al., 2005). Del mismo modo, el vasto volumen del espacio orbital demanda sensores y algoritmos avanzados para el monitoreo y rastreo preciso de objetos orbitales; en GEO, las grandes distancias entre satélites hacen que la alerta temprana y la predicción de colisiones sean más difíciles, y en LEO, la alta densidad de satélites y escombros requiere un seguimiento preciso para evitar colisiones, en particular durante las maniobras (Tan y Reynolds, 2020).

Asimismo, cuanto mayor sea la distancia, mayor será la latencia de la comunicación. Los satélites GEO, por ejemplo, introducen una latencia de ≈ 250 milisegundos por ida y vuelta de la señal, lo que afecta las operaciones en tiempo real. Las constelaciones militares en órbitas LEO enfrentan menos problemas de latencia, pero requieren más satélites para una cobertura global debido a su campo de visión más pequeño. Las distancias más largas y los mayores requisitos de energía para maniobras en órbitas más altas como GEO o HEO requieren sistemas de propulsión eficientes y una planificación cuidadosa de la misión; por su parte, los satélites militares en LEO, si bien son más fáciles de maniobrar, deben lidiar con la resistencia atmosférica, lo que requiere ajustes periódicos que consumen combustible.

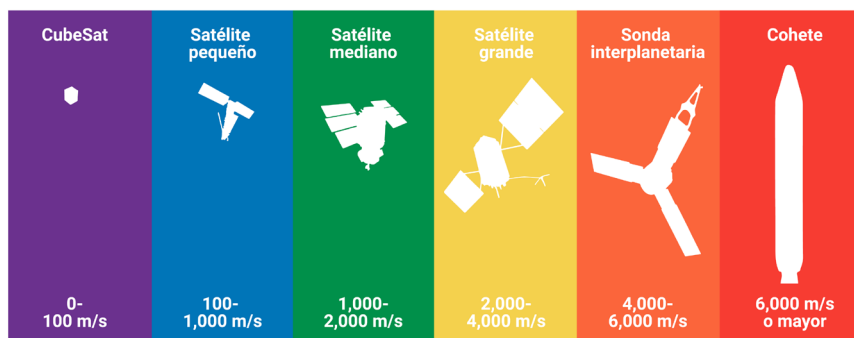
En efecto, una limitación para cualquier vehículo militar, sea un satélite, una aeronave o un tanque, es el requerimiento energético para su propulsión; en el caso de las aeronaves, éstas se encuentran equipadas con indicadores de combustible que muestran la cantidad de combustible restante, limitando el alcance operativo de la aeronave. Por su parte, un satélite en órbita requiere alteraciones considerables de velocidad para poder maniobrar, utilizando propulsores que a su vez exigen un consumo considerable de combustible⁶⁷, por lo que un satélite está equipado con un presupuesto de “delta-V” predeterminado, que sirve como medida de la capacidad de combustible de la nave espacial. Entonces, un cambio de velocidad se denomina “delta-V” (ΔV), constituyéndose en la medida de la magnitud de las variaciones de velocidad, que en su mayoría son causadas por los propulsores a bordo de una

⁶⁷ Debido a las altas velocidades a las que se mueve el satélite, alterar su trayectoria en el espacio requiere el gasto de energía para producir un cambio en la velocidad (ΔV). Normalmente, esto se logra encendiendo propulsores químicos o liberando gases a alta velocidad a través de un sistema de propulsión. Sin la aplicación de ningún cambio en la velocidad (ΔV), es imposible alterar el rumbo de un satélite.

astronave. En la astrodinámica, el ΔV se cuantifica en metros por segundo, y se dice, por ejemplo, que un satélite realiza una “combustión” cuando utiliza ΔV (Wright et al., 2005).

Por lo tanto, de manera similar a cómo un piloto puede determinar la distancia que puede recorrer con la cantidad de combustible en su tanque observando el indicador de combustible, un operador de satélite diseñará estrategias para los movimientos del satélite dependiendo del ΔV restante en el presupuesto del satélite. Pero, a diferencia de una aeronave a la que se le puede reabastecer de combustible incluso durante el vuelo, una vez lanzado al espacio exterior, un satélite carecerá de la capacidad de aumentar su presupuesto de ΔV ⁶⁸. En consecuencia, la maniobrabilidad y la velocidad de un satélite dependen de la cantidad y el tipo de combustible que posee, y existen limitaciones prácticas con respecto a la cantidad de combustible que un satélite puede transportar, ya que eleva la masa total necesaria para el lanzamiento a la órbita; la Figura 5 muestra la capacidad de varios presupuestos ΔV según el tipo de astronave.

Figura 5. Conceptualización de los presupuestos de ΔV



Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

En las últimas dos décadas se han producido avances significativos en la categoría de satélites de entre 10 y 50 kilogramos (kg), atribuidos al sofisticado desarrollo de miniaturización tecnológica. El extremo izquierdo de la Figura 4 representa presupuestos ΔV mínimos (de 0 a 100 m/s), análogos a las capacidades de astronaves del tamaño de una caja de zapatos, conocidas como “CubeSats”. Un CubeSat convencional con formato “1U” mide 10x10x10 centímetros (cm), posee un volumen de 1 litro (lt) con una masa de ≈ 1 kg. La

⁶⁸ Actualmente no existe ninguna instalación orbital operativa disponible para repostar las agotadas reservas de ΔV de un satélite.

cantidad de segmentos de CubeSat indica las dimensiones del sistema; por ejemplo, un sistema que mide 10x10x30 cm se clasifica como “3U”, mientras que un sistema de 10x20x30 cm se clasifica como “6U”, correspondiente a volúmenes de 3 y 6 lt, respectivamente (Sebestyen et al., 2018). Entonces, por sus pequeñas dimensiones, los CubeSats normalmente carecen de la capacidad para transportar suficiente combustible para más de un número muy limitado de maniobras a lo largo de su vida útil (como ajustes orbitales en respuesta a la resistencia atmosférica), si es que están equipados con combustible.

El extremo derecho de la Figura 5 corresponde a los cohetes que utilizan presupuestos ΔV sustanciales para elevar los satélites a las distancias necesarias para la órbita terrestre. Entonces, los satélites poseen presupuestos ΔV mayores a medida que aumenta su tamaño, aunque todo satélite tiene un límite en la cantidad de combustible que puede transportar. Para maniobras a la tercera y/o cuarta región astropolítica (que superan los 4.000 m/s, como el viaje interplanetario), los satélites necesitan la utilización de fuentes externas de ΔV , ya que el ΔV necesario para las maniobras supera las capacidades del satélite y debe ser suministrado por fuentes externas⁶⁹. El ΔV es, por lo tanto, un concepto muy importante en las operaciones y la maniobrabilidad de los satélites, y da cuenta de que la capacidad de participar en una guerra orbital está limitada por la disponibilidad de combustible (Reesman y Wilson, 2020).

Maniobras básicas de satélites en la segunda región astropolítica

Un satélite altera su órbita durante las maniobras; y como la velocidad del satélite depende de su órbita, las maniobras en el espacio son extremadamente complejas. Wright et. al (2005) señalan que normalmente se emplean tres maniobras fundamentales para el cambio de órbita: (1) cambiar la forma o el tamaño de una órbita dentro del plano orbital; (2) cambiar el plano orbital cambiando la inclinación de la órbita; y (3) cambiar el plano orbital rotando el plano alrededor del eje de la Tierra con una inclinación constante. Las maniobras en el plano orbital permiten al usuario modificar la altitud de un satélite en una órbita circular, alterar la forma de la órbita, ajustar el período orbital, reposicionar dos astronaves dentro de la misma órbita y desorbitar un satélite para su regreso a la Tierra. Dado el vacío inherente al espacio exterior, toda aceleración debe fundamentarse en la tercera ley Newtoniana (Liu, 2023), por lo que la Tabla 2 describe algunas maniobras orbitales

69 Esto incluye el uso de vehículos de lanzamiento y módulos a medida que se pueden fijar a los satélites y posteriormente descartar cuando se agoten. Algunas sondas interplanetarias utilizarán sobrevuelos planetarios para alterar su velocidad con el fin de alcanzar objetos distantes..

frecuentes con los valores correspondientes de los ΔV necesarios para cada maniobra, donde $\Delta\theta$ es el cambio de inclinación.

Tabla 2. ΔV requeridos para maniobras orbitales

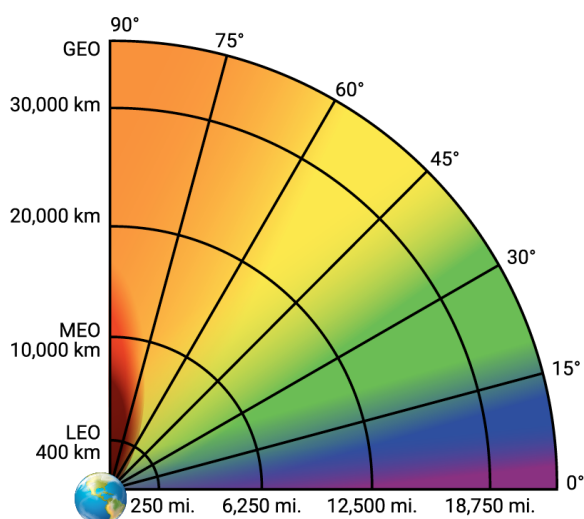
Tipo de Maniobra Satelital	ΔV Requerido (km/s)
Cambio de altitud orbital en LEO (de 400 a 1000 km)	0,3187
Mantenimiento de la posición en GEO durante 10 años	0,5-1
Desorbitación desde LEO a la Tierra	0,5-2
Cambio de inclinación del plano orbital en GEO	
en $\Delta\theta = 30^\circ$	1,5916
en $\Delta\theta = 90^\circ$	4,3485
Cambio de altitud orbital de LEO a GEO (de 400 a 36.000 km)	3,8565
Cambio de inclinación del plano orbital en LEO	
en $\Delta\theta = 30^\circ$	3,9715
en $\Delta\theta = 90^\circ$	10,8505

Fuente: elaboración propia a partir de Wright et.al (2005).

Una maniobra frecuentemente utilizada es el cambio de plano, en la que el plano de la órbita del satélite se inclina con respecto a su posición original, manteniendo inalterada la altitud del satélite (Roberts y Staats, 2024). Debido a su alta velocidad y su importante impulso, los satélites requieren una cantidad sustancial de ΔV para ejecutar incluso ajustes menores en su trayectoria (Figura 6). Por ejemplo, en 2018 se colocó un satélite GEO en un plano orbital 17° por encima de la altitud prevista; en efecto, durante el lanzamiento, el cohete Ariane-5ECA, que llevaba el satélite Al-Yah-3 a su posición orbital, sufrió una pérdida de telemetría provocando un despliegue no nominal de los satélites en una órbita con una inclinación de $20,6^\circ$ en lugar de 3° (NASA, 2018). Por ende, el ajuste del ángulo para alcanzar la órbita de misión designada utilizó el 40% del presupuesto total de ΔV del satélite, acortando significativamente su vida útil. Por este motivo, el satélite se lanza

lo más cerca posible de su plano orbital previsto. Para cambiar de plano orbital se necesita una sola combustión (impulso) de los propulsores de la nave, en el que se aplica ΔV a la órbita del satélite. Pero como esta combustión debe realizarse de manera precisa en el lugar donde convergen el plano deseado y el plano orbital actual, puede que se necesite algún tiempo de tránsito para esperar el momento ideal para maniobrar. En el peor de los casos, esto requiere esperar medio período orbital, que es ≈ 1 hora en LEO y 12 horas en GEO.

Figura 6. Presupuesto de ΔV de cambio de plano

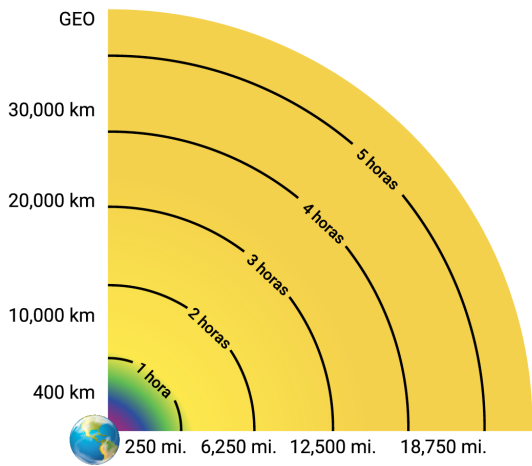


Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

Durante la misión, un satélite también puede necesitar ajustar su altitud, si el cohete que lo lleva al espacio no es lo suficientemente potente para recorrer toda la distancia; esto sucede con frecuencia en el caso de los satélites que vuelan en órbitas de gran altitud, como las GEO. Un satélite que experimenta cambios de altitud significativos necesita una gran cantidad de ΔV , de forma similar a un tren que tiene que escalar una montaña (Reesman y Wilson, 2020). En consecuencia, una maniobra de cambio de altitud requiere al menos dos encendidos de motor, los cuales se llevan a cabo en lugares específicos de la órbita donde el satélite está más cerca o más lejos de la Tierra (perigeo y apogeo). Además, un cambio de altitud puede tardar horas o días en

completarse, a diferencia del cambio de altitud o dirección de una aeronave, que ocurre en cuestión de segundos o minutos. Pasar de LEO a GEO, por ejemplo, lleva al menos 5 horas (Figura 7).

Figura 7. ΔV de altitud y presupuesto de tiempo



Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

Para reducir el ΔV necesario, los cambios de altitud se combinan con frecuencia con los cambios de plano necesarios. Los presupuestos de tiempo y ΔV necesarios para maniobras espaciales (cambio de plano y altitud, respectivamente) se muestran en las Figuras 5 y 6. La Figura 5 muestra cuánto ΔV se necesita para diferentes cambios de plano, suponiendo órbitas circulares⁷⁰, y la Figura 6 muestra el tiempo aproximado y el ΔV necesarios para elevar una nave espacial a una órbita más alta, a partir de una órbita circular de 500 km. Las maniobras orbitales que alteran la forma o el tamaño de la órbita de un satélite, manteniendo su plano orbital, se pueden ejecutar modificando la cantidad de velocidad sin alterar su dirección. Dichas maniobras pueden requerir mucho menos ΔV que aquellas que alteran la dirección del movimiento.

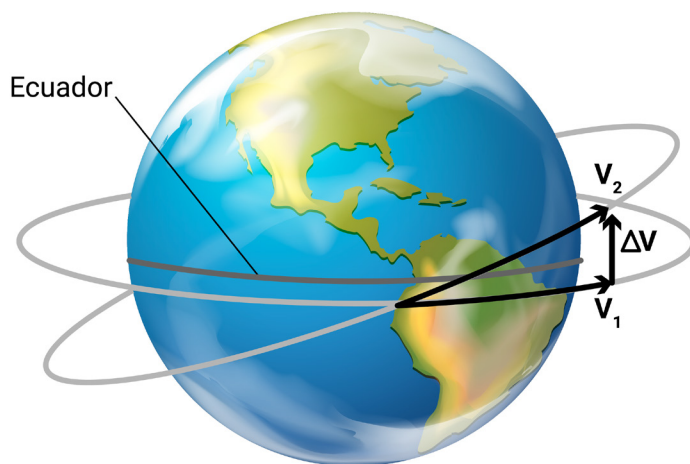
Cabe destacar que el período orbital de un satélite depende de su altitud y de la forma de su órbita, por lo que aquellas operaciones que alteran estos parámetros pueden modificar el período orbital (Yuan et al., 2019). Tales maniobras pueden ser ventajosas, por ejemplo, para alterar el intervalo de

70 Los colores corresponden a los presupuestos de ΔV delineados en la Figura 4.

revisión de un satélite de reconocimiento, haciéndolo así menos predecible. Por otro lado, las maniobras que modifican el plano de la órbita exigen modificar la dirección de la velocidad del satélite. En este orden de ideas, la considerable velocidad orbital de un satélite, que oscila entre 3 y 8 km/s en órbitas normales (Tabla 1), requiere la adición de un componente considerable de velocidad perpendicular a la velocidad orbital para efectuar un cambio direccional significativo; y como ya se ha explicado, las alteraciones significativas de la velocidad requieren cantidades sustanciales de combustible.

La forma más fácil de entender un cambio de plano es la que altera la inclinación del plano orbital en un ángulo $\Delta\theta$. Este movimiento requiere rotar el vector de velocidad del satélite en un ángulo $\Delta\theta$ equivalente (Figura 8).

Figura 8. Cambio de inclinación de plano orbital en un ángulo $\Delta\theta$



Fuente: elaboración propia a partir de Wright et al. (2005).

Esta figura muestra dos órbitas con inclinaciones variables; los vectores de velocidad de un satélite en cada órbita están representados por las flechas etiquetadas como V_1 y V_2 . Entonces, para alterar su órbita de un plano a otro, los propulsores del satélite deben generar un ΔV suficiente para cambiar su velocidad de V_1 a V_2 (Wright et al., 2005). Empero, a medida que la velocidad orbital disminuye con la altitud, el ΔV necesario para un cambio específico en $\Delta\theta$ disminuye de manera similar con la altitud orbital, aunque a un ritmo

bastante gradual. Para órbitas a una altitud de 1000 km, el ΔV necesario es apenas un 3 % menor que el requerido para órbitas a 500 km (Tabla 3).

Tabla 3. ΔV requerido para varios valores de $\Delta\theta$ para un satélite a una altitud de 500 km

$\Delta\theta$ (grados)	ΔV (km/s)
15	2.0
30	3.9
45	5.8
90	11

Fuente: elaboración propia a partir de Wright et. al (2005).

Esta tabla presenta los valores de ΔV necesarios para alterar el ángulo de inclinación θ en $\Delta\theta$ para un satélite ubicado a una altitud de 500 km. Por el contrario, el ΔV necesario a una altitud geosincrónica (36.000 km) es aproximadamente el 40% del ΔV requerido a 500 km. En consecuencia, las rotaciones se realizan a altitudes elevadas cuando es posible. Por ejemplo, considere un satélite diseñado para una órbita ecuatorial (inclinación cero) a una altitud geosincrónica, pero lanzado a un plano con una inclinación distinta de cero debido a la posición del sitio de lanzamiento (Wright et al., 2005). El satélite se ubica en GEO con una inclinación distinta de cero antes del ajuste de la órbita para lograr una inclinación cero.

Como el ΔV necesario para un $\Delta\theta$ específico disminuye con una reducción en la velocidad del satélite, se pueden ejecutar ajustes sustanciales al plano orbital de manera más eficiente a través de un procedimiento de tres pasos. Primero se proporciona al satélite un ΔV para elevar su altitud en el apogeo. En el apogeo, la velocidad del satélite disminuye, lo que provoca su rotación a esa altura, seguida de un ΔV final para restaurar la altitud a su valor inicial. Como se mencionó anteriormente, los movimientos que alteran la altitud requieren un ΔV comparativamente mínimo; por lo tanto, este proceso de tres pasos puede, en ciertos casos, exigir un ΔV total reducido que solo ajustar la orientación de la órbita inicial (Bate et al., 2020).

Esta técnica puede requerir mucho más tiempo que un mero ajuste de inclinación, ya que requiere la transición del satélite a una órbita más alta y el posterior regreso. Por ejemplo, contemple una astronave en órbita circular a una elevación de 500 km. Para alteraciones de inclinación de $\Delta\theta$ menores de

$\approx 40^\circ$, modificar las alturas antes de la rotación requiere más ΔV que girar a la altitud inicial. Sin embargo, para rotaciones que involucran ángulos mayores, alterar la altitud inicialmente requiere menos energía. Por ejemplo, si $\Delta\theta$ es 90° , ejecutar la rotación a una altura de 10.000 km disminuye el ΔV total requerido a 8,2 km/s, que es el 76% de los 10,8 km/s necesarios para la misma revolución a la altitud inicial de 500 km. La duración total del tránsito hacia y desde la altitud elevada es de alrededor de 3,5 horas. Girar a una altitud de 100.000 km disminuye el ΔV necesario aproximadamente en un 40% a 6,6 km/s y extiende la duración del tránsito a 37 horas⁷¹ (Wright et al., 2005).

Finalmente, para ciertas misiones, un objeto en órbita que busque acelerar fuera de órbita y reingresar a la Tierra, podrá hacerlo haciendo uso de sus propulsores. De ahí que, por ejemplo, un arma orbital que intente impactar la Tierra necesitará llevar propulsores para lanzarse fuera de órbita, y la velocidad a la que debe ocurrir el regreso a la Tierra determinará el ΔV necesario para esta maniobra (Wright et al., 2005). Adicionalmente, la dinámica de la desorbitación es compleja porque la trayectoria del satélite se ve invariablemente afectada por la creciente densidad atmosférica una vez que alcanza altitudes lo suficientemente bajas. Entre estos efectos están las fuerzas de sustentación (que sacan al objeto de su trayectoria), y las fuerzas de arrastre (que lo desaceleran); Yuan et. al (2019) recuerdan que ambos efectos pueden tener efectos significativos a altas velocidades.

Con base en el estudio de Wright et al. (2020), el procedimiento de desorbitación para tres valores de ΔV se representan en la Figura 8. Para ilustrar mejor las trayectorias de la desorbitación, este ejemplo supone una órbita circular de 3.000 km (que es relativamente alta), en el cual la velocidad del satélite⁷² disminuye en ΔV debido a un empuje instantáneo aplicado en el punto P en la dirección opuesta; el satélite sigue una órbita elíptica con un perigeo inferior a su altitud inicial como resultado de esta disminución de velocidad⁷³. La velocidad orbital del satélite debe reducirse a cero, o a un ΔV de 6,5 km/s, para que la gravedad lo haga caer verticalmente hacia la Tierra. El satélite caería a la Tierra en este escenario en 19 minutos, aterrizando en el punto O de la Figura 9, justo debajo del punto donde tuvo lugar el cambio de velocidad (punto P)⁷⁴.

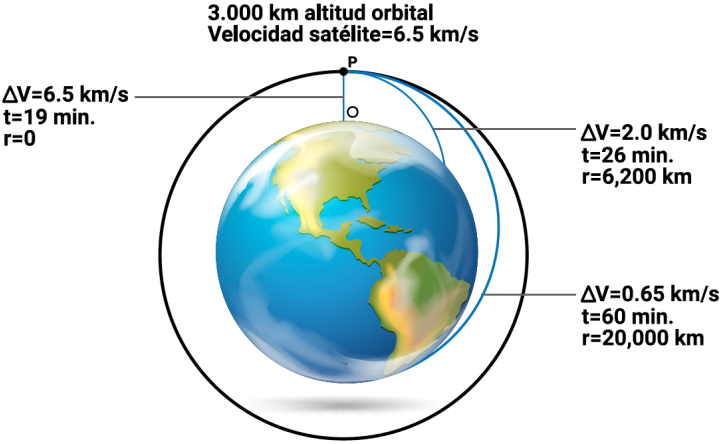
71 Ascender a mayores elevaciones solo disminuye ligeramente el ΔV necesario mientras que prolonga significativamente la duración del tránsito.

72 De acuerdo con la Tabla 1, la velocidad orbital del satélite a esta altitud es de 6,5 km/s.

73 La órbita cruzará la Tierra si el perigeo es suficientemente bajo.

74 Naturalmente, el punto de la Tierra debajo del satélite cuando se aplicó el ΔV generalmente se movería

Figura 9. Cambio de inclinación de plano orbital en un ángulo $\Delta\theta$



Fuente: elaboración propia a partir de Wright et. al (2005).

Como puede observarse, la trayectoria de reentrada también se representa en la figura, suponiendo una reducción de 2 km/s en la velocidad orbital del satélite. En este escenario, el satélite tardaría 26 minutos en descender a la Tierra, aterrizando a 6.200 kilómetros del punto O a lo largo de la superficie del planeta. El satélite chocaría con la Tierra a medio camino alrededor del mundo desde el punto O (a una distancia de unos 20.000 km) si la velocidad orbital solo se redujera en 0,65 km/s, lo que permitiría al satélite salir de la órbita en 60 minutos. El satélite pasaría por la Tierra a baja altitud y regresaría al punto P a través de una órbita elíptica si ΔV fuera significativamente menor que 0,65 km/s. El satélite alcanzaría una altitud de poco menos de 3.000 km cuando regresara a P, y descendería gradualmente en espiral en las órbitas posteriores hasta chocar con la Tierra debido a la resistencia al pasar tan bajo a través de la atmósfera en su encuentro cercano con el planeta. Además, el objeto podría ser capaz de salir de su órbita utilizando fuerzas de sustentación, lo que eliminaría la necesidad de que la trayectoria se basara únicamente en la velocidad del objeto (Wright et al., 2005).

Un satélite que orbita entre 500 y 1.000 kilómetros es un caso más pertinente para las preocupaciones de seguridad espacial porque es allí donde pueden ubicarse los satélites de ataque terrestre o de defensa contra misiles (Shaw et al., 2023). En este orden de ideas, si el empuje aplicado al satélite está orientado verticalmente hacia abajo (hacia el planeta Tierra), determinar el

durante el viaje del satélite hacia la Tierra debido a la rotación de la Tierra; el movimiento oscilaría entre cero en los polos y 500 km en el ecuador.

tiempo de salida de órbita y ΔV necesarios en esta situación es fundamental. En comparación con la simple disminución de la velocidad orbital, como se realiza para los casos que se ilustran en la Figura 8, la aplicación de empuje en esta dirección produce tiempos de salida de órbita algo más cortos. Un ΔV de 0,7 km/s produce un tiempo de salida de órbita de ≈ 15 minutos para un satélite en una órbita circular a 500 km de altitud (con una velocidad orbital de 7,6 km/s), y 1 km/s produce un tiempo de salida de órbita de 10 minutos⁷⁵. El tiempo de salida de órbita de un satélite en una órbita circular a 1.000 km de altitud (con una velocidad orbital de 7,4 km/s) es de ≈ 15 minutos para un ΔV de 1,4 km/s y de 9 a 10 minutos para un ΔV de 2 km/s (Wright et. al, 2005).

Por consiguiente, los tiempos de salida de órbita más cortos pueden resultar de valores ΔV más altos. Se ha hablado de altos valores de ΔV para armas de energía cinética destinadas a atacar objetivos terrestres, que deben alcanzar sus objetivos a altas velocidades, aunque el satélite tendría que llevar una gran cantidad de combustible; con un ΔV de 4 km/s, los tiempos de salida de órbita desde 500 km son de 2 a 3 minutos, desde 1.000 km son de 4 a 5 minutos y desde 3.000 km son de 14 a 15 minutos. Con un ΔV de 6 km/s, los tiempos de salida de órbita desde 500 km son de 1,5 a 2 minutos, desde 1.000 km son de 3 a 3,5 minutos y desde 3.000 km son de 8,5 a 9,5 minutos (Wright et al., 2005).

En resumen, y debido a la inmensidad de la segunda región astropolítica, numerosos satélites son incapaces de alcanzar las órbitas de otros satélites dentro de sus presupuestos asignados de ΔV , por lo que armas espaciales especializadas pueden necesitar asignaciones de ΔV mayores de lo habitual para facilitar maniobras precisas hacia objetivos designados. Además, la inmensidad del espacio implica que una confrontación entre dos entidades en el espacio no será muy intensa ni prolongada (Stone, 2022). En consecuencia, solo existen dos opciones (Reesman y Wilson, 2020): un uso breve y potente de una cantidad significativa de ΔV para un impacto sustancial, o un uso prolongado y decidido de ΔV para impactos más pequeños pero duraderos.

Dicho de otra manera, al planificar el ataque cinético de un satélite, es necesario considerar el tiempo y el ΔV necesarios para llevar a cabo una maniobra militar en órbita, debido a las grandes distancias involucradas (Szymanski y Drew, 2024). Los operadores de un satélite ofensivo pueden dedicar varias semanas a reposicionar el satélite en una posición de asalto, tiempo durante el cual las circunstancias pueden haber cambiado, modificando potencialmente la necesidad o propósito del ataque. Además, si un satélite que está atacando necesita ejecutar maniobras costosas de ΔV para alinearse con su objetivo,

75 El coeficiente de arrastre, que en parte depende de la forma del satélite, determina el tiempo exacto que necesita para salir de su órbita.

puede llegar a quedarse sin una cantidad de ΔV suficiente para contrarrestar una maniobra ofensiva o defensiva del enemigo.

Tácticas en el Combate Astrodinámico

Cada dominio de guerra ofrece características ligeramente diferentes para la conducción de operaciones militares en los niveles táctico, operativo y estratégico (Álvarez y Correcha, 2022); pero independientemente del dominio, desde mediados del siglo XVII, la guerra se puede reducir principalmente a dos aspectos (Biddle, 2004): la aplicación de efectos sobre un oponente (fuego), y la obtención de una ventaja posicional que aumenta o disminuye la eficacia de esos efectos (maniobra). La potencia de “fuego” puede resumirse en la capacidad de afectar negativamente a un oponente mediante la aplicación de energía, mientras que la “maniobra” es colocarse en una posición de ventaja.

Empero, en el caso del espacio exterior y a diferencia de otros dominios, la maniobra en sí misma puede ser una forma de fuego al negarle un puesto orbital a un adversario al ocuparlo primero, forzando a la fuerza opuesta a desplazarse y, por lo tanto, interrumpir el desempeño de su misión. El espacio ofrece enormes “campos” de fuego para armas y rangos de observación casi infinitos, y la capacidad de comunicarse con grandes franjas de la Tierra, u observarlas desde el espacio en cualquier momento dado es, de hecho, el principal atractivo de las plataformas espaciales para comunicaciones militares y reconocimiento⁷⁶. No en vano, al espacio se le considera el máximo “terreno elevado” (Álvarez et al., 2021a). Entonces, como dominio de la guerra, el espacio tiene que ver con el movimiento; en otras palabras, la mecánica y la física orbitales significan que, en el espacio exterior, el movimiento siempre es lo primero y más importante (Gurfil y Seidelmann, 2016). Esta primacía de la maniobra hace recordar la era moderna de la guerra de posiciones, en la que las batallas podían decidirse sin disparar un tiro, simplemente maniobrando para mantener una posición superior y convencer al oponente de que no había ninguna posibilidad real de obtener una victoria en el campo de batalla.

Las “avenidas de aproximación” son las rutas probables en el espacio de batalla que las unidades militares tomarán de manera ventajosa para alcanzar sus objetivos en la guerra terrestre (Ejército Nacional de Colombia, 2017). Mientras que la infantería desmontada se beneficiaría de un terreno boscoso o accidentado, los vehículos se beneficiarían de carreteras y terrenos abiertos. Por su parte, las trayectorias ventajosas hacia las órbitas o nodos objetivos

76 El área de la superficie de la Tierra que se puede ver aumenta con la altura de las órbitas, aunque a expensas de la intensidad de la señal o la resolución de las imágenes.

serían el equivalente de las “avenidas de aproximación” en el espacio. Y si bien la distinción entre unidades desmontadas y montadas parece no tener un análogo directo en la guerra orbital, la trayectoria preferida para una maniobra orbital dependerá de si la astronave intenta maximizar su eficiencia de combustible, su tiempo de tránsito o el momento específico de llegada a la nueva órbita (Roberts y Staats, 2024). Mientras que los dos primeros objetivos son únicamente una cuestión de física e ingeniería, para lograr el tercer objetivo es necesario comprender el plan de maniobra operacional; además, cabe mencionar que las trayectorias proyectadas de las misiones que deben lanzarse desde bases de lanzamiento espacial se tienen en cuenta al elegir sus ubicaciones⁷⁷ (Álvarez et al., 2021b).

Asimismo, el hecho de que el “terreno” no siempre sea estacionario es una de las rarezas del “combate astrodinámico”, definido como la aplicación estratégica y táctica de los principios de la mecánica orbital para conducir operaciones militares ofensivas o defensivas en el espacio⁷⁸. En efecto, el terreno natural, como colinas, montañas, bosques y masas de agua, no se mueve durante el combate terrestre; esto también aplica al terreno artificial como carreteras, puentes y edificios. Por su lado, los cuerpos celestes y los campos gravitatorios que los acompañan conforman el terreno natural del espacio, y se podría argumentar que las estaciones espaciales en órbita se califican como “edificios”. Pues bien, dado que todos los demás objetos tácticamente importantes giran alrededor de la primera región astropolítica, la Tierra en sí es el terreno dominante para las operaciones militares espaciales; sin embargo, además de viajar a través del Sistema Solar, la Tierra también gira sobre su eje, por lo que no es realmente estacionaria. Por ende, las áreas de la Tierra que un satélite puede ver siempre están cambiando a menos que el satélite esté en una órbita perfectamente geoestacionaria.

Empero, la mayor barrera para el movimiento sin restricciones en la segunda región astropolítica es la gravedad, y las leyes de Kepler y Newton son severas en este sentido⁷⁹. Dentro de la atmósfera terrestre, aeronaves, tanques y buques

77 Por ejemplo, los lanzamientos en órbitas de alta inclinación se realizan normalmente en el cosmódromo ruso de Plesetsk, mientras que las misiones en órbitas de baja inclinación se benefician enormemente del sitio de lanzamiento de Kourou en la Guayana Francesa.

78 Esta definición, de los autores de este capítulo, implica el uso deliberado de maniobras, posicionamiento y explotación de la dinámica orbital para lograr la superioridad en un entorno espacial disputado.

79 La gravedad afecta cada maniobra. Pero debido a los resultados potencialmente desastrosos de las colisiones involuntarias, los objetos espaciales creados por el hombre también pueden plantear riesgos para la navegación. Cabe mencionar que surgirán nuevos peligros u obstáculos a partir de los escombros producidos por los ataques cinéticos a las aeronaves. Si bien todavía existen barcos de guerra hundidos, aeronaves derribados y vehículos de combate terrestres destruidos en la Tierra, en el espacio, las naves espaciales destruidas por efectos cinéticos y los escombros que dejan atrás

de guerra tienen la capacidad de moverse en cualquier dirección, ya sea en una trayectoria lineal, circular, e incluso en zigzag. Los satélites carecen de esa independencia en el movimiento, ya que se encuentran en un perpetuo estado de caída libre alrededor del planeta, siguiendo una trayectoria circular o elíptica producto de la fuerza gravitacional de la Tierra (Reesman y Wilson, 2020). Y cuando un satélite intenta acercarse a otro satélite, la naturaleza de su movimiento, ya sea circular o elíptico, adquiere importancia; por lo tanto, debido a la inmensidad de la segunda región astropolítica y a la intrincada interacción entre velocidad, altitud y trayectoria de un satélite, alterar su órbita requiere la utilización tanto de ΔV , como de una cierta cantidad de tiempo; y el tiempo es crucial.

Operaciones de Encuentro y Proximidad (OEP)

Un arma espacial capaz de dañar un satélite o interferir con su funcionamiento se denomina “arma antisatélite” (ASAT). En la guerra orbital, existen dos categorías de ASAT de impacto cinético: misiles ASAT basados en tierra (lanzados desde plataformas en tierra, mar o aire), y ASAT orbitales (vehículos de destrucción cinética en órbita). De acuerdo con Grego y Wright (2010), los ASAT basados en tierra son misiles que utilizan un cohete para transportar una pequeña ojiva explosiva para colisionar con un satélite. En este orden de ideas y gracias a la importante capacidad ΔV del cohete, se permite que la ojiva se posicione en la trayectoria de intercepción adecuada, lo que requiere un mínimo de propulsor para alcanzar su objetivo; esto los hace armas más “intuitivas”, ya que funcionan de manera similar a las municiones guiadas con precisión utilizadas en la Tierra. Y a diferencia de los ASAT orbitales, necesitan un mínimo tiempo de preparación para volverse operativas, y la duración del vuelo puede ser inferior a 10 minutos a la órbita LEO y menos de 5 horas a la órbita GEO, limitándole al objetivo una corta ventana de reacción⁸⁰.

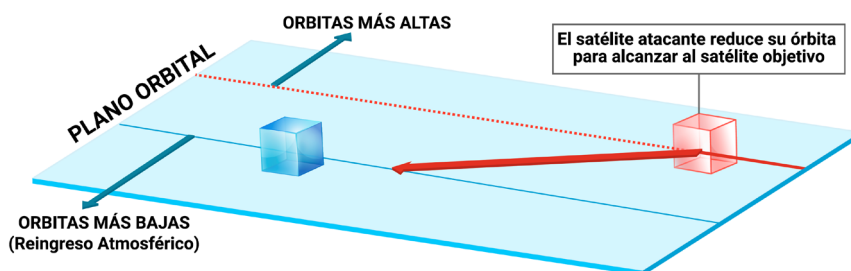
Por el contrario, un ASAT orbital es esencialmente un satélite diseñado para eliminar intencionalmente otros satélites. Esto se puede lograr mediante operaciones de encuentro y proximidad (OEP) o utilizando armas a bordo.

se moverán y cambiarán de acuerdo con la física del impacto fatal, los efectos de la gravedad y el impulso impartido por la órbita de la astronave (Tan y Reynolds, 2020).

80 Al lanzar un misil, la ojiva se desprende a cierta distancia del objetivo, utilizando buscadores y propulsores a bordo para mejorar su trayectoria. Siempre que el misil siga la trayectoria correcta y la posición del objetivo se mantenga en gran medida coherente con las predicciones del atacante, es probable que la ojiva intercepte con éxito el objetivo. Sin embargo, si el objetivo ejecuta maniobras evasivas, o si el misil no logra enviar la ojiva a lo largo de la trayectoria prevista, el ASAT tendrá un ΔV restringido para ajustarse al curso de intercepción apropiado.

A diferencia del misil ASAT terrestre, que se puede desplegar sin previo aviso, un ASAT orbital puede lanzarse meses o incluso años antes de un conflicto previsto (Grego y Wright, 2010). Asimismo, como el ASAT orbital es un satélite (o es desplegado por un satélite), el arma debe colocarse en una órbita⁸¹ que permita el acceso al objetivo, aumentando la probabilidad de que los operadores del objetivo detecten con anticipación la potencial amenaza. El ASAT orbital debe posteriormente maniobrar para posicionarse y ejecutar su ataque, lo que requiere tiempo y ΔV . No obstante, y a diferencia de un misil ASAT que se acerca rápidamente, el ASAT orbital tiene la ventaja de poder rastrear con mayor eficacia un objetivo que maniobra. En la Figura 10 se presenta un modelo de ataque de maniobra orbital en el que un satélite atacante (Rojo) desciende de su órbita para encontrarse con un satélite objetivo (Azul), reconociendo que las astronaves en el espacio deben ocupar el mismo plano orbital para viajar en compañía; por lo general, un par o trío de satélites ocupa una órbita idéntica, y uno de ellos va unos segundos detrás del otro a lo largo de la misma trayectoria orbital.

Figura 10. *Maniobra de ataque orbital*



Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024).

Con base en lo anterior, en un combate astrodinámico se requiere la proximidad de dos ASAT orbitales rivales. Así como los portaaviones se posicionan estratégicamente cerca de buques de guerra hostiles para garantizar que sus aeronaves puedan alcanzarlos y atacarlos de manera efectiva, en el contexto de la segunda región astropolítica, esto implica que dos satélites deben ocupar, simultáneamente, el mismo lugar físico. Alinear dos satélites a la misma altura y plano es un proceso muy sencillo, pero requiere una cantidad importante de tiempo y ΔV (Gurfil y Seidelmann, 2016). Sin embargo, es importante señalar que lograr esta alineación no significa necesariamente

81 La órbita puede ser idéntica (en altitud y plano orbital), o intersectar la órbita del objetivo.

que los satélites estén exactamente en la misma ubicación. La alineación de ambas aeronaves durante su vuelo orbital también debe ser idéntica; pero debido a la correlación entre velocidad y altitud, lograr la alineación de dos satélites en el mismo lugar no es fácilmente comprensible (Tapley et. al, 2004). En consecuencia, se requiere una estrategia meticulosa y una sincronización precisa.

Realizar un sobrevuelo es un método para acercarse a otro satélite. Un sobrevuelo se refiere a la situación en la que una nave espacial se aproxima mucho a la posición de otro satélite, pero sus órbitas no se alinean, aunque debido a las trayectorias orbitales dispares de los satélites, mostrarán la ilusión de que se cruzan rápidamente entre sí. Estas maniobras son ventajosas para misiones de inspección en las que el objetivo no es aniquilar el objetivo sino capturar su imagen; y los sobrevuelos a menudo requieren un ΔV bajo para que un satélite ofensivo los ejecute, ya que puede explotar los puntos de intersección naturales de las dos órbitas para acercarse a su objetivo. En cambio, una intercepción es una operación deliberada donde el objetivo es alinear posiciones con el objetivo, lo que resulta en la destrucción de ambos satélites.

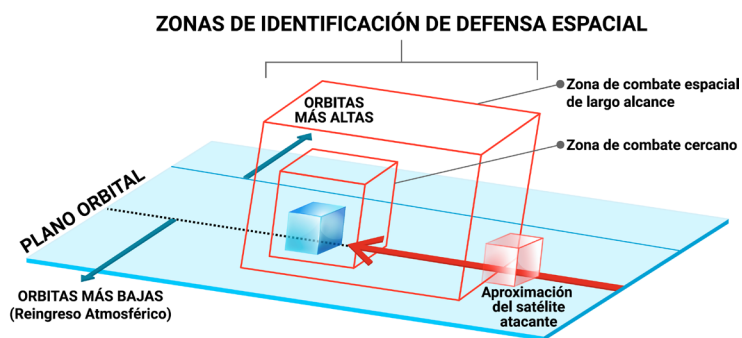
Un componente clave para el combate astrodinámico es la capacidad de localizar y rastrear satélites; por ende, la Conciencia Situacional Espacial (CSE), es decir, la habilidad para entender e interpretar el ambiente tridimensional y los elementos que lo conforman, se convierte en un requerimiento crítico para la guerra orbital. La CSE y las tácticas de combate en la segunda región astropolítica están profundamente interrelacionadas, ya que la capacidad de operar eficazmente en el espacio depende de entender y prever el entorno orbital; en el contexto de las operaciones militares espaciales, la CSE proporciona la base informativa necesaria para diseñar y ejecutar tácticas precisas y maniobras eficientes, maximizando las oportunidades y minimizando los riesgos de los activos espaciales.

Como la CSE es la capacidad de monitorear, comprender y prever las dinámicas en el entorno espacial, la CSE incluye (Álvarez et al., 2021a): (1) identificar la ubicación, velocidad y trayectoria de satélites, escombros espaciales y aeronaves hostiles; (2) detectar posibles colisiones, intercepciones o interferencias; (3) predecir movimientos futuros basados en principios de mecánica orbital; y (4) evaluar el comportamiento de otros actores espaciales para inferir sus objetivos. En consecuencia, para una CSE se hace uso de radares y telescopios, tanto terrestres como espaciales, que rastrean la ubicación de los satélites cuando están dentro del alcance del sensor; luego, la información se transmite a una agencia de catalogación (a menudo una institución militar), cada vez que un radar o un telescopio detecta un satélite, y allí se combina

con observaciones anteriores para determinar la órbita del satélite. Después de eso, los datos de la órbita se compilan en una base de datos central⁸², que los observadores pueden utilizar para predecir la ubicación futura del satélite (Reesman y Wilson, 2020).

En general, se han utilizado diversas variaciones de la terminología tradicional de defensa aérea para designar áreas del espacio que rodean a los satélites en órbita y que tienen funciones especiales de advertencia, comando y control. De acuerdo con Szymanski y Drew (2024), las dos variables más importantes para las maniobras orbitales en el mapeo de la CSE son los gráficos de altitud e inclinación, que ofrecen un mapa esencialmente fijo que muestra qué objetos espaciales están cerca y pueden representar una amenaza. En el espacio orbital, debido que los vectores tácticos pueden originarse en cualquier dirección, se toma en consideración una zona esférica del espacio, y por lo general, los operadores espaciales estiman la probabilidad de colisión en el punto más cercano de un paso entre objetos utilizando áreas esféricas alrededor de un satélite. No obstante, en el combate astrodinámico, un área tridimensional en el espacio exterior que rodea a un satélite se le considera como la “zona de identificación de defensa espacial”; en esta zona de defensa espacial otra nave no podría ingresar sin autorización, ya que, de hacerlo, se le consideraría hostil. Y esta zona incluye, a su vez, las “zonas de ataque de largo alcance espacial”, y las más pequeñas tácticas “zonas de ataque cercano” (Figura 11).

Figura 11. *Zona de identificación de defensa espacial*



Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024).

Los satélites pueden acercarse entre sí ya sea intencionalmente, mediante maniobras planificadas, o de manera involuntaria cuando sus órbitas

82 El catálogo incluye todos los objetos lanzados al espacio, incluidos desechos, satélites inactivos, cuerpos de cohetes y satélites activos. Cada objeto se examina para garantizar que sus órbitas coincidan con las predichas por cálculos anteriores.

se cruzan de forma natural. Y la determinación de distancias pequeñas o cercanas es subjetiva y depende del criterio de los operadores de satélites; por ejemplo, una nave espacial GEO tiene una tolerancia de 50 km para la distancia entre otros satélites, mientras que una estación espacial tripulada prohíbe que cualquier satélite se acerque a menos de 150 km. Por lo tanto, se ha propuesto que el tamaño de la zona de defensa espacial alrededor de un satélite puede ser una distancia mínima de seguridad de unos 50 kilómetros en órbitas GEO (Chow, 2020).

Cabe señalar que la vasta extensión del espacio está predominantemente desprovista de materia, lo que resulta en una escasez de puntos de referencia o puntos de referencia discernibles, a diferencia de la Tierra, donde existen numerosos elementos presentes para facilitar la determinación tanto de la ubicación como de la velocidad de un objeto. En consecuencia, para interceptar con éxito un satélite, es fundamental comprender la relación entre velocidad y altitud, la trayectoria elíptica que sigue los satélites y los principios de velocidad relativa. Si se pretende causar daño físico a un satélite utilizando medios cinéticos, es importante considerar estos principios fundamentales; esencialmente, chocar directamente contra un satélite causará mayores daños y producirá una mayor cantidad de escombros, en comparación con colisionar con él desde atrás⁸³ (Tan y Reynolds, 2020).

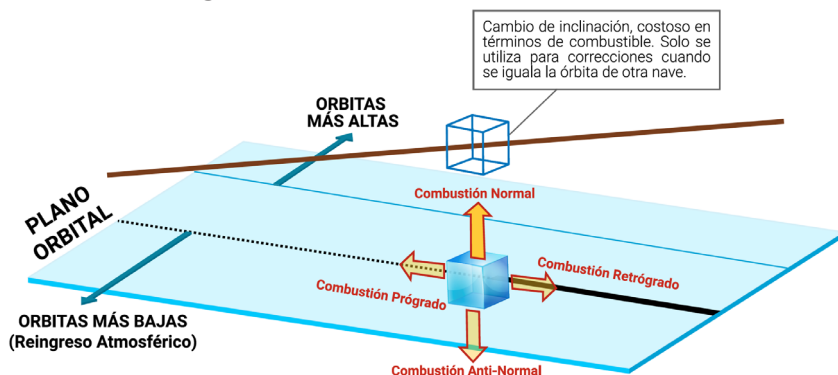
Para que un satélite alcance a otro satélite en la misma órbita, se debe realizar una maniobra orbital de fase, que consiste en alterar la posición del satélite dentro de su plano orbital, ya sea avanzando o rezagándose con respecto a su ubicación habitual, del mismo modo que una aeronave ajusta su velocidad para llegar a su destino antes o después de lo previsto. Pero a diferencia de una aeronave, que puede alterar su velocidad sin modificar su trayectoria, un satélite que ajusta su velocidad modifica simultáneamente su elevación; como resultado, el satélite pasa a una órbita diferente llamada “órbita de transferencia”, una órbita temporal que se utiliza para reubicar el satélite de su órbita original a una nueva (Tapley et al., 2004).

Asimismo, los vectores de combustión o encendido “progrado” (avance) y encendido “retrógrado” (retroceso), están alineados con la trayectoria de movimiento. El encendido progrado ocurre cuando la nave espacial enciende su motor en la dirección de su trayectoria; en este caso se produce un aumento en la velocidad de la astronave (energía cinética en la ubicación precisa de la combustión), pero no se produce una elevación en la altitud. Si no se mitiga,

83 Es muy probable que una colisión que se produzca a velocidades orbitales ponga fin a la vida operativa de ambos satélites.

el efecto hará que la órbita de la astronave sea cada vez más elíptica y hará que ascienda en altitud, distanciándose de la Tierra (Gurfil y Seidelmann, 2016).

Figura 12. *Maniobrar un satélite en órbita*



Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

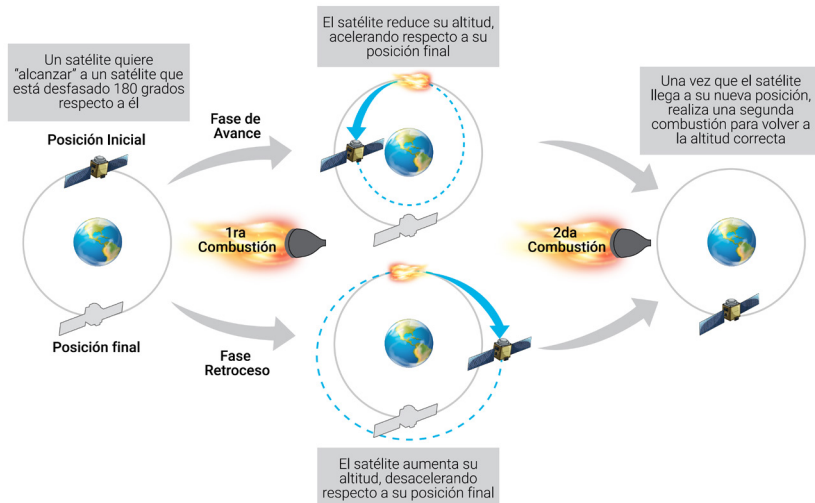
El encendido retrógrado ocurre cuando la astronave enciende su motor en la dirección opuesta exacta del encendido progrado; esta combustión reduce la energía cinética de la órbita de la astronave en el lugar de encendido del motor, influyendo en la altitud en el lado opuesto de la órbita y reduciendo la distancia de la Tierra (Figura 12). Según Gurfil y Seidelmann (2016), los encendidos normales y antinormales son ortogonales a la trayectoria de la astronave, y al completar un encendido estándar, la astronave asciende y se desvía de su órbita original, lo que da como resultado un cambio de inclinación que genera un gasto significativo de combustible⁸⁴.

Por lo tanto, una maniobra orbital de fase consta de dos combustiones consecutivas, en el que la combustión inicial impulsará al satélite a una órbita de transferencia elevada o reducida, donde el satélite se moverá a una velocidad distinta en relación con su posición inicial (Tapley et. al, 2004). Como una órbita más alta se caracteriza por una velocidad reducida, el satélite se moverá en dirección retrógrada en comparación con su punto inicial en la órbita; por el contrario, a una altitud más baja y una mayor velocidad, el satélite avanzará en relación con su posición inicial. Y una vez que el satélite ha llegado a la nueva ubicación, se ejecuta una maniobra de propulsión posterior para restaurar el

⁸⁴ Los encendidos se utilizan únicamente para realizar ajustes al alinearse con la órbita de otra nave espacial.

satélite a su órbita inicial⁸⁵. La Figura 13 es una descripción esquemática de las OEP, o cómo una satélite maniobra para acercarse a otro.

Figura 13. Maniobra orbital de fase

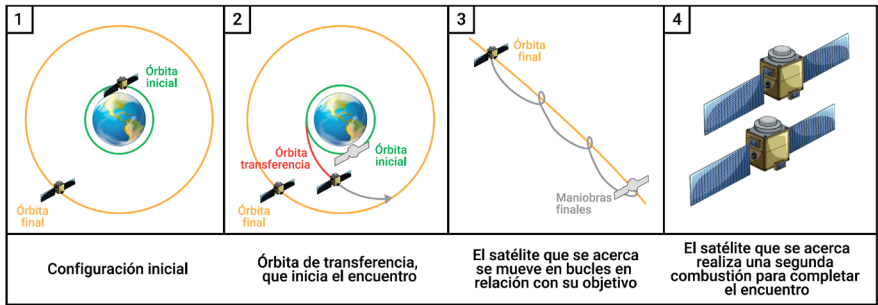


Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

De acuerdo con Reesman y Wilson (2020), para que se produzca un “operación de encuentro”, se requiere que dos o más satélites coincidan con su altitud, plano y fase, mientras que una “operación de proximidad” es cuando dos o más satélites maniobran uno alrededor del otro. En el combate astrodinámico, la mayoría de los ataques requieren la capacidad de maniobrar en la zona de defensa espacial de un satélite enemigo, aunque en una operación de proximidad el estado final deseado puede incluir, pero no requiere, el contacto físico con el adversario. En la Figura 14, el panel del extremo izquierdo (panel 1), muestra el satélite atacante (órbita verde) a una altitud diferente a la de su objetivo (órbita naranja). El satélite atacante entra en una órbita de transferencia (panel 2) que hace que se acerque al objetivo en una serie de bucles, visto desde el objetivo (panel 3). El movimiento circular se debe al cambio de altitud y velocidad del satélite que se acerca a medida que asciende a la órbita objetivo y vuelve a caer a su órbita inicial. Cuando el satélite finalmente se acerca a su objetivo (panel 4), realiza una combustión final para completar el encuentro.

85 Ambas combustiones tienen una magnitud similar en términos de ΔV .

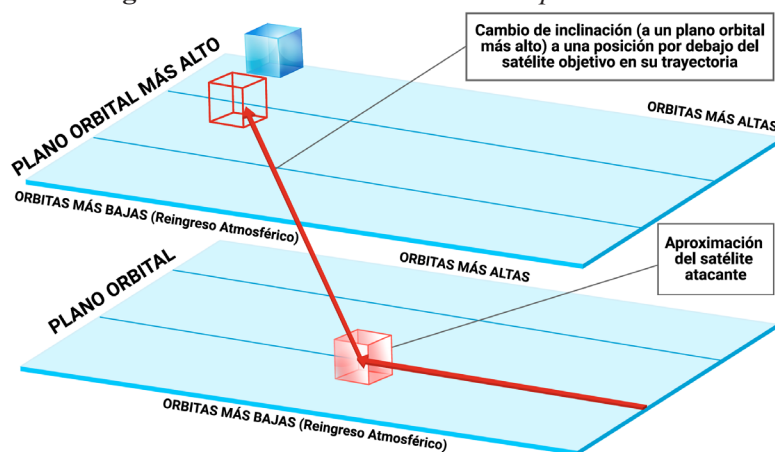
Figura 14. Operaciones de Encuentro y Proximidad



Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

Un aspecto fundamental de las OEP es la coincidencia de planos. La coincidencia de planos orbitales implica ajustar la trayectoria de un satélite para alinear su plano orbital con el de un objetivo (Figura 15). Al alinearse con un objetivo, el sistema de armas espacio-espacio de un agresor posee varias opciones, y si el arma no está restringida por ΔV , el atacante podrá determinar el momento y ubicación oportuna del enfrentamiento; incluso, puede parecer inofensivo si se abstiene inmediatamente de realizar maniobras amenazantes mientras espera el momento adecuado para atacar. El satélite objetivo podría ejecutar maniobras defensivas para evadir al ataque, pero como estas maniobras consumen ΔV , también afectará la capacidad del satélite para ejecutar posteriores maniobras ofensivas o defensivas. Además, las acciones defensivas con frecuencia desvían al satélite de su misión principal, logrando así el objetivo originalmente previsto por el atacante. En resumen, el cambio de inclinación de plano orbital es una maniobra diseñada para alterar la inclinación de la órbita de un satélite. Y esta maniobra requiere una alteración en el vector de ΔV en un nodo orbital, es decir, la ubicación donde se cruzan la órbita inicial y la órbita de destino, con la línea de nodos orbitales determinada por la intersección de los dos planos orbitales.

Figura 15. Cambio de inclinación de plano orbital



Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024).

Según Reesman y Wilson (2020), se deben tener en cuenta tres aspectos cuando se llevan a cabo acciones ofensivas en el combate astrodinámico. En primer lugar, las amenazas pueden maniobrar hacia puntos donde las órbitas convergen naturalmente, y a razón de la convergencia natural de ciertas órbitas, dos satélites pueden aproximarse intermitentemente entre sí sin ninguna alineación de sus planos orbitales. Por consiguiente, un atacante puede aprovechar estas oportunidades, ya que dos satélites en órbitas a altitudes idénticas, pero en planos distintos, se cruzarán dos veces. Un satélite hostil puede emplear pequeñas maniobras de desfase para alinearse e interceptar su objetivo en uno de estos puntos de intersección, de forma similar a como una fuerza militar en tierra utiliza puntos de estrangulamiento como un paso de montaña para emboscar a una patrulla enemiga; estos ataques generarán ventajosas velocidades relativas elevadas para ataques cinéticos destructivos.

En segundo lugar, la coincidencia de planos orbitales puede facilitar oportunidades de encuentro constantes con baja velocidad relativa; es decir, un satélite puede alinear su trayectoria para generar constantes oportunidades de ataque. Si el satélite está posicionado con una pequeña desviación de altitud respecto de su objetivo, el satélite atacante exhibirá una ligera discrepancia de velocidad; esa disparidad en velocidad de los dos satélites permite que el satélite atacante realice aproximaciones a baja velocidad relativa hacia el objetivo, ya sea más lento o más rápido que el objetivo.

En tercer lugar, un método aparentemente seguro ofrece posibilidades de trayectorias de intercepción con bajo ΔV . En las dos primeras técnicas, se maniobra un satélite atacante hasta una ubicación cercana al objetivo. Para que su aproximación parezca un paso aleatorio y natural, un satélite que pretende realizar una OEP podría posicionarse en una órbita que no se acerque demasiado al objetivo. Al igual que en la segunda observación realizada en el párrafo anterior, un satélite hostil igualaría los planos, pero un operador podría configurar el satélite para que se acerque a 100 km, en lugar de intentar una aproximación cercana a, por ejemplo, 10 km. Solo se necesitarían maniobras menores de ΔV para mover el satélite hacia una trayectoria de ataque a pesar de esta mayor separación porque la nave espacial hostil ya tiene planos igualados. Esto es funcionalmente equivalente a desplegar un bombardero sobre un área en una ruta de patrulla; desviar la aeronave a un área cercana para atacar requiere poco esfuerzo, aunque se mantenga en una ruta predeterminada.

En suma, las operaciones de encuentro y proximidad constituyen un elemento central del combate astrodinámico, pues ponen de relieve que la guerra en órbita no depende únicamente de la potencia de fuego, sino de la capacidad de maniobrar con precisión en un entorno regido por la mecánica orbital. La ejecución de estas maniobras exige planificación meticulosa, sincronización y un dominio avanzado de la Conciencia Situacional Espacial, lo que transforma a la OEP en una combinación de arte operacional y ciencia aplicada. Su estudio demuestra que, en el ámbito espacial, la ventaja estratégica no se logra únicamente con mayor número de satélites, sino con la habilidad de posicionarlos, controlarlos y anticipar los movimientos del adversario, aspectos que determinan tanto la eficacia táctica como la estabilidad estratégica en el dominio orbital.

Maniobras tácticas en LEO

En la guerra orbital y el combate astrodinámico, existen ramificaciones tácticas para cada órbita. Por ejemplo, desde un punto de vista militar, una astronave estaría más expuesta a altitudes orbitales más bajas como LEO o HEO⁸⁶, ya que es más susceptible a un ataque ASAT orbital o un ASAT basado en la Tierra (Long et al., 1986). Por ejemplo, si un actor hostil detonase un dispositivo nuclear con suficiente potencia a la altitud adecuada, los satélites en órbita en el área general del objetivo quedarían inutilizados, lo que daría como resultado que los efectos de radiación más graves se produjeran en la

86 Los satélites en órbitas de Molniya son vulnerables a ataques en el hemisferio sur, donde se encuentran a su altitud más baja.

órbita terrestre baja⁸⁷; dada una explosión nuclear de 50 kilotonnes a una altitud de 250 kilómetros, la radiación atrapada en un cinturón de radiación puede destruir satélites hasta a 2.000 kilómetros de distancia en el mismo plano orbital (Chun, 2000).

Sin embargo, al distribuirse en numerosos planos orbitales y debido a que LEO es el rango orbital más cercano a la Tierra, también es el más accesible en términos de potencia y energía de cohetes⁸⁸; entonces, no es extraño que más del 90% de los satélites desplegados en la segunda región astropolítica se encuentren en LEO (≈ 9.300 satélites a finales del 2024). En consecuencia, al ser LEO la zona en donde residen la mayoría de los intereses espaciales de actores estatales y no estatales, es muy probable que LEO sirva como el principal campo de batalla en una guerra orbital. Además, según Limoge (2024), la Fuerza Espacial de los Estados Unidos está desarrollando actualmente nuevos sensores de advertencia, seguimiento y defensa contra misiles ubicados en LEO y MEO. Se trata de un cambio importante respecto al sistema tradicional de sensores de advertencia de misiles que han utilizado satélites de gran tamaño en órbita GEO, ya que la proliferación de sensores que operan más cerca de la Tierra ayudará a mejorar la precisión de detección y seguimiento de misiles, así como a diversificar las órbitas para distribuir el riesgo en una guerra orbital.

Como ya se ha explicado anteriormente, los satélites en LEO viajan a una velocidad de ≈ 8 km/s, completando una órbita alrededor de la Tierra cada 90 minutos (Tabla 1). Si bien los satélites en LEO experimentan una mayor velocidad y cubren una menor distancia para completar un periodo orbital, todavía necesitan una cantidad significativa de tiempo para sufrir un cambio de órbita. Por lo tanto, si un agresor intenta alcanzar un satélite que está a la misma altitud y plano, pero ubicado en una posición diferente a lo largo de su trayectoria, puede ser una tarea que requiere de un tiempo considerable⁸⁹.

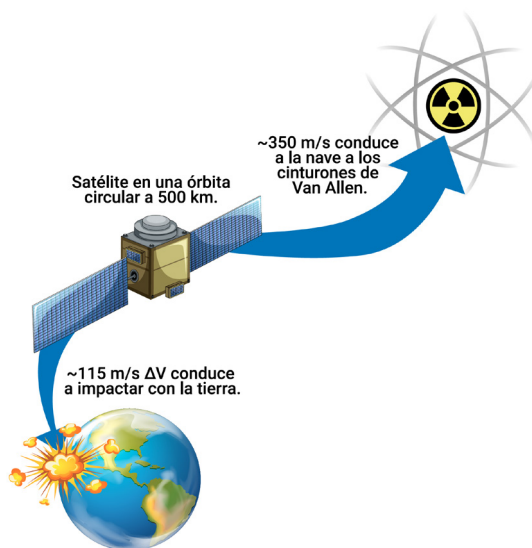
87 Una mina espacial nuclear es principalmente un arma de efecto de área orbital. El concepto de “arma de efecto de área orbital” describe un arma que cambia el entorno espacial, convirtiéndolo en un lugar más hostil para la supervivencia de los satélites.

88 Los satélites en LEO pueden ser mucho más pequeños y requieren menos potencia de señal para transmitir porque están muy cerca de la Tierra. El inconveniente es que se necesita una gran cantidad de ellos para mantener una cobertura constante de una determinada región del planeta, ya que completan 16 órbitas alrededor de la Tierra cada 24 horas. Debido a esto, una constelación LEO puede requerir cientos o miles de satélites para proporcionar una cobertura mundial constante. Empero, debido a su pequeño tamaño, los satélites son más económicos de fabricar y los transportes compartidos actuales son capaces de lanzar varios satélites en un solo cohete.

89 Existen diversas motivaciones para interceptar otro satélite durante un conflicto espacial, que van desde la vigilancia y el reconocimiento hasta causar daños o interrumpir sus operaciones; sin embargo, existen obstáculos asociados con la interceptación de otro satélite en la misma trayectoria orbital.

Debido a la extraordinaria área de cubrir la segunda región astropolítica, perseguir un objetivo requiere una estrategia meticulosa y una cantidad significativa de tiempo para llevarla a cabo.

Figura 16. *Restricciones de maniobra en LEO*



Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

Tomando el caso expuesto en la Figura 17, el satélite A tiene varias opciones si desea alcanzar al satélite B (que está desfasado 180° con respecto a él), ajustando la fase de su órbita para que coincida con la del objetivo mediante una maniobra que lo haga moverse hacia delante o hacia atrás⁹⁰. Empero, existen algunas restricciones físicas; por ejemplo, si el satélite en una órbita circular de 500 km se va a mover en la órbita hacia delante, ninguna combustión puede superar los 115 m/s⁹¹, porque de hacerlo, el satélite descenderá demasiado y volverá a un reingreso a la atmosfera terrestre⁹² (Figura 16).

90 Hay que tener en cuenta que es probable que los planificadores espaciales apunten a un satélite más cercano, por lo que este sería el peor escenario posible.

91 De manera similar a un caza de superioridad aérea que utiliza su postcombustión para aumentar su velocidad a costa de un consumo de combustible significativamente mayor, una combustión de este tamaño alteraría significativamente la órbita y consumiría una cantidad significativa del presupuesto ΔV de un satélite LEO.

92 Para hacer avanzar al satélite A en su órbita, el límite superior práctico es de 10° por hora (40° en 4 horas, 120° en 12 horas).

Además, existe un límite a la altura a la que el satélite A puede intentar retroceder en su órbita, ya que el cinturón de radiación de Van Allen comienza a causar problemas a alturas de alrededor de 2.000 km, en donde los satélites no están protegidos del clima espacial por parte de la atmósfera terrestre⁹³ (Figura 12). En términos generales, la radiación ultravioleta solar no puede atravesar la “piel” de un satélite, y los rayos X solo tienen suficiente energía para perforar unos pocos milímetros de aluminio durante las erupciones solares; pero en la mayoría de los casos, la frecuencia y duración de la radiación llegan a ser insuficientes para dañar los componentes electrónicos internos de la astronave. Empero, muchos satélites dependen de paneles solares para producir energía, y estos rayos X dañan y deterioran estos paneles.

De acuerdo con Baquero y Cáceres (2022), el problema más apremiante del clima espacial son las partículas cargadas, como los electrones con carga negativa y los protones con carga positiva, que si pueden dañar o degradar los componentes electrónicos debido a las energías extremadamente altas. Pues bien, el campo magnético del planeta Tierra atrapa estas partículas y crea los cinturones de Van Allen, dos regiones toroidales (con forma de rosquilla) que rodean el ecuador. El toro interior tiene la mayor densidad de partículas en el centro, a unos 3.000 km, y se extiende desde una altitud de unos 500 km hasta 5.500 km⁹⁴. En latitudes bajas y en el ecuador, la densidad de partículas es máxima, pero a medida que aumenta la latitud, disminuye. La densidad en el cinturón es extremadamente baja a una latitud de 50° o 60° norte o sur, y los protones de alta energía, que son los habitantes principales de este cinturón interior⁹⁵, pueden entrar fácilmente en las astronaves, dañar los instrumentos y poner en peligro a los astronautas después de una exposición prolongada; es por ello que los vuelos espaciales, ya sean tripulados o no, evitan las áreas de alta densidad.

Según Moldwin (2023), el toro exterior cuenta con la mayor densidad de partículas, extendiéndose desde unos 12.000 a 22.000 km de altitud; cabe mencionar que los electrones de alta energía constituyen la mayoría de la población en el cinturón exterior. En comparación con la distribución de

93 La mayoría de las personas no saben que el espacio tiene su propio “clima”. El Sol es la principal fuente de clima espacial de la Tierra. Los flujos de partículas de alta energía producidos por la actividad solar pueden causar problemas a las naves espaciales. Las operaciones espaciales también se ven afectadas por el estado, el comportamiento y la forma del campo magnético de la Tierra. Las operaciones espaciales se ven afectadas significativamente por la conocida Anomalia del Atlántico Sur (AAS), y se podría argumentar que el AAS es un terreno espacial accidentado que presenta un desafío para las naves espaciales que no han sido debidamente reforzadas.

94 Cerca de los polos, los cinturones se extenderán a elevaciones más bajas.

95 Los electrones de alta energía también están presentes en esta región, aunque son mucho menos frecuentes que los protones.

protones, la distribución de electrones es sustancialmente más variable tanto en el espacio como en el tiempo; es decir, el flujo de electrones, al igual que el flujo de protones, es mayor cerca del ecuador y disminuye hasta cero en latitudes de 60° norte o sur. Por su parte, la “ranura” que se encuentra entre los cinturones interior y exterior, tiene una baja densidad de electrones de alta energía, pero cuando los cinturones interior y exterior se superponen ocasionalmente durante los períodos solares activos, esta área, que varía en tamaño desde unos 6.000 a 12.000 km, puede desaparecer.

Los cinturones de radiación se pueden tener en cuenta al diseñar satélites porque están bien caracterizados; no obstante, el blindaje contra la radiación es más costoso y voluminoso. Por lo tanto, dependiendo del clima y el área de los cinturones de Van Allen que encontrará un satélite, la elección orbital dicta la cantidad de blindaje que necesita⁹⁶. Por ejemplo, la densidad de partículas cargadas es baja y se necesita un blindaje mínimo a elevaciones por debajo de los 500-1.000 km. Muchos satélites y todas las misiones de larga duración que involucran personal operan a estas altitudes. En resumen, los satélites en LEO no suelen estar contruidos para soportar una exposición prolongada a los cinturones de Van Allen; sin embargo, los satélites en órbitas más altas que deben atravesar el cinturón estarán protegidos para reducir los efectos de la radiación durante su tránsito⁹⁷.

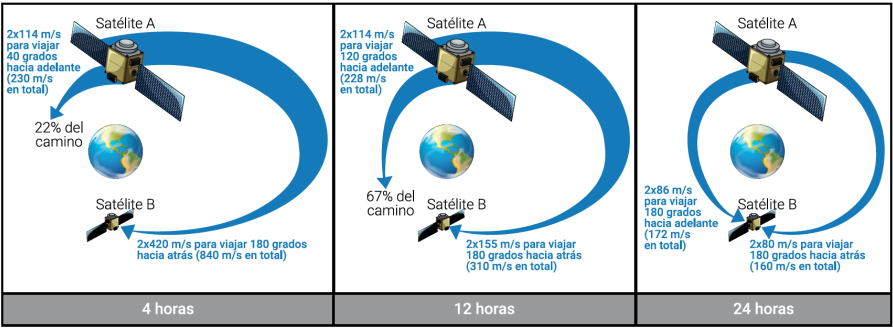
Pero existen opciones de desfase menos drásticas que las que se muestran en la Figura 14. En definitiva, y como lo señalan Reesman y Wilson (2020), se trata de un equilibrio entre la velocidad deseada por el operador y la cantidad de ΔV que está dispuesto a utilizar, y como ya se ha explicado anteriormente, el uso de ΔV restringe las opciones generales de maniobra del satélite. En la Figura 17 se ilustra tres posibles maniobras de desfase (maniobras de dos combustiones) para el Satélite A en una órbita terrestre baja de 500 km. Se muestra cómo el satélite A puede realizar una maniobra de retroceso en 4, 12 y 24 horas para alcanzar al satélite B. Para completar la maniobra en 4 horas, se requiere que tanto un ΔV total más alto y el Satélite A se desplacen

96 La mayoría de los electrones pueden ser detenidos por unos pocos centímetros de aluminio. Sin embargo, pueden producirse rayos X a medida que los electrones pierden velocidad al entrar en el aluminio. Por lo tanto, puede ser necesario un blindaje de plomo pesado para los satélites en los entornos con mayor intensidad de radiación para protegerse contra estos rayos X. Además, los sucesos inusuales tienen el potencial de alterar drásticamente el entorno de radiación y poner en peligro los satélites que no están diseñados para manejar flujos más altos. Las erupciones solares producen ráfagas de protones y electrones de alta energía cinco o diez veces al año, a veces con mayor intensidad de la prevista.

97 La actividad humana también puede modificar el entorno de radiación. En 1962, Estados Unidos llevó a cabo la prueba nuclear de Starfish a una altitud de 400 kilómetros, lo que provocó una importante perturbación en la distribución de los electrones atrapados. Aunque los efectos se extendieron hasta al menos 44.000 kilómetros, la región sobre el ecuador experimentó la perturbación más fuerte a elevaciones entre 1.600 y 6.300 kilómetros. Unos años después de la prueba, el nivel de radiación seguía siendo un orden de magnitud superior al habitual a esas altitudes, a pesar de que la perturbación decaía con bastante rapidez por debajo de los 1.600 kilómetros.

temporalmente a una altitud relativamente mayor que las opciones más lentas de 12 y 24 horas; por el contrario, si el Satélite A desea realizar una maniobra de cambio de fase hacia delante, le llevará un mínimo de ≈ 18 horas⁹⁸.

Figura 17. Alcanzando un objetivo en LEO



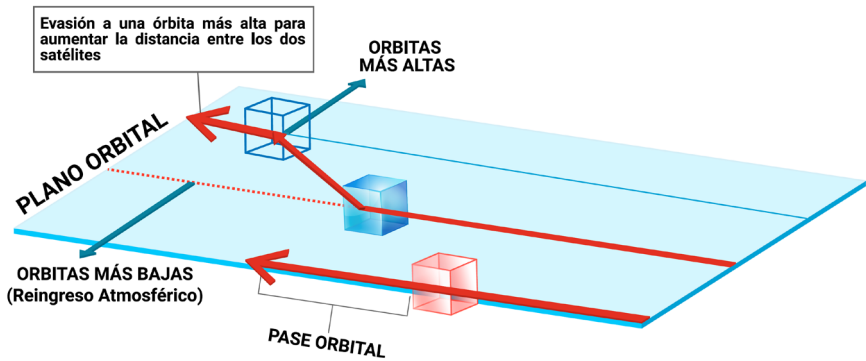
Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

Esto implica que una batalla en LEO será un desafío debido a los numerosos satélites que están dispersos en numerosos planos orbitales y se mueven a muy altas velocidades. Pero a pesar de su velocidad, los satélites en LEO se mueven lentamente entre órbitas, por lo que un ataque no será tan rápido como se desearía y necesitará un alto gasto de ΔV por parte del satélite atacante. Como se ha explicado previamente, el atacante y el objetivo deben estar en el mismo plano orbital y ejecutar la maniobra de cambio de fase adecuada. La figura 5 ilustra que cualquier maniobra de cambio de plano por parte del atacante será costosa; y como los objetivos pueden estar dispersos en numerosos planos, un atacante podría no tener el ΔV para alcanzar varios objetivos en varios planos. Por lo tanto, un atacante en LEO probablemente se lanzaría directamente a su plano objetivo y se acercaría a él en el transcurso de varios días.

La Figura 18 ilustra una maniobra de persecución orbital que involucra a un satélite objetivo (Azul) y un satélite de misión de inspección adversaria (Rojo). Ambos satélites orbitan la Tierra en el mismo plano orbital, pero a velocidades diferentes, y Rojo, al estar más cerca de la Tierra, puede pasar por debajo de Azul. El satélite Rojo fue lanzado después del satélite Azul y se posicionó en una órbita casi idéntica; por consiguiente, el satélite Rojo puede ejecutar una maniobra de elevación de órbita a una distancia en kilómetros justo debajo de Azul para facilitar un acercamiento y recopilar información del objetivo. Posteriormente, el satélite Azul ejecuta su maniobra inicial a una órbita más alta, distanciándose de Rojo, aumentando así la separación entre los dos.

98 En 4 horas solo podría recorrer el 22% del camino y en 12 horas podría recorrer el 67% del camino.

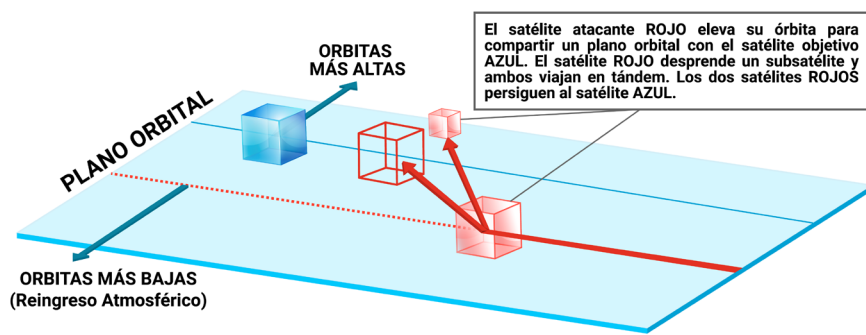
Figura 18. Maniobra de persecución orbital



Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024).

Con base en lo anterior y en respuesta a un satélite de observación o inspección, un satélite perseguido puede cambiar de posición orbital; empero, una maniobra menor requiere incluso un consumo valioso de ΔV , y el satélite de observación podría rastrear fácilmente al otro hasta la nueva ubicación. Esto podría dar lugar a una táctica en la que un satélite obliga a otro a continuar su trayectoria hasta agotar sus reservas de combustible, con lo que concluye prematuramente su vida útil operativa (Figura 19); alternatively, el movimiento podría dar lugar al fracaso de la misión, en particular si el satélite no es maniobrable y su posición orbital correcta es esencial para el éxito de la misión.

Figura 19. Maniobra orbital de acecho

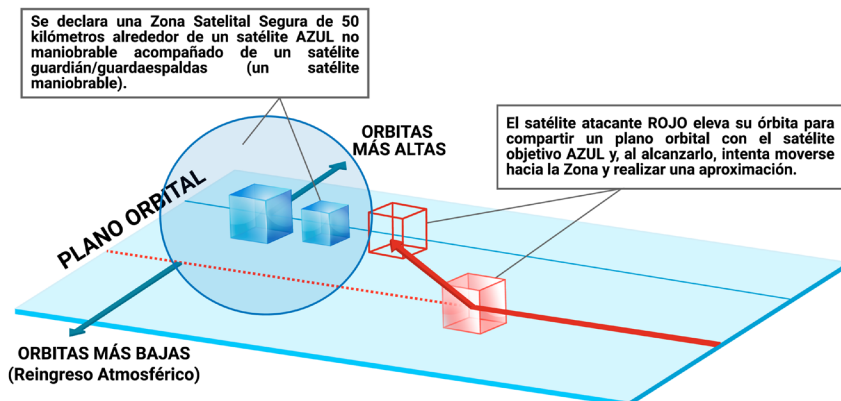


Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024).

Como se observa en la Figura 19, un satélite en maniobra (Rojo) emplea una táctica de acecho contra un satélite objetivo (Azul); el satélite rojo persiste

en elevar su órbita hasta que se alinea con el plano orbital de azul, y al hacerlo, el satélite rojo libera un subsatélite y ambos proceden al unísono en la persecución del satélite azul. Para contrarrestar este tipo de tácticas en contra especialmente de satélites no maniobrables, es que se ha propuesto una zona de seguridad esférica establecida alrededor de un satélite crítico pero vulnerable (Azul), con un radio mínimo de 50 km en órbita GEO, acompañado de un satélite guardaespaldas estacionado dentro de la zona para protegerlo de las incursiones potenciales de otros satélites (Figura 20). En este ejemplo, un satélite maniobrable adversario (Rojo) eleva su órbita para interceptar al satélite objetivo (Azul), y trata de ingresar a la zona para acercarse; sin embargo, el satélite guardian Azul que acompaña al satélite objetivo está estratégicamente posicionado para obstruir el acercamiento del oponente.

Figura 20. Zona de Seguridad Satelital



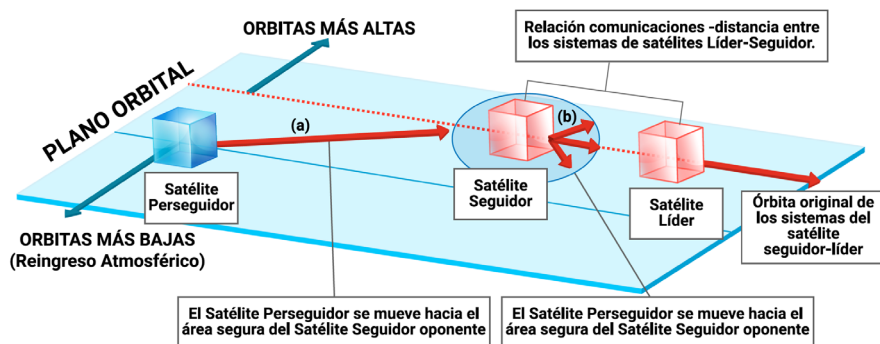
Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024).

En un escenario de persecución-evasión con tres aeronaves, Cao et al. (2024) examinan la dinámica de la participación activa en objetivos no cooperativos, en donde el perseguidor busca acercarse al evasor, mientras que el evasor intenta eludir el avance del perseguidor. La Figura 21 ilustra el problema táctico de una maniobra orbital en un hipotético escenario de persecución-evasión con tres aeronaves, que presenta un perseguidor Azul y un “sistema de satélites seguidor-líder” Rojo⁹⁹, en el que el evasor Rojo y el perseguidor Azul ocupan el mismo plano orbital y poseen inclinaciones orbitales idénticas.

⁹⁹ El término “sistema de satélite seguidor-líder” puede referirse a las recientes misiones espaciales chinas que presentan un brazo robótico en un satélite maniobrable que transporta o despliega un satélite de apoyo secundario por delante del satélite principal.

El satélite seguidor Rojo no coopera con respecto al satélite perseguidor Azul. Una limitación en la zona segura de maniobra del evasor Rojo es que tiene un radio restringido para maniobrar, debido a que la separación mínima entre el perseguidor y el evasor es de tan solo 13 km.

Figura 21. Persecución-evasión con tres aeronaves



Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024).

El estudio de Cao et al. (2024) indica que el seguidor se coloca a 15 kilómetros detrás del líder en una configuración conocida como “formación de seguimiento-vuelo”. En este caso y como lo muestra el vector (a) de la Figura 21, el satélite perseguidor Azul ejecuta una maniobra hacia una posible colisión o captura con el satélite seguidor Rojo, que viaja a lo largo de la misma órbita que su líder. En el vector (b) se ilustra el satélite seguidor y evasor Rojo, que está evadiendo el contacto con Azul, el cual posee un radio de maniobra restringido para evitar la colisión o captura, una restricción también dictada por su necesidad de mantener la comunicación con el satélite líder Rojo. El evasor inicia su maniobra inicial solo cuando el perseguidor se encuentra a 20, 30, 40 o 50 km; sin embargo, una mayor distancia puede servir como catalizador, impulsando a Rojo a maniobrar con una separación significativa de aproximadamente 100 a 450 km del perseguidor Azul. No obstante, en una persecución que involucra tres objetos espaciales, es necesario que los dos satélites en un “sistema de satélites seguidor-líder” mantengan la comunicación, lo que limita cualquier opción de maniobra de evasión¹⁰⁰.

Empero, en un escenario de persecución-evasión con tres aeronaves, el problema en el plano, donde tanto el evasor como el perseguidor ocupan el

100 La otra preocupación crucial es que la nave seguidora del sistema de satélites evasores evite una posible colisión con su líder; además de la necesidad de evitar colisiones, es crucial mitigar el impacto en la misión principal. Esto restringirá el movimiento del evasor a un área confinada.

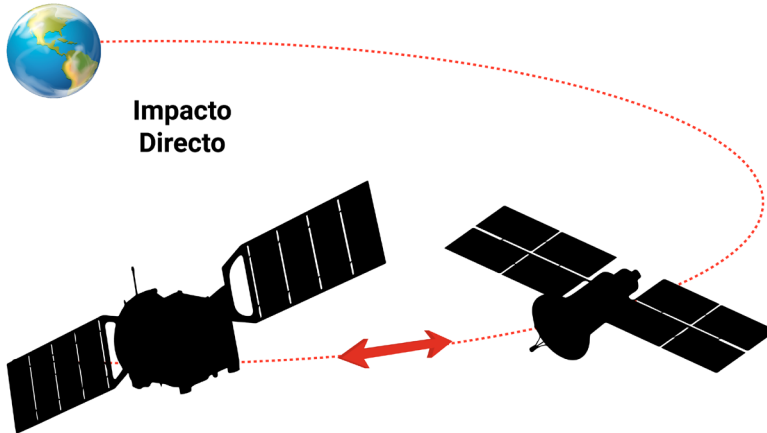
mismo plano orbital, presenta un mayor desafío para que el evasor Rojo evite ser capturado debido a la duración extendida de la ventana de encuentro en un proceso de encuentro coplanar. Si el evasor Rojo ejecuta una maniobra de contra-encuentro, el perseguidor Azul puede lograr un reencuentro dentro del mismo plano con un gasto de combustible reducido, y el momento del encuentro se puede seleccionar a voluntad, lo que aumenta la probabilidad de interceptar al evasor Rojo (Cao et al., 2024). Por el contrario, en una situación no coplanar, si el perseguidor Azul mantiene la inclinación orbital, el encuentro debe tener lugar en el nodo orbital ascendente o descendente, lo que complica la persecución. Además, durante las maniobras en el plano, el rango de movimiento del evasor Rojo está restringido al plano orbital, lo que exacerba el desafío de la evasión

En definitiva, lo que identifican Cao et al. (2024) en un escenario de persecución de tres astronaves, donde el evasor evita al perseguidor, es que los objetos perseguidor y evasor se alternan estratégicamente en los procesos de toma de decisiones. Y que, por consiguiente, en escenarios caracterizados por una distancia relativa inicial significativa y una duración prolongada, una maniobra “impulsiva” es preferible a una maniobra de “empuje continuo”. Una maniobra impulsiva es la activación breve de los motores de cohetes a bordo que alteran instantáneamente la magnitud y la dirección del vector de velocidad; durante una maniobra impulsiva, la posición de la astronave se considera constante y solo se altera su velocidad. En contraste, una maniobra de empuje constante se produce cuando el empuje del motor genera una aceleración continua que contrarresta las fuerzas gravitacionales que los cuerpos celestes circundantes ejercen sobre la astronave. En consecuencia, a diferencia de otras maniobras que inducen aceleraciones variables, el empuje continuo genera órbitas terminales elípticas, a menos que el caudal de masa disminuya significativamente (Cao et al., 2024). En resumen, el evasor Rojo logra escapar del perseguidor Azul cuando ambos poseen el mismo límite superior para el incremento máximo de velocidad impulsiva.

Ahora bien, en el combate astrodinámico en LEO, un ASAT orbital puede atacar a un satélite a través de una colisión frontal, una colisión lateral y una colisión trasera. Con relación al primer modo y de manera parecida a la colisión frontal de dos automóviles, un impacto frontal de un arma cinética contra un objetivo produce la máxima velocidad relativa y una colisión frontal reduce el tiempo disponible para la corrección del curso si el objetivo se desvía de los cálculos del arma (Figura 22). El ASAT debe desplegarse en el mismo plano orbital que el objetivo, pero en la dirección inversa, lo cual restringe efectivamente los ataques de colisión frontal, ya que maniobrar un ASAT en la trayectoria apropiada necesitaría miles de m/s de ΔV . Según afirman Tan

y Reynolds (2020), las colisiones frontales producen escombros sustanciales que pueden amenazar a otros satélites en órbita.

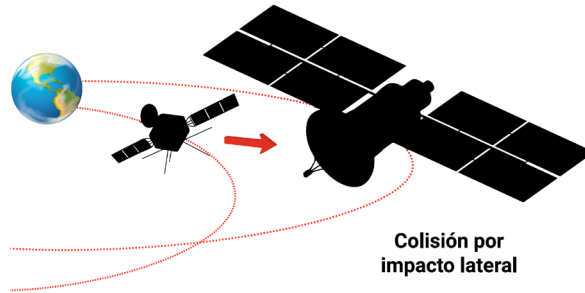
Figura 22. *Colisión frontal de arma ASAT en LEO*



Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la segunda, una colisión resultante de dos órbitas que se cruzan entre sí produce altas velocidades de impacto y poco tiempo para corregir la trayectoria. Para que una colisión lateral tenga éxito, solo es necesario que el objetivo y el atacante se encuentren en el mismo lugar al mismo tiempo, a diferencia de una colisión frontal. Por lo tanto, no es necesario que coincidan los planos orbitales (Figura 23). Como resultado, un atacante puede cruzar el plano del objetivo en el punto de impacto, pero proceder de un plano orbital diferente a una altitud diferente; esta característica es especialmente atractiva para los ASAT orbitales porque, hasta que impactan, los ataques pueden disfrazarse como intersecciones de órbitas inocuas. El atacante deberá colocar con precisión el interceptor en el punto de intersección en el momento preciso en que el objetivo está presente, lo que puede ser un desafío, para que una colisión lateral tenga éxito. Al igual que la colisión frontal, una lateral produce una gran cantidad de escombros (Tan & Reynolds, 2020).

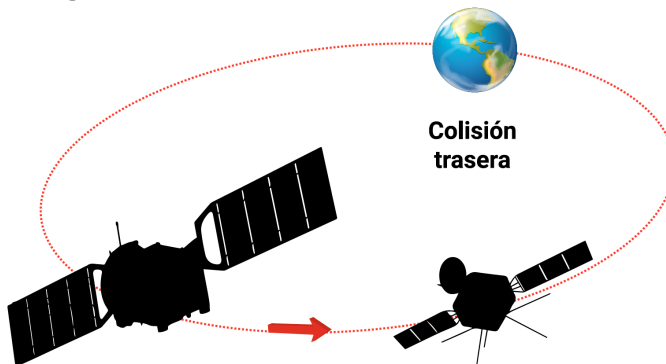
Figura 23. Colisión lateral de arma ASAT en LEO



Fuente: elaboración propia.

En cuanto al tercer caso, un ASAT orbital tiene más tiempo para modificar su órbita de aproximación para seguir mejor al objetivo en una colisión de cola. Sin embargo, las velocidades de impacto serán menores en esta configuración, por lo que el atacante tendrá que usar ΔV adicional para atacar cinéticamente o usar armas a bordo para completar el ataque. Además, el ataque produce menos escombros debido a las velocidades de impacto más bajas (Tan & Reynolds, 2020). Asimismo, los planos del atacante y el objetivo deben coincidir para que se produzca una colisión trasera. En el combate astrodinámico en GEO, y dado que todos los satélites en GEO ya están casi en el mismo plano y orbitan en la misma dirección, es fácil hacer pasar a un satélite atacante como no agresivo, lo que hace que GEO sea un lugar particularmente bueno para una colisión trasera por parte de un satélite atacante (Figura 24).

Figura 24. Colisión trasera de arma ASAT en GEO



Fuente: elaboración propia.

En conclusión, las maniobras tácticas en LEO evidencian que este entorno orbital, aunque accesible y vital por la concentración de satélites, impone severas restricciones operativas derivadas de la alta velocidad, el consumo intensivo de ΔV y la exposición al clima espacial. Estas limitaciones convierten cualquier persecución, intercepción o colisión en un proceso costoso y prolongado, donde la estrategia orbital pesa tanto como la tecnología. De ahí que LEO, más que un espacio de enfrentamientos rápidos, se configure como un escenario de desgaste, vigilancia persistente y maniobras calculadas, lo que refuerza su papel central como campo de batalla de una guerra espacial contemporánea.

Maniobras tácticas en GEO

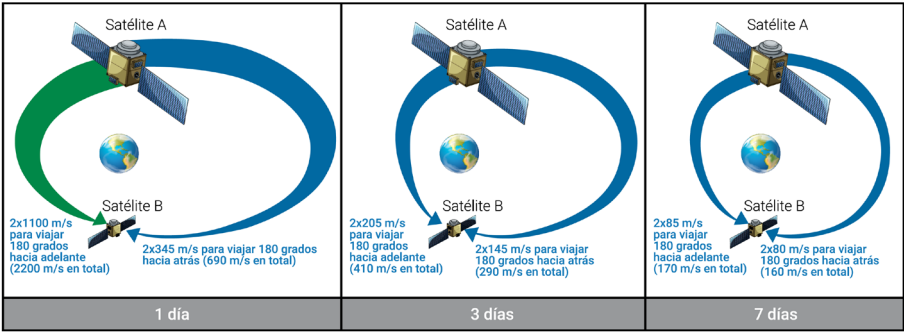
El cinturón GEO posee numerosos atributos que lo convierten en un lugar atractivo para el combate astrodinámico, ya que las astronaves permanecen relativamente “fijas” sobre una ubicación específica de la Tierra alrededor del ecuador; esto implica que una astronave situada en esta órbita necesita 24 horas para completar un periodo orbital (Soop, 1994). Asimismo, cualquier alteración de la posición a lo largo de esta trayectoria orbital implicaría modificar el punto específico de la Tierra donde el satélite se posiciona continuamente¹⁰¹. Tómese en consideración que, a diferencia de otros regímenes orbitales, la colocación de satélites en órbita GEO está regida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT); por ende, la asignación de las posiciones o *slots* está regulada por la UIT de tal manera que cualquier transferencia a diferentes franjas horarias sería fácilmente detectada (Gangestad, 2017). No obstante, si se reubica un objeto en un nuevo *slot*, se tiene la opción de utilizar una fase de avance o retroceso, como lo ilustra Figura 13.

En ese caso, las varias alternativas de tiempo y presupuesto de ΔV para la transición al lado opuesto del cinturón GEO requiere lograr un cambio de fase de 180° en una órbita, equivalente a viajar ≈ 112.000 km, lo cual puede conllevar muchos días, especialmente para operaciones de fase importantes (Figura 25). Normalmente, los satélites comerciales en GEO requieren sólo una pequeña cantidad de ΔV para cambiar a una posición orbital diferente. En consecuencia, estas maniobras de reposicionamiento pueden tardar varias semanas, por lo que una astronave que emplea una propulsión más potente para aumentar su velocidad será fácilmente visible. Entonces, debido a las grandes distancias cubiertas por los satélites GEO durante cada órbita y la velocidad

101 La órbita tiene una circunferencia de 225.000 km, aproximadamente cinco veces la circunferencia de la Tierra. Cada slot a lo largo de la órbita puede tener tan solo 75 km de longitud.

relativamente baja a la que los satélites se mueven entre sí, el proceso de posicionar un ASAT orbital para atacar un objetivo puede consumir muchos días e incluso semanas.

Figura 25. Alcanzando un objetivo en GEO

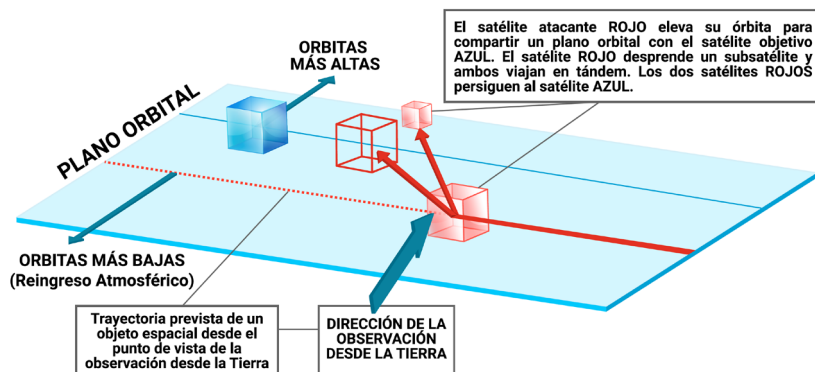


Fuente: elaboración propia a partir de Reesman y Wilson (2020).

Por lo tanto, cualquier interacción entre objetos en GEO se producirá gradualmente durante un período de días en lugar de horas, dando lugar a enfrentamientos deliberados (Roberts y Staats, 2024). No obstante, como la mayoría de satélites en GEO están situados en un plano orbital común, se aumenta considerablemente el número de objetivos potenciales y oportunidades de ataque; la dificultad radica en que es poco probable que un satélite ofensivo pase desapercibido en cualquier maniobra en GEO, ya que numerosos operadores espaciales vigilan diligentemente el espacio que rodea a sus astronaves para garantizar el CSE, que en esencia comprende la detección, el seguimiento y la identificación de objetos que ingresan o habitan en el espacio exterior, utilizando datos de observaciones de sensores y operadores de satélites. En consecuencia, la asociación entre ASAT orbitales y CSE caen dentro del ámbito de la gestión del combate astrodinámico y en lo concerniente a la comprensión de posiciones orbitales de los objetos espaciales residentes, y la provisión de opciones y directivas militares (Limoge, 2024). En este orden de ideas, una táctica fundamental en la maniobra orbital para la guerra de CSE es ocultar las trayectorias esperadas y reales de un objeto espacial a la observación terrestre, mediante el uso de puntos ciegos para el seguimiento¹⁰² (Figura 26).

102 Por supuesto, el monitoreo de la explotación por parte de un adversario de los puntos ciegos suele ser más desafiante.

Figura 26. *Maniobra orbital aleatoria y con señuelo*



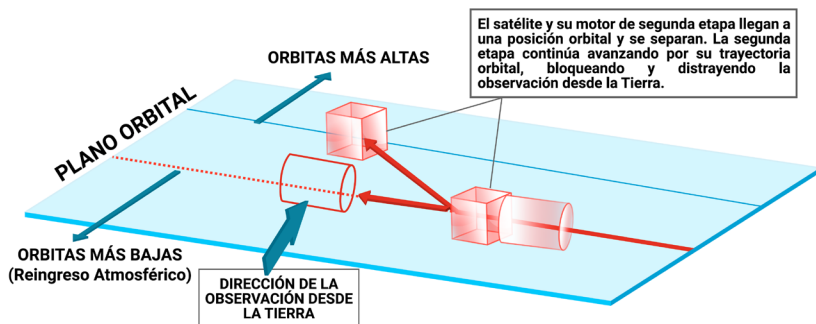
Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024).

El objetivo táctico es ofuscar la vigilancia y el seguimiento espacial del adversario mediante el despliegue de maniobras aleatorias e imprevistas, señuelos o satélites adicionales para enmascarar un acercamiento hacia un satélite adversario, ejecutando así una táctica sorpresa. Como ya se mencionó, la órbita GEO es la región que corre el mayor riesgo de ASAT orbitales, ya que las naves espaciales en GEO mantienen un plano orbital y altitud constantes, lo que permite que un ASAT dentro de esta órbita elija entre múltiples objetivos y ataque con un mínimo aviso; además, la imprevisibilidad se ve exacerbada por los desafíos intrínsecos de la observación remota a una distancia de 36.000 km. Asimismo, producto de una CSE eficaz, un ASAT orbital puede producir una amplia gama de efectos a través de encuentros controlados, incluidos bloqueos electrónicos reversibles o reposicionamiento forzado del satélite objetivo (secuestro de la astronave), así como ataques de energía dirigida irreversibles o contaminación de sensores y paneles solares mediante pulverización química.

En estos casos cobra aún más importancia el engaño, un principio fundamental de la guerra según Sun Tzu, mediante la maniobra orbital de ocultación. Esta táctica consiste en utilizar una astronave como señuelo, un tipo de ocultación en la que una nave espacial se coloca detrás de la otra en relación con las observaciones desde la Tierra (Figura 27). En este escenario, un satélite se aleja de su posición original, aprovechando un período en el que los telescopios terrestres tienen más probabilidades de perderlo de vista; al mismo tiempo, su motor de segunda etapa puede maniobrar junto al satélite para que cualquier observador que lo haya recuperado vea el propulsor en el mismo

lugar donde se encontraba el satélite. Por consiguiente, la táctica de ocultación en combate astrodinámico se alinea estrechamente con los principios de engaño de Sun Tzu, ya que implica el uso de ajustes orbitales precisos para ocultar la ubicación, trayectoria o intención de un satélite, dificultando que los adversarios lo rastreen, predigan o respondan de manera efectiva.

Figura 27. *Maniobra orbital de ocultación*



Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024)

Una astronave que sigue una trayectoria alrededor de un área específica del cinturón GEO suele ubicarse en una órbita conocida como “órbita de patrulla”, en la que una astronave órbita se encuentra en una buena posición para observar y ofrecer asistencia a los objetos en su vecindad geoestacionaria, reduciendo a su vez el riesgo de colisiones al cruzar el ecuador a una altitud diferente al del cinturón geoestacionario nominal, sin ocupar ningún *slot* fijo en el cinturón (Thompson et. al, 2017). Aunque el movimiento relativo de la órbita de patrulla y el movimiento natural de circunnavegación (MNC) de las OEP comparten similitudes conceptuales, la dinámica subyacente es muy diferente. Como lo explica Fehse (2003), las ecuaciones de movimiento de la órbita de patrulla se relacionan con la Tierra y no son afectadas por el movimiento de ningún otro objeto en órbita, a diferencia del movimiento relativo de las operaciones de proximidad, que suelen tener lugar a una distancia de decenas de kilómetros o menos; sin embargo, sin restricciones en las ecuaciones de movimiento (por ejemplo, las ecuaciones de Clohessy-Wiltshire)¹⁰³, una órbita de patrulla podría viajar decenas de miles de kilómetros.

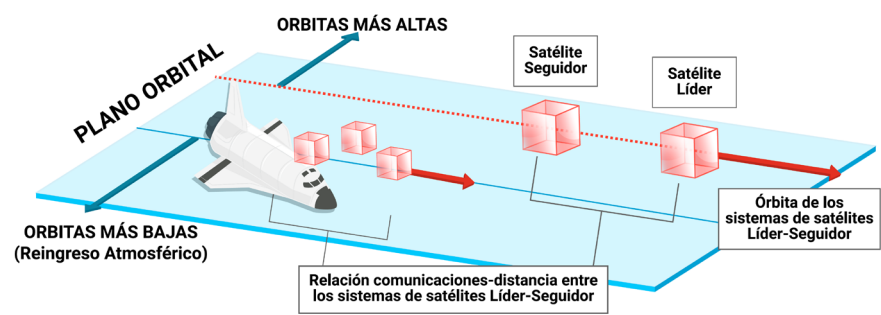
¹⁰³ Las ecuaciones de Clohessy-Wiltshire describen un modelo simplificado de movimiento orbital relativo, en el que el objetivo está en una órbita circular y la astronave que la persigue está en una órbita elíptica o circular. Este modelo proporciona una aproximación de primer orden del movimiento del perseguidor en un sistema de coordenadas centrado en el objetivo; se utiliza para planificar el encuentro del perseguidor con el objetivo.

En comparación con la órbita geosincronizada, la órbita de patrulla tiene una serie de beneficios, en particular para CSE. A diferencia de los sensores terrestres que monitorean la misma área del cinturón geoestacionario, la órbita de patrulla permite sensores más pequeños y una más íntima de los objetos espaciales residentes (OER) dentro o cerca de la zona de interés (Fehse, 2003). Al observar desde una órbita de patrulla, se cumplen los requisitos de carga útil del sensor y se garantiza que los rangos de observación se encuentren dentro de los límites predeterminados. Una mayor diversidad de ángulos de visión a lo largo del tiempo y la capacidad de observar un objeto desde múltiples ángulos de visión son dos beneficios más de la observación de objetos geográficos desde una órbita de patrulla. Esto es particularmente importante para las misiones de obtención de imágenes. Además, las órbitas de patrulla no se limitan a la observación nocturna y no se ven afectadas por las condiciones meteorológicas de la Tierra¹⁰⁴. También se puede lanzar fácilmente un subsatélite (como un CubeSat) desde una órbita de patrulla para realizar inspecciones de “vuelo” cercanas o para encontrarse con OER y eliminarlos.

Por ejemplo, desde su lanzamiento en 2023, la nave aeroespacial china Shenlong ha llevado a cabo una serie de maniobras de proximidad a varios objetos en órbita terrestre, y ha desplegado 6 microsátélites con la capacidad de mantener la posición con su nave nodriza; y al igual que su homólogo chino, se supone que el X-37B, la nave aeroespacial de los Estados Unidos, también ha desplegado previamente pequeños satélites directamente desde la nave nodriza (Suess, 2024). Pues bien, debido a que nave aeroespacial puede maniobrar, significa que puede amenazar múltiples activos que el oponente valora en el espacio orbital, al desplegar varios dispositivos en órbitas clave, para una misión de ofensiva (Figura 28).

104 Por ejemplo, las nubes pueden afectar negativamente el rendimiento de las armas láser y los telescopios electroópticos utilizados para rastrear objetos espaciales; las tormentas eléctricas también pueden perjudicar las comunicaciones por radiofrecuencia entre el espacio y la Tierra.

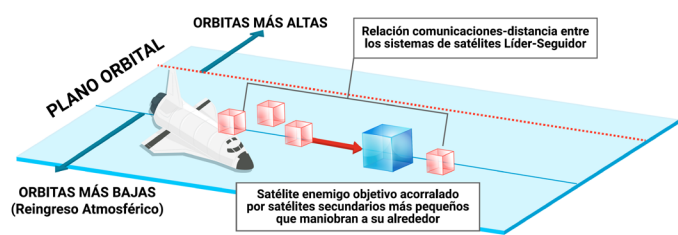
Figura 28. Maniobra de persecución con satélites delegados



Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024)

Asimismo, estas naves secundarias cumplirían en gran medida la función de aumentar la CSE, así como la retroalimentación de posicionamiento de objetivos al control terrestre. Es posible que también se conciba una maniobra envolvente, en la que el satélite objetivo tenga sus opciones de maniobra limitadas o cortadas por el satélite secundario que maniobra hacia una posición de bloqueo, lo que recuerda a una táctica de cerco que se ve comúnmente en la guerra terrestre (Figura 29).

Figura 29. Maniobra envolvente en órbita



Fuente: elaboración propia a partir de Flaherty (2024)

En síntesis, GEO combina alto valor estratégico con fuertes condicionantes operativos: los desplazamientos son lentos y previsibles, la CSE multiactor dificulta el sigilo y cualquier aproximación exige planificación prolongada y gasto medido de ΔV . Por ello, la ventaja no proviene de “golpes rápidos”, sino de persistencia, engaño orbital y control de la firma (señuelos, ocultación, órbitas de patrulla y empleo de subsatélites). En este entorno, la maniobra es

inseparable de la gestión de percepción: cada reposicionamiento comunica intención y puede activar respuestas técnicas y diplomáticas. GEO, así, es un teatro de confrontación deliberada más que de choque cinético, donde la superioridad se define por la capacidad de vigilar, aproximarse y coaccionar sin desestabilizar el cinturón. Este balance entre visibilidad, valor y restricción anticipa el debate siguiente sobre contramedidas, reglas de conducta y umbrales de escalada en operaciones espaciales.

Conclusiones

A medida que el entorno estratégico global prioriza cada vez más el espacio como un crítico dominio de guerra, el combate astrodinámico se convertirá en una piedra angular de las futuras operaciones militares. En efecto, la capacidad de un actor espacial de maniobrar, defender y atacar en la segunda región astropolítica, determinará a su vez su capacidad para mantener la superioridad en tierra, mar, aire, y por supuesto, el espacio. Sin embargo, y en el futuro cercano, la conducción de la guerra orbital seguirá estando restringida por una serie de limitaciones naturales y tecnológicas. Aunque en el vacío del espacio las astronaves viajan rápidamente, la inmensidad de este entorno conlleva a que las maniobras intencionales de los objetos espaciales parezcan comparativamente lentas. Sin “estaciones de combustible” en órbita, la navegación requiere una meticulosa asignación de ΔV , lo que restringe la cantidad de maniobras que puede realizar un satélite; y debido a las limitaciones de ΔV y la necesidad de evitar la detección, se seguirán necesitando muchos días o semanas para colocar un ASAT orbital en una posición de asalto óptima.

Entonces, y como consecuencia de la dilatada duración de los plazos de interacción espacio-espacio causados por la mecánica orbital, existe una motivación significativa para que un atacante explore sistemas de armas alternativos, como misiles ASAT terrestres, guerra electrónica, energía dirigida y ataques cibernéticos. Estas alternativas de armamento tienen el potencial de reducir el tiempo que lleva lanzar un ataque y permitir atacar rápidamente un mayor número de objetivos. No obstante, y medida que aumente la dependencia humana de los servicios espaciales que proveen los satélites, cada vez más numerosos y dispersos entre diferentes rangos orbitales, la capacidad de atacar cinéticamente esos activos se convertirá en una necesidad prioritaria en la conducción de operaciones espaciales.

Y para conducir la guerra orbital, los operadores espaciales deberán poseer una sólida comprensión de la mecánica orbital y la astrodinámica, ya que

el entorno único del espacio, regido por las restricciones físicas, así como las leyes del movimiento y la gravedad, exige una planificación y ejecución precisas de las operaciones que garantice la eficacia, eficiencia y capacidad de supervivencia de los activos militares. Por consiguiente, se recomienda a la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC) invertir en programas de educación especializados en astrodinámica, mecánica orbital y guerra espacial para el personal de la FAC, estableciendo alianzas con aliados en la materia para garantizar el acceso a conocimientos de vanguardia. Asimismo, se recomienda mantener el desarrollo de programas satelitales nacionales para mejorar el conocimiento de la situación, las comunicaciones y la vigilancia; en este sentido sería urgente ampliar el programa FACSAT para incluir funcionalidades avanzadas y continuar fortaleciendo las capacidades de CSE con los que ya cuenta la FAC.

Y finalmente, enfocarse en la resiliencia y redundancia. En otras palabras, desarrollar estrategias para mitigar los riesgos, como el fortalecimiento de los activos espaciales de la FAC contra la guerra electrónica y procurar el despliegue de constelaciones de respaldo para garantizar la continuidad de las operaciones. Es necesario alocar mayores recursos en investigación sobre sistemas de propulsión, operaciones autónomas de satélites y tecnologías avanzadas de defensa espacial para mantener una ventaja competitiva en la guerra espacial. En definitiva, al abordar estas recomendaciones, la FAC puede fortalecer su posición como líder en la defensa espacial regional, al tiempo que se adapta de manera proactiva a los desafíos que plantea la progresión del carácter y conducción de la guerra orbital y el combate astrodinámico en la segunda región astropolítica.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, C.; Murillo, S.; Hernández, J. y Urbina, J. (2021a). El Poder Espacial y la Seguridad Multidimensional. En Álvarez, C. y Corredor, C. (Eds.), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia* (2da Ed.), Volumen 1: Mirando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana (pp. 27-98). Editorial Planeta.
- Álvarez, C.; Benavides, E. y Ramírez, J. (2021b). Geopolítica del Espacio Exterior: Dominio Estratégico del Siglo XXI para la Seguridad y Defensa. En Álvarez, C. y Corredor, C. (Eds.), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia* (2da Ed.), Volumen 1: Mi-

rando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana (pp. 99-222). Editorial Planeta.

Álvarez, C. y Correcha, Y. (2022). Poder multidominio: visión estratégica de la Fuerza Aérea Colombiana en el siglo XXI. En Baquero, F. (Ed.), *Poder aéreo, espacial y ciberespacial frente a desafíos y amenazas multidimensionales que afectan al Estado colombiano* (pp. 209-249). Sello Editorial ESDEG.

Baquero, F. y Cáceres, R. (2022). Meteorología espacial: un campo de proyección del espacio exterior colombiano. En Conde, J. (Ed.). *Visión Aeroespacial Colombiana* (pp. 72-106). Sello Editorial ESDEG.

Bate, R.; Mueller, D. y White, J. (2020). *Fundamentals of Astrodynamics*, 2nd Ed. Dover Publications.

Biddle, S. (2004). *Military Power: Explaining Victory and Defeat in Modern Battle*. Princeton University Press.

Bond, V. y Allman, M. (1996). *Modern Astrodynamics: Fundamentals and Perturbation Methods*. Princeton University Press

Cao, X.; Ning, X.; Wang, Z.; Liu, S.; Cheng, F.; Li, W. y Lian, X. (2024). Intelligent Sequential Multi-Impulse Collision Avoidance Method for Non-Cooperative Spacecraft Based on an Improved Search Tree Algorithm. En *Chinese Journal of Aeronautics*, 37(8), 210-226.

Chaisson, S. (2007). *Astronomy: A Beginner's Guide to the Universe*, 5th Ed. Pearson Education.

Chow, B. (2020). Space Traffic Management in the New Space Age. En *Strategic Studies Quarterly*, Winter, 74-102.

Chun, C. (2000). *Shooting Down a "Star": Program 437, the US Nuclear ASAT System and Present-Day Copycat Killers*. Air Force Academy Institute of National Security Studies.

Copérnico, N. (2002). *On the Revolutions of Heavenly Spheres*. Running Press Book Publishers.

Darling, D. (2006). *Gravity's Arc*. John Wiley & Sons.

Diacu, F. (1996). The Solution of the N-body Problem. En *The Mathematical Intelligencer*, 18, 66-70.

- Dreyer, J. (1953). *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. Dover Publications.
- Ejército Nacional de Colombia (2017). *MFRE 3-90 Ofensivas y Defensivas*. Centro de Doctrina del Ejército Nacional de Colombia
- Fehse, W. (2003). *Automated Rendezvous and Docking of Spacecraft*. Cambridge University Press.
- Flaherty, C. (2024). *Orbital Warfare History*. Obtenido de: <https://www.orbitalwarfarehistory.com>
- Gangestad, J. (2017). *Orbital Slots for Everyone?* The Aerospace Corporation.
- Green, E. (1988). *Spherical Astronomy*. Cambridge University Press.
- Grego, L. y Wright, D. (2010). *Securing the Skies: Ten Steps the United States Should Take to Improve the Security and Sustainability of Space*. Union of Concerned Scientists.
- Griffin, M. y French, J. (1991). *Space Vehicle Design*. AIAA Press.
- Gurfil, P. y Seidelmann, K. (2016). *Celestial Mechanics and Astrodynamics: Theory and Practice*. Springer.
- Hintz, G. (2022). *Orbital Mechanics and Astrodynamics: Techniques and Tools for Space*. Springer.
- Limoge, J. (2024). *How to Win(G) a War in Space: Enabling Rapid Surge Space Capabilities*. Air University.
- Liu, L. (2023). *Algorithms for Satellite Orbital Dynamics*. Springer
- Long, R.; Hafner, D. y Boutwell, J. (1986). *Weapons in Space*. W.W. Norton and Co.
- Moldwin, M. (2023). *An Introduction to Space Weather*. Oxford University Press.
- NASA (2018). NSSDCA/COSPAR ID: 2018-012A. NASA Space Science Data Coordinated Archive. Obtenido de: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2018-012A>
- Pannekoek, A. (1989). *A History of Astronomy*. Dover Publications.
- Poveda, G. y Álvarez, C. (2021). Colombia y la Órbita Geoestacionaria: Un Vínculo Geoestratégico Inalienable. En Álvarez, C. y Corredor, C.

- (Eds.), *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia* (2da Ed.), Volumen 2: El Cielo no es el Límite: El Futuro Estelar de Colombia (pp. 95-197). Editorial Planeta.
- Reesman, R. y Wilson, J. (2020). *The Physics of Space War: How Orbital Dynamics Constrain Space to Space Engagements*. Aerospace Corporation.
- Reesman, R. y Wilson, J. (28 de junio de 2021). "Physics Gets a Vote: No Starcruisers for Space Force. War on the Rocks". Obtenido de: <https://warontherocks.com/2021/06/physics-gets-a-vote-no-starcruisers-for-space-force/>
- Roberts, T. y Staats, B. (2024). *Exotic Space Warfare: Military Importance of Sustained Maneuver*. Aerospace Corporation.
- Roy, A. (2005). *Orbital Motion*, 2nd Ed. CRC Press.
- Sebestyen, G.; Fujikawa, S.; Galassi, N. y Chuchra, A. (2018). *Low Earth Orbit Satellite Design*. Springer International Publishing
- Seitz, F. (1992). *The Science Matrix: The Journey, Travails, Triumphs*. Springer-Verlag.
- Shaw, J.; Bourque, D. y Shaw, M. (2023). Dynamic Space Operations: The New Sustained Space Maneuver Imperative. En *Æther Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, 2, 8-16.
- Soop, E. (1994). *Handbook of Geostationary Orbits*. Springer
- Spencer, D. y Conte, D. (2023). *Interplanetary Astrodynamics*. CRC Press.
- Stone, C. (2022). *Maneuver Warfare in Space: The Strategic Mandate for Nuclear Propulsion*. Mitchell Institute of Aerospace Studies.
- Suess, J. (2024). You Can't Hide in Space Anymore: China's Shenlong Spaceplane. RUSI. Obtenido de: <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/you-cant-hide-space-anymore-chinas-shenlong-spaceplane>
- Szebehely, V. (1989). *Adventures in Celestial Mechanics: A First Course in the Theory of Orbits*. University of Texas Press.
- Szymanski, P. y Drew, J. (2024). *The Battle Beyond: Fighting and Winning the Coming War in Space*. Amplify Publishing.

- Tan, A. y Reynolds, R. (2020). *Theory of Satellite Fragmentation in Orbit*. World Scientific Publishing Company.
- Tapley, B.; Schutz, B. y Born, G. (2004). *Statistical Orbit Determination*. Elsevier Academic Press.
- Thompson, B.; Kelecy, T.; Kubancik, T.; Flora, T.; Chylla, M. y Rose, D. (2017). *Geosynchronous Patrol Orbit for Space Situational Awareness*. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference.
- US Space Force (2023). *Space Doctrine Publication (SDP) 3-0, Operations*. Space Training and Readiness Command.
- Vallado, D. (2013). *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, 4th Ed. Microcosm Press
- Wright, D.; Grego, L. y Gronlund, L. (2005). *The Physics of Space Security: A Reference Manual*. American Academy of Arts and Sciences.
- Yuan, J.; Cheng, Y.; Feng, J. y Sun, C. (2019). *Low Energy Flight: Orbital Dynamics and Mission*. Springer Singapore.

CAPÍTULO 5.

NAV-WAR: Estrategia de Contrapoder Espacial^{105*}

CR .Guillermo Alberto Poveda Zamora¹⁰⁶
Fuerza Aeroespacial Colombiana

Carlos Álvarez Calderón¹⁰⁷
Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

^{105*} Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación “Desarrollo Espacial en Colombia y aportes de la Fuerza Aeroespacial Colombiana”, del grupo de investigación “GICMA” de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, categorizado en A por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL140489. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

¹⁰⁶ De la promoción 73 de Oficiales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, es Administrador aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación e Ingeniero de telecomunicaciones de la Universidad Militar Nueva Granada. Además, es becario y magíster en Ciencias Militares y Aeronáuticas de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, y magíster en Ingeniería - Aeroespacial de la Universidad del Valle.

Con más de 28 años de servicio, ha volado más de 3500 horas como Navegante en aeronaves como AC-47T, C-208B y C-130B/H Hércules. Ha trabajado en proyectos de investigación y desarrollo de alto impacto, como el FACSAT-1, puesto en órbita en noviembre de 2018, y el satélite de observación de la tierra FACSAT-II, puesto en órbita el 15 de abril de 2023. También ha formado parte de reconocidos grupos de investigación, como TIGUM de la Universidad Militar Nueva Granada, el Grupo de Investigación Ciencia y Poder Aéreo (CIPAER) de la Escuela de Postgrados de la FAC, el Grupo de Investigación en Ciencias Militares Aeronáuticas y Administrativas (GICMA), con varias publicaciones propias de sus investigaciones. Participó en la tercera y cuarta expedición Antártica Colombiana, con proyectos de investigación relacionados con la caracterización de fenómenos meteorológicos peligrosos para la aviación en sistemas antárticos. Desde octubre de 2019, se desempeña como Jefe de Operaciones Espaciales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, liderando la estrategia para el desarrollo de las capacidades espaciales de la institución. Código ORCID: 0000-0002-3358-102X. Contacto: guillermo.poveda@fac.mil.co.

¹⁰⁷ Profesional Oficial de Reserva de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Candidato a Doctor en Estudios Estratégicos, Seguridad y Defensa de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Magíster en Relaciones Internacionales de la Pontificia Universidad Javeriana y Magíster en Coaching Ontológico Empresarial de la Universidad San Sebastián (Chile). Politólogo de la Pontificia Universidad Javeriana. Becario del Centro de Estudios Hemisféricos de Defensa “William J. Perry”. Investigador Asociado categorizado por MinCiencias. Docente Investigador de la Escuela de Superior de Guerra, Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Escuela de Inteligencia Aérea y Academia Naval de Estudios Estratégicos. Columnista de la Revista Aeronáutica de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Analista en Inteligencia Estratégica, y Consultor en Seguridad y Defensa para diversas instituciones nacionales e internacionales. Código ORCID: 0000-0003-2401-2789. Contacto: carlos.alvarez@esdeg.edu.co.

Resumen: La importancia del dominio espacial emergió desde el comienzo de la Guerra Fría, como un recurso estratégico crítico, afectando de manera significativa las operaciones militares e inteligencia, y la tecnología para la explotación de este dominio ha evolucionado de forma que son vitales para la supervivencia de las fuerzas armadas modernas de los países, abarcando ámbitos como las comunicaciones, la navegación y la vigilancia/reconocimiento. Junto al rápido crecimiento de la militarización espacial, la estructuración y el reglamento de las actividades espaciales han sido difíciles; y esto incluye cuestiones como la disposición de basura espacial así como también el tráfico y congestión espacial. Por tanto las operaciones espaciales son críticas para la defensa y la seguridad nacionales, y están amenazadas por muchas corrientes, las cuales incluyen la operación antisatélite, el daño electrotécnico y los ciberataques. Es de ahí que surgen estrategias como la de crecer en la conciencia situacional espacial y el control espacial ofensivo, como mecanismos claves y centrales para proteger y garantizar una superioridad espacial. También, existe una estrecha relación entre el campo espacial y el ciber; ya que el ámbito espacial se vuelve progresivamente más reñido y rival, la integración de las capacidades cibernéticas y espaciales son ahora esenciales para garantizar la resiliencia y la eficiencia continua de las operaciones militares.

Palabras clave: Operaciones espaciales, conciencia situacional espacial (SSA), control espacial ofensivo (OSC), seguridad nacional, ciberataques, basura espacial, vigilancia y reconocimiento, integración cibernética, superioridad espacial, geopolítica.

Introducción

A medida que evoluciona el panorama estratégico en el Siglo XXI, el espacio ultraterrestre se consolida en un dominio crítico para las actividades militares, económicas y científicas. Los sistemas espaciales proporcionan capacidades indispensables, como la comunicación global, la navegación de precisión, la recopilación de inteligencia y el conocimiento del campo de batalla en tiempo real. Sin embargo, la creciente dependencia de estos activos también los ha convertido en objetivos principales para las acciones adversarias.

Los sistemas espaciales forman la columna vertebral de la infraestructura moderna, apoyando tanto las operaciones civiles como las militares. Sus aplicaciones van desde habilitar sistemas de posicionamiento global (GPS)

para municiones guiadas de precisión, hasta garantizar el funcionamiento de las redes financieras. En consecuencia, la interrupción o manipulación de estos sistemas puede tener efectos en cascada en múltiples dominios, elevando el espacio a un entorno operativo disputado.

La guerra electrónica espacial se centra en el espectro electromagnético, un elemento fundamental para el funcionamiento de los satélites y su comunicación con las estaciones terrestres. Las tácticas de guerra electrónica en este ámbito incluyen interferencias, suplantación de identidad y ataques de energía dirigida. En efecto, la interferencia deliberada con las comunicaciones por satélite o las señales GPS puede degradar la funcionalidad de los sistemas espaciales, lo que perjudica la navegación, la orientación y la comunicación. Del mismo modo, al introducir señales falsas, los adversarios pueden engañar a los receptores, lo que genera confusión o fallos operativos en los sistemas de navegación o vigilancia. Adicionalmente, las tecnologías emergentes, como láseres de alta potencia y las microondas, pueden dañar físicamente los componentes de los satélites o desactivar temporalmente los sensores.

La guerra de navegación o NAV-WAR se dirige específicamente a los sistemas de navegación, en particular a los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) como GPS, Galileo y BeiDou, que son fundamentales para aplicaciones civiles y militares. Y las tácticas incluyen la interferencia de las señales GNSS para evitar la información precisa de posicionamiento y tiempo; falsificación de señales GNSS para proporcionar datos engañosos, lo que podría redirigir unidades militares o interrumpir la infraestructura civil; y la piratería de la infraestructura GNSS terrestre para alterar las salidas de señales o degradar la integridad del sistema. Por estas y otras razones, la guerra de navegación plantea desafíos únicos, ya que la pérdida de capacidades de navegación puede perjudicar significativamente los sistemas de comando y control, la precisión de los objetivos y las operaciones logísticas.

Pero en la actualidad, los sistemas espaciales también son vulnerables a las amenazas cibernéticas, dada su dependencia de redes interconectadas para su funcionamiento y control. Entre la plétora de ataques cibernéticos se encuentran el acceso no autorizado a los sistemas de control de satélites para interrumpir o reprogramar sus operaciones; la explotación de vulnerabilidades en las redes de estaciones terrestres para interceptar datos clasificados transmitidos a través de satélites; y la implementación de *malware* en sistemas satelitales para deshabilitar o degradar sus funciones. De allí que la convergencia del ciberespacio y los sistemas espaciales amplía la superficie de ataque, lo que permite a los adversarios explotar la compleja interacción entre las redes terrestres y los activos orbitales.

Por consiguiente, el aumento de la guerra electrónica y los ciberataques contra los sistemas espaciales subraya la necesidad urgente de estrategias integrales para salvaguardar este dominio crítico, dado que cualquier actor en la actualidad puede aprovechar herramientas electrónicas y cibernéticas de bajo costo para desafiar a incluso a adversarios más poderosos, nivelando el campo de juego. Con base en lo anterior, y a medida que se difuminan los límites entre el espacio, el ciberespacio y el espectro electromagnético, resulta fundamental comprender y abordar las amenazas que plantean la guerra electrónica, la NAV-WAR y los ciberataques; por consiguiente, este capítulo tiene como objetivo proporcionar un análisis de las tácticas, técnicas y tecnologías utilizadas en las operaciones de guerra electrónica, NAV-WAR y ciberguerras dirigidas a los sistemas espaciales, explorando casos que resaltan incidentes pasados y amenazas emergentes. En definitiva, este capítulo ofrece un marco integral para analizar estas cuestiones y dota a los lectores de los conocimientos necesarios para afrontar las complejidades de los conflictos modernos en el dominio multidimensional del espacio.

Operaciones Espaciales

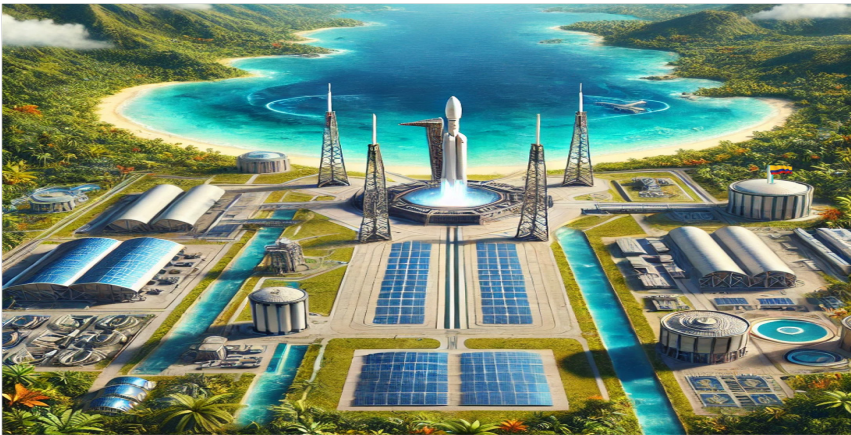
El impacto del entorno del espacio exterior como un recurso estratégico ha sido significativo en las acciones de los Estados a nivel global, particularmente en el ámbito de las operaciones espaciales. En efecto, desde la época de la Guerra Fría, la militarización del espacio dio lugar al desarrollo de satélites militares que desempeñarían papeles vitales en la recopilación de inteligencia, monitoreo de tratados de control armas, gestión crisis y aviso tempranamente de posibles ataques (Toro Dávila, 1993).

La doctrina operacional espacial es ahora parte de la doctrina de seguridad nacional en muchos Estados. Para la capacidad de realizar operaciones en el espacio, incluyendo la implementación y mantenimiento de satélites, se considera hoy indispensable para las capacidades militares modernas. (Tamame Camarero, 2002). Además, los avances tecnológicos han permitido a los estados mejorar sus capacidades basadas en el espacio, lo que ha llevado a una mayor dependencia de los activos espaciales para comunicación, navegación, vigilancia y reconocimiento, inclusive en conceptos tan avanzados como los son las capacidades aeroespaciales como el X37B, que son flotas de naves que pueden operar en el dominio aéreo y espacial y cambiar rápidamente de dominio para el desarrollo de operaciones militares.

La relevancia de las operaciones espaciales en un posible nuevo orden internacional plantea preguntas sobre la regulación y la gobernanza de las actividades en el espacio exterior. La gestión de desechos espaciales, la coordinación del tráfico espacial y los conflictos espaciales son emergentes en la agenda global. A medida que más naciones se desarrollan capacidades espaciales y empresas comienzan a ingresar al mercado espacial, la cooperación internacional y las normas para un espacio exterior con fines pacíficos son cruciales. Además, los puertos espaciales también son esenciales para la estrategia militar espacial, debido a que sirven como la infraestructura para el lanzamiento, rastreo y recuperación de vehículos espaciales, otra variable relevante es su posición geográfica, que en caso de estar sobre la línea del ecuador, reduce notablemente los costos de lanzamiento al aprovechar la geometría y las ventajas físicas de la rotación de la tierra sobre este paralelo (Poveda Z, 2020).

Por otra parte, la importancia de considerar el espacio como un dominio de guerra se fundamenta especialmente en cómo el espacio proporciona una ventaja asimétrica en el campo de batalla actual, destacando que el uso de tecnología espacial es fundamental para la efectividad de las operaciones militares (Dolman, 2022).

Figura 1. *Puerto Espacial sobre el paralelo cero*



Fuente: elaboración propia con apoyo de IA, con base en (Poveda Z, 2020).

Además, al declarar el espacio como un dominio de combate, por ejemplo, la Fuerza Espacial de EE. UU. asume la responsabilidad de garantizar el acceso soberano y el apoyo a todas sus Fuerzas Militares y de seguridad en

general desde el espacio, así como de negar el espacio a un adversario cuando sea necesario. Siendo el espacio parte integral de la seguridad nacional y el bienestar económico, y que las operaciones militares en el espacio son una parte importante de la capacidad militar de un Estado .

En el contexto militar, las operaciones espaciales son fundamentales para la seguridad y defensa de un país. Esto incluye el uso de satélites para la vigilancia y el reconocimiento, la comunicación segura, la navegación precisa, la detección de misiles y otras amenazas, entre otras aplicaciones, es importante destacar que las operaciones espaciales requieren una planificación cuidadosa, coordinación y gestión eficaz para garantizar su éxito y maximizar su utilidad en términos de seguridad y defensa nacional.

Se debe entender las operaciones espaciales en el contexto de la competición entre países y entre potencias. Ya que las operaciones militares son mayoritariamente geocéntricas, lo que lleva a percibir el espacio ultraterrestre como un dominio secundario. Además, se destaca la importancia de las operaciones conjuntas en todos los dominios, donde el espacio juega un papel crucial. (Jordán, 2023).

En el contexto de la guerra en el espacio, las operaciones espaciales pueden abarcar tanto medidas defensivas como ofensivas, ya que los adversarios pueden intentar dañar o destruir satélites militares, civiles o comerciales, interferir con las señales de comunicación, o incluso desplegar armas antisatélite. Por lo tanto, las fuerzas armadas, se están preparando para un posible conflicto que involucre operaciones de ataque no solo en el espacio, sino también, desde el espacio y contra objetivos en otros dominios, desarrollando capacidades para cinéticas y no cinéticas para proteger sus activos espaciales y mantener su ventaja estratégica (Randall E. & Gurantz, 2022)

Las operaciones espaciales también pueden enfrentar desafíos como la fricción en el espacio, que incluye factores como el entorno espacial hostil, limitaciones en la capacidad de maniobra de las naves espaciales, problemas de inteligencia espacial y la dependencia de soluciones tecnológicas complejas. Estos desafíos pueden afectar la planificación y ejecución de las operaciones militares en el espacio, lo que destaca la importancia de anticipar y mitigar estos obstáculos en este entorno operativo único.

Conciencia Situacional Espacial (CSE)

La capacidad de comprender, prever y mantener el entendimiento de la situación espacial se conoce como conciencia espacial situacional. En este sentido, el término se refiere a la detección, identificación, seguimiento, predicción y notificación de objetos espaciales, así como a la evaluación de amenazas y riesgos potenciales para los activos y las operaciones espaciales. La importancia de la CSE radica en su papel fundamental para garantizar la seguridad, la eficacia y la sostenibilidad de las operaciones espaciales. Este artículo explora los diversos componentes de la CSE y su relevancia en el contexto de las operaciones espaciales actuales. La Figura 2 muestra varios elementos del CSE, incluyendo satélites en órbita, sistemas de seguimiento radar y óptico, centros de control en tierra, y pantallas de visualización de datos.

Figura 2. *Concepto del Space Situational Awareness*



Fuente: elaboración propia con apoyo de IA, con base en los elementos del SSA.

Componentes del Space Situational Awareness

Los elementos que componen el Space Situational Awareness (SSA) incluyen varios aspectos tecnológicos y operativos críticos. Entre ellos se encuentran la detección y seguimiento de objetos en el espacio, la identificación de estos objetos y la atribución de su origen y función, la predicción de órbitas y trayectorias, y la notificación oportuna de eventos y situaciones relevantes en el espacio que puedan afectar las operaciones espaciales (DoD, 2020).

Detección y Seguimiento

La detección y el seguimiento de objetos en el espacio, como satélites, desechos espaciales y posibles amenazas, son fundamentales para mantener un conocimiento actualizado del entorno espacial. Tecnologías como la radiofrecuencia, la óptica, el radar y láser se utilizan para monitorear y analizar estos objetos (DIA, 2022). Este monitoreo constante permite predecir posibles colisiones y tomar medidas preventivas para evitar incidentes.

Identificación y Atribución

La identificación de objetos espaciales y la atribución de su origen y función son esenciales para distinguir entre activos espaciales propios y potenciales amenazas. La catalogación de estos objetos proporciona un registro detallado que facilita la gestión del tráfico espacial y la planificación de maniobras para evitar colisiones (Pollpeter, Barrett, Edmond, Kerrigan, & Taffer, 2023).

Predicción de Órbitas y Trayectorias

La predicción de las órbitas y trayectorias de objetos espaciales permite anticipar sus posiciones futuras y evitar conflictos. Esta capacidad es crucial para la seguridad de las operaciones espaciales, ya que facilita la planificación de maniobras de evasión y la coordinación de actividades en el espacio (SPP, 2019).

Notificación y Evaluación de Amenazas

La notificación oportuna de eventos y situaciones relevantes en el espacio es vital para la toma de decisiones informadas. La evaluación de posibles amenazas y riesgos en el entorno espacial permite a las organizaciones espaciales adoptar medidas proactivas para proteger sus activos y mantener la libertad de operación en el espacio (Jiménez, 2023).

Importancia del Space Situational Awareness

La importancia del SSA se manifiesta en varios aspectos críticos para la seguridad y sostenibilidad de las operaciones espaciales. Este conocimiento situacional proporciona información crítica sobre la ubicación y el movimiento de objetos en el espacio, lo que es fundamental para la seguridad de las operaciones espaciales (Carlson & Gurantz, 2022, pp. 72 - 73).

Seguridad Espacial

El SSA permite evitar colisiones entre satélites y desechos espaciales, protegiendo las infraestructuras en órbita. La capacidad de detectar y seguir objetos en el espacio reduce el riesgo de incidentes que puedan afectar las misiones espaciales y la integridad de los activos espaciales, ahora bien, no solo elementos contruidos por el hombre son potenciales amenazas, también lo son cuerpos naturales como asteroides y cometas, los cuales requieren vigilancia para evitar que colisionen con los activos en el espacio, ya sea por las orbitas naturales de dichos cuerpos o porque son manipulados o alterados por el enemigo para que golpeen activos en el espacio o áreas objetivo en la superficie de la tierra. (DoD, 2020)

Sostenibilidad Espacial

La preservación del entorno espacial es otro aspecto crucial del SSA. Al prevenir la generación de más desechos y minimizar el riesgo de impactos, se contribuye a la sostenibilidad a largo plazo del espacio como un recurso compartido. La gestión adecuada del tráfico espacial es esencial para mantener el espacio libre de desechos peligrosos (Pollpeter, Barrett, Edmond, Kerrigan, & Taffer, 2023).

Operaciones Espaciales Eficientes

El SSA facilita la planificación y ejecución de misiones espaciales al proporcionar información precisa sobre el entorno espacial. Esto permite una mejor coordinación de actividades y una utilización óptima de los recursos espaciales disponibles. La eficiencia en las operaciones espaciales es crucial para maximizar el retorno de la inversión en proyectos espaciales.

Seguridad Nacional

El SSA ayuda a proteger los activos espaciales críticos y a garantizar la integridad de las comunicaciones y sistemas de navegación. La capacidad de detectar y responder a posibles amenazas, como ataques cibernéticos o interferencias electromagnéticas, es vital para la seguridad nacional y la estabilidad en el espacio (Shapira & Baram, 2019).

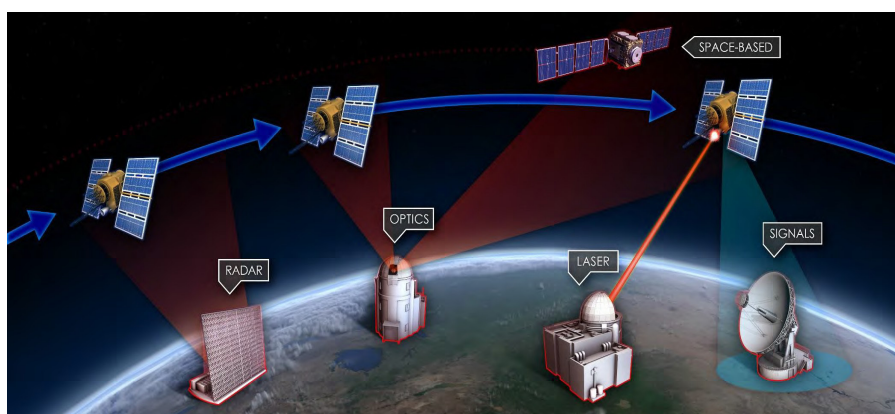
Tecnología y Métodos de SSA

Los métodos y tecnologías utilizados en el SSA son variados y avanzados. Incluyen sistemas de radar, telescopios ópticos, y sensores láser, entre otros. Estos sistemas permiten una vigilancia continua y detallada del entorno espacial, facilitando la detección y el seguimiento de objetos con alta precisión (DIA, 2022).

Radar y Sensores Ópticos

Los radares y sensores ópticos son herramientas fundamentales para la detección y el seguimiento de objetos espaciales. Estos dispositivos proporcionan datos precisos sobre la ubicación y el movimiento de los objetos, permitiendo la creación de modelos predictivos para anticipar sus trayectorias futuras.

Figura 3. *Sensores Típicos de Space Situational Awareness*



Fuente: Artículo sobre *Cómo ganar la próxima guerra espacial: una evaluación* (Szymanski, 2020).

Láser y Radiofrecuencia

Los sistemas láser y de radiofrecuencia complementan las capacidades de los radares y sensores ópticos. Los láseres pueden medir distancias con gran precisión, mientras que los sistemas de radiofrecuencia permiten la comunicación y el seguimiento de objetos en tiempo real (SPP, 2019).

Desafíos y Futuro del SSA

A pesar de los avances tecnológicos, el SSA enfrenta varios desafíos. La creciente cantidad de desechos espaciales y el aumento de la actividad espacial comercial y militar complican la gestión del tráfico espacial. Además, la cooperación internacional y la estandarización de protocolos son esenciales para mejorar la eficacia del SSA.

Desechos Espaciales

El problema de los desechos espaciales es uno de los mayores desafíos para el SSA. La proliferación de pequeños fragmentos de desechos que resultan de colisiones y desintegraciones dificulta el seguimiento y aumenta el riesgo de colisiones. Las iniciativas para mitigar y remover estos desechos son cruciales para la sostenibilidad del entorno espacial y no perder el acceso a este medio por proliferación de desechos (DoD, 2020).

Figura 4. *Desechos Espaciales – una tragedia ambiental en Potencia*



Fuente: elaboración propia con apoyo de IA, una interpretación gráfica de la tragedia potencial que representan los desechos espaciales.

Cooperación Internacional

La cooperación internacional es vital para el éxito del SSA. La colaboración entre naciones permite compartir datos y recursos, mejorando la capacidad de detección y seguimiento a nivel global. Además, la cooperación facilita la implementación de normas y estándares comunes que aumentan la seguridad y la eficiencia de las operaciones espaciales (Shapira & Baram, 2019).

Innovación Tecnológica

La innovación continua en tecnología de sensores y análisis de datos es esencial para mantener y mejorar las capacidades del SSA. El desarrollo de nuevos sistemas de detección y seguimiento, junto con algoritmos avanzados de predicción, permitirá una gestión más eficaz del entorno espacial (DIA, 2022).

Control Espacial Ofensivo

El concepto de Offensive Space Control (OSC) o Control Espacial Ofensivo se refiere a la capacidad de un Estado o entidad para negar, degradar, destruir o interferir con los sistemas espaciales de un adversario. Esta capacidad es fundamental en el contexto de la competencia entre grandes potencias por el dominio del espacio ultraterrestre y la protección de activos espaciales en un entorno cada vez más disputado y competitivo. Este artículo científico explora los diversos elementos del OSC, su importancia estratégica, y la interoperabilidad con otros dominios de guerra como la guerra electrónica y cibernética.

Concepto de Offensive Space Control

El Offensive Space Control implica la realización de operaciones ofensivas en el espacio ultraterrestre para neutralizar o suprimir las capacidades espaciales del enemigo. Según Javier Jordán, el OSC incluye el desarrollo de armas antisatélite (ASAT), sistemas de interferencia electrónica para bloquear las comunicaciones por satélite, y capacidades de guerra cibernética para atacar los sistemas espaciales enemigos. Estas capacidades ofensivas buscan debilitar la ventaja estratégica y operativa del adversario en el espacio, afectando su capacidad de comunicación, vigilancia, reconocimiento y navegación (Jordán, 2023)

Elementos del Offensive Space Control

Los elementos para el control espacial ofensivo, son indispensables no solo por su capacidad para neutralizar amenazas en el espacio, sino también, por la disuasión que imprimen sobre los adversarios, los más importantes son:

Armas Antisatélite (ASAT)

Las armas antisatélite son diseñadas para destruir o incapacitar satélites en órbita. Estas armas pueden ser de tipo cinético, utilizando misiles para impactar directamente en el satélite objetivo, o no cinético, empleando láseres o pulso electromagnético para dañar los sistemas electrónicos del satélite.

Interferencia Electrónica

Los sistemas de interferencia electrónica, como el jamming y spoofing, son utilizados para bloquear o engañar las señales de comunicación por satélite. El jamming interfiere directamente con la transmisión de señales, mientras que el spoofing envía señales falsas para confundir a los sistemas de navegación y comunicación del adversario.

Guerra Cibernética

La guerra cibernética en el espacio implica el uso de técnicas de hacking para infiltrarse y comprometer los sistemas de control de los satélites enemigos. Esto puede incluir el acceso no autorizado a datos sensibles, la manipulación de las operaciones del satélite o la desactivación completa de sus funciones.

Detección y Seguimiento de Amenazas

Una capacidad crítica del OSC es la detección y el seguimiento de amenazas espaciales. Esto incluye la identificación y el monitoreo continuo de posibles amenazas, como satélites enemigos o sistemas antisatélite. La capacidad de detectar y rastrear estos objetos es esencial para planificar y ejecutar operaciones ofensivas efectivas (Adamy, 2021).

Importancia Estratégica del Offensive Space Control

El Offensive Space Control es vital para disuadir a los adversarios, proteger los activos espaciales propios y garantizar la superioridad en el espacio ultraterrestre. Al tener la capacidad de neutralizar las capacidades espaciales del enemigo, se puede limitar su capacidad de acción y proteger los intereses nacionales en el espacio. (Jordán, 2023)

Protección de Activos Espaciales

La capacidad de proteger los activos espaciales es esencial para mantener la operatividad de los sistemas de comunicación, navegación y reconocimiento. La implementación de capacidades de OSC permite prevenir o mitigar los efectos de ataques adversarios, asegurando así la continuidad de las operaciones espaciales.

Disuasión

El desarrollo y la demostración de capacidades de OSC actúan como un elemento disuasorio, reduciendo la probabilidad de ataques espaciales por parte de adversarios. La disuasión efectiva se basa en la capacidad de responder de manera decisiva a cualquier intento de interferencia o ataque en el espacio.

Superioridad en el Espacio

Garantizar la superioridad en el espacio es un objetivo clave del OSC. Al neutralizar las capacidades espaciales del adversario, se obtiene una ventaja estratégica que puede ser decisiva en conflictos armados. Esta superioridad permite controlar el flujo de información y mejorar la eficacia de las operaciones militares en otros dominios (Niles, 2024).

Interoperabilidad con Otros Dominios de Guerra

La interoperabilidad entre los sistemas de guerra electrónica terrestres y espaciales es crucial para maximizar la eficacia del OSC. al integrar y coordinar las operaciones de guerra electrónica en diferentes dominios (terrestre, aéreo, marítimo y espacial) se puede garantizar la superioridad en el campo de batalla (Adamy, 2021), algunos de estas variables claves están integradas por:

Guerra Electrónica

La guerra electrónica en el espacio implica el uso de técnicas de jamming y spoofing para interrumpir las comunicaciones y las señales de navegación del adversario. La interoperabilidad con sistemas terrestres de guerra electrónica permite una respuesta más rápida y efectiva a las amenazas espaciales.

Guerra Cibernética

La integración de capacidades cibernéticas en el OSC permite atacar y defender los sistemas espaciales en el ciberespacio. La interoperabilidad entre operaciones cibernéticas y espaciales mejora la capacidad de detectar, responder y recuperarse de ataques cibernéticos dirigidos a activos espaciales críticos (SPP, 2019).

Resiliencia Espacial

La resiliencia espacial para el servicio espacial o las Fuerzas Aéreas que integran el dominio del espacio en su visión, su misión, incluso en su nombre, se ve representado en la capacidad de los sistemas espaciales para resistir, adaptarse y recuperarse de amenazas y perturbaciones. Esta resiliencia es fundamental para mantener la efectividad de las operaciones espaciales en entornos desafiantes y en situaciones de conflicto. La integración de capacidades ofensivas y defensivas en el OSC fortalece la resiliencia de los sistemas espaciales propios, reduciendo su vulnerabilidad a ataques y garantizando la continuidad de las operaciones (DoD, 2020).

Guerra Electrónica Espacial

En el contexto de las guerras contemporáneas, la Guerra Electromagnética Espacial (Space Electromagnetic Warfare, SEW) se refiere al uso de tácticas y tecnologías de guerra electrónica en el ámbito espacial. Este concepto implica la manipulación y el control del espectro electromagnético con el fin de obtener ventajas estratégicas sobre el adversario en entornos espaciales. Entre las actividades asociadas con la SEW se incluyen la interceptación de señales hostiles, el bloqueo (jamming) de comunicaciones y radares enemigos desde el espacio, la protección electrónica de activos espaciales, y el uso de satélites para llevar a cabo operaciones de ataque electrónico.

La relevancia de la guerra electrónica en el espacio ha aumentado debido a la importancia estratégica de los satélites en las comunicaciones, la vigilancia y otras operaciones militares y civiles. La SEW tiene como objetivo garantizar la superioridad en el dominio espacial mediante el control y la defensa de activos espaciales clave, así como la neutralización de las capacidades enemigas en el espacio electromagnético. (Adamy, 2021, p. 16)

En el ámbito de la seguridad espacial, la guerra electromagnética en el espacio puede implicar el uso de contramedidas electrónicas para neutralizar las capacidades de los sistemas espaciales enemigos, tales como el jamming de señales de comunicación o la interferencia con sistemas de navegación por satélite. Estas acciones pueden tener un impacto significativo en las operaciones militares y civiles que dependen de la infraestructura y tecnología espacial.

La guerra electromagnética en el espacio es una preocupación creciente debido a la creciente dependencia de la sociedad moderna en los sistemas espaciales para una amplia gama de aplicaciones, desde las comunicaciones hasta la navegación y la vigilancia. Por lo tanto, comprender y abordar las amenazas en el ámbito de la guerra electromagnética en el espacio es crucial para garantizar la seguridad y la resiliencia de los activos espaciales.

Un concepto clave es el de NAVigation WARfare (NAVWAR), que se centra en la importancia del espectro electromagnético en las operaciones militares modernas, donde las operaciones electromagnéticas son esenciales para enfrentar las vulnerabilidades derivadas de la dependencia de sistemas como el GPS y los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS). Además, se destaca la importancia de comprender y confrontar las vulnerabilidades del espectro electromagnético para mantener la seguridad y el modelo de vida occidental. (Nieto Fernández, 2020)

La evolución de la guerra y las operaciones militares ha sido influenciada significativamente por la tecnología, creando nuevos entornos operacionales como el electromagnético, los cuales son poco comprendidos por los líderes políticos y militares. Es crucial adaptar el arte de la guerra a estos nuevos desafíos tecnológicos, incluyendo la confrontación de riesgos para la seguridad mediante el uso de instrumentos militares en y desde el espacio.

Tabla 1. Clasificación de Ataques Electrónicos y Cibernéticos

Electrónico		Cibernético				
Tipos de Ataque	Uplink Jamming	Downlink Jamming	Spoofing	Intercepción o Monitoreo de Datos	Corrupción de Datos	Toma de Control
Atribución	Atribución moderada dependiendo del modo de ataque	Atribución moderada dependiendo del modo de ataque	Atribución moderada dependiendo del modo de ataque	Atribución limitada o incierta	Atribución limitada o incierta	Atribución limitada o incierta
Reversibilidad	Reversible	Reversible	Reversible	Reversible	Reversible	Irreversible o reversible, dependiendo del modo de ataque
Conciencia	El operador del satélite estará al tanto; puede o no ser conocido por el público	El operador del satélite estará al tanto; puede o no ser conocido por el público	Puede o no ser conocido por el público	Puede o no ser conocido por el público	El operador del satélite estará al tanto; puede o no ser conocido por el público	El operador del satélite estará al tanto; puede o no ser conocido por el público
Evaluación del Daño del Atacante	Sin confirmación de éxito	Confirmación limitada de éxito si se monitorea el entorno RF local	Confirmación limitada de éxito si los efectos son visibles	Confirmación casi en tiempo real del éxito	Confirmación casi en tiempo real del éxito	Confirmación casi en tiempo real del éxito
Daño Colateral	Solo interrumpe las señales objetivo y las frecuencias adyacentes	Solo interrumpe las señales objetivo y las frecuencias adyacentes	Solo corrompe las señales RF específicas objetivo	Ninguno	Ninguno	Podría dejar el satélite objetivo deshabilitado e incontrolable

Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados (Bingen, Johnson, & Young, 2023).

La Tabla 1, proporciona una comparación detallada de diferentes tipos de ataques electrónicos y cibernéticos dirigidos a satélites, categorizando cada tipo de ataque según su atribución, reversibilidad, conciencia del operador del satélite, evaluación del daño por parte del atacante y el daño colateral resultante. También se destaca las diferencias en la capacidad de atribuir el ataque, la facilidad de revertir los efectos, la probabilidad de que el ataque sea detectado, la capacidad del atacante para evaluar el éxito y las posibles consecuencias colaterales para los sistemas satelitales.

Ataques Electromagnéticos

Los Ataques Electromagnéticos son acciones diseñadas para reducir la efectividad de los activos militares hostiles mediante medios electrónicos. Son consideradas como acciones de Contrapoder espacial basado en ataque Electrónico y Cibernético. Estos ataques pueden dirigirse contra sistemas de radar, comunicaciones u otros equipos electrónicos del enemigo, empleando tácticas como el jamming (interferencia intencional de señales), el despliegue de señuelos electrónicos (chaff), la utilización de señuelos luminosos (flares) desplegados en el espacio, armas antirradiación y la emisión de radiación de alta potencia.

Armas de Contra Poder Espacial Electrónicas

Son sistemas diseñados para atacar el espectro electromagnético utilizado por los sistemas espaciales para transmitir y recibir datos. Estos dispositivos de interferencia pueden perturbar las comunicaciones con satélites al generar ruido en la misma frecuencia de radio, dificultando la transmisión de información vital. (Bingen, Johnson, & Young, 2023, p. 5)

Ciberataques

Mientras que los ataques electrónicos buscan interferir con la transmisión de señales de radiofrecuencia, los **Ciberataques** se dirigen directamente a los datos y a los sistemas que los utilizan, transmiten y controlan. Los ciberataques en satélites pueden monitorear patrones de tráfico de datos, interceptar información o insertar datos falsos o corruptos en el sistema. Estos ataques pueden estar dirigidos a estaciones terrestres, equipos de usuario final o a los propios satélites.

Para llevar a cabo un ataque electromagnético efectivo, es crucial considerar varias variables importantes:

- **Potencia del Emisor:** Determina el alcance y la capacidad para interferir con los sistemas enemigos.
- **Frecuencia de la Señal:** Afecta la penetración y el nivel de interferencia en los sistemas enemigos, por tanto se requiere conocer las frecuencias principales, centrales y bandas laterales.
- **Modulación de la Señal:** El tipo de modulación que usa, esto influye en la capacidad de engañar a los sistemas enemigos y evitar la detección o neutralización.
- **Dirección y Cobertura:** se debe determinar áreas específicas donde se encuentren los sistemas enemigos que serán afectados y en qué medida.
- **Duración del Ataque:** Impacta en la capacidad del enemigo para recuperarse o adaptarse, por tanto, un ataque de este tipo, debería tener como alcance, la protección de otras acciones militares en simultaneo.

Existen diversas formas de ataque en la guerra electrónica espacial, pero cada una de estas describe variables y técnicas diferentes, como puede observarse en la siguiente tabla:

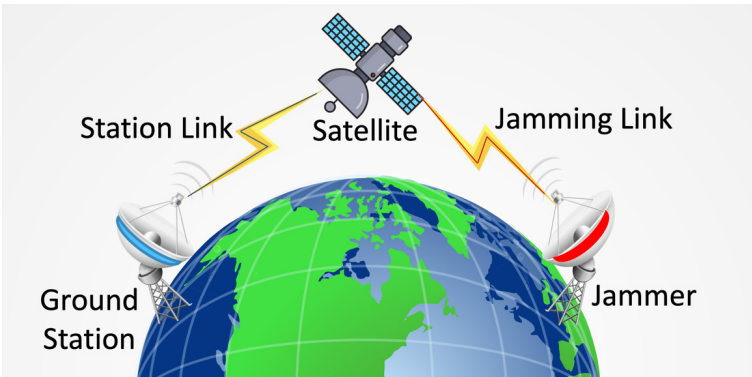
Tabla 2. *Clasificación de Ataques Electrónicos y Cibernéticos*

Tipo de Ataque	Descripción	Técnicas	Variables Críticas
Uplink Jamming	Transmisión de señales de interferencia hacia el enlace ascendente de un satélite desde una estación terrestre.	Uso de transmisores de alta potencia y antenas direccionales.	Potencia de la señal, dirección de la antena y frecuencia de operación.
Downlink Jamming	Interferencia de las señales transmitidas desde un satélite hacia una estación terrestre.	Uso de transmisores de interferencia en tierra o en el espacio.	Potencia de la señal, dirección de la antena receptora y modulación de la señal.
Spoofing	Transmisión de señales falsas o engañosas al satélite.	Falsificación de señales de comando o datos.	Autenticación de señales, sincronización temporal y modulación de la señal.

Tipo de Ataque	Descripción	Técnicas	Variables Críticas
Intercepción o Monitoreo de Datos	Captura y análisis de comunicaciones entre un satélite y una estación terrestre.	Uso de receptores sensibles y sistemas de procesamiento de señales.	Sensibilidad del receptor, capacidad de procesamiento de datos y cobertura geográfica.
Corrupción de Datos	Modificación maliciosa de información transmitida.	Introducción de errores o alteraciones en los datos transmitidos.	Modificación selectiva de datos, ocultación de la corrupción y validación de la información.
Toma de Control	Intrusión en los sistemas de comunicación o control de un satélite.	Uso de técnicas de intrusión cibernética o interferencia electromagnética.	Vulnerabilidad de los sistemas de control, autenticación de comandos y resistencia a intrusiones.

Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados (Adamy, 2021).

Figura 5. Jamming contra satélites



Fuente: elaboración propia usando IA, con base en (Adamy, 2021).

La Figura 5 muestra un diagrama de interferencia de enlace ascendente hacia un satélite desde una estación terrestre. Destaca distancias de enlace, posición del atacante y satélite, y el área sobre el horizonte desde el satélite.

Impacto de los Ataques Electromagnéticos

Un ataque cibernético en sistemas espaciales puede resultar en la pérdida de datos o servicios proporcionados por un satélite, lo que podría tener consecuencias generalizadas, negando el acceso a servicios vitales para la navegación, las comunicaciones entre otras capacidades derivadas de la tecnología espacial, lo cual al final puede traer consecuencias que comprometen la seguridad y la integridad en la soberanía de un país (Nieto Fernández, 2020).

Importancia de las Operaciones Electromagnéticas

En el contexto de la guerra moderna y la seguridad nacional. El desarrollo tecnológico ha permitido el uso de capacidades que pueden producir efectos globales y condicionar a la clase política a través de la disuasión, evitando así el uso del instrumento militar.

Estos cambios estructurales en el arte de la guerra requieren una evolución en los procedimientos y una comprensión de nuevas tecnologías, como las operaciones electromagnéticas, para enfrentar las vulnerabilidades derivadas de las degradaciones o la negación de acceso a servicios de Positioning, Navigation, and Timing (PNT) y sus implicaciones en los sectores civiles (Nieto Fernández, 2020).

Siendo este tipo de operaciones fundamentales para aumentar el nivel de supervivencia en entornos confrontados, disputados y congestionados. La dependencia de sistemas tecnológicamente avanzados puede exponer a las sociedades a la denegación de sistemas críticos, como el GPS y las señales de sincronización. Las Fuerzas Armadas deben estar preparadas para operar en entornos con el espectro electromagnético confrontado, donde se pueden perder el comando y control por la negación a las comunicaciones.

Protección electromagnética en la guerra electrónica espacial

Las formas de ataque en la guerra electrónica espacial, como Uplink Jamming, Downlink Jamming, Suplantación - Spoofing, Interceptación o monitoreo de datos, Corrupción de datos y Toma no autorizada del Control, pueden contrarrestarse mediante medidas de protección electromagnética y cibernética. A continuación, se detallan las estrategias de protección y los aspectos clave a considerar para cada tipo de ataque.

Uplink Jamming

- Protección Electromagnética:

- Utilizar técnicas de modulación adaptativa.
- Implementar antenas direccionales con capacidad de seguimiento.
- Sistemas de detección de interferencias para mitigar los efectos del jamming en el enlace ascendente.
- Protección Cibernética:
- Implementar sistemas de autenticación robustos para verificar la legitimidad de los comandos recibidos.
- Detectar posibles intentos de interferencia, como los intentos de conexión o autenticación en la comunicación con los satélites.

Downlink Jamming

- Protección Electromagnética:

- Emplear antenas con capacidades de mitigación de interferencias.
- Utilizar sistemas de diversidad de antenas y frecuencias.
- Aplicar técnicas de cancelación de interferencias para proteger el enlace descendente de jamming.

- Protección Cibernética:

- Implementar sistemas de detección de intrusiones.
- Utilizar cifrado de datos para garantizar la integridad de la comunicación descendente, estos sistemas de cifrados deben ser robustos y actualizados como mínimo una vez cada semana o cuando se tiene sospecha de ataque.

Suplantación - Spoofing

- Protección Electromagnética:

- Utilizar técnicas de autenticación de señales, que involucren dos o más pasos de autenticación.
- Usar equipos abordo para de detección de señales falsas.
- Aplicar protocolos de sincronización seguros para prevenir el spoofing.

- Protección Cibernética:

- Implementar medidas de seguridad en las comunicaciones, como cifrado de extremo a extremo en aplicaciones militares.

- Autenticación de comandos para evitar la manipulación de datos.

Intercepción o monitoreo de datos

- Protección Electromagnética:

- Emplear técnicas de encriptación de datos.
- Implementar sistemas de detección de interceptación.
- Utilizar protocolos de comunicación seguros para proteger la información transmitida.

- Protección Cibernética:

- Implementar firewalls.
- Utilizar sistemas de monitoreo de red y detección de intrusiones para prevenir la interceptación no autorizada de datos.

Corrupción de datos

- Protección Electromagnética:

- Utilizar técnicas de detección de errores.
- Implementar redundancia de datos.
- Aplicar corrección de errores para mitigar los efectos de la corrupción de datos.

- Protección Cibernética:

- Implementar sistemas de control de acceso.
- Utilizar validación de datos y firmas digitales para garantizar la integridad de la información transmitida.

Toma de control no autorizada

- Protección Electromagnética:

- Emplear sistemas de autenticación de comandos, que involucre dos estaciones terrenas y/o frecuencias diferentes.
- Implementar protocolos de control de acceso.
- Utilizar monitoreo de señales para prevenir la toma de control no autorizada.

Protección Cibernética:

- Implementar medidas de seguridad en los sistemas de control, como autenticación multifactor.

- Realizar auditorías de seguridad y actualizaciones regulares de software para evitar intrusiones.

Importancia de la Protección Electromagnética

La protección electromagnética en el espacio implica la implementación de medidas de seguridad y tecnologías diseñadas para mitigar los efectos de los ataques electromagnéticos. Esto incluye el uso de sistemas de cifrado robustos, firewalls, detección de intrusiones y otras técnicas de seguridad cibernética para proteger los sistemas espaciales contra interferencias maliciosas en el espectro electromagnético.

En el contexto de NAVWAR, son indispensables las acciones defensivas que protegen el acceso a la Positioning, Navigation, and Timing (PNT). Debido a que todas estas acciones, como la adquisición de un reloj atómico independiente para cada país, para los barcos de la flota de guerra principal, así como satélites de comunicaciones, aseguran la señal de tiempo, de los elementos conectados, con la tarea fundamentales de mantener la integridad, sincronización, seguridad y la capacidad de los datos navegación en entornos de conflicto.

Antecedentes de Ataques Spoofing y Jamming de GPS

La vulnerabilidad de los sistemas de navegación satelitales a ataques de spoofing y jamming se ha convertido en una preocupación crítica tanto para las operaciones civiles como militares. Estos ataques no solo interrumpen las comunicaciones y la navegación, sino que también representan un riesgo significativo para la seguridad. A continuación, se presentan algunos casos recientes que destacan la gravedad de estos incidentes:

1. Incidente de Spoofing en el Mar Negro (Marzo de 2017)

- **Ubicación:** Mar Negro
- **Detalles:** Los informes sugieren que este fue uno de los primeros casos documentados de spoofing a gran escala en el mar, y se sospecha que Rusia estuvo detrás del ataque, dado su avanzado arsenal de interferencia y spoofing GPS. Las capacidades rusas para interrumpir señales GPS están bien documentadas, y se han reportado casos similares en otras regiones. En este incidente de spoofing, más de 20 embarcaciones mostraron posiciones GPS falsas. Este evento

causó confusión significativa y resaltó la vulnerabilidad de los sistemas de navegación marítima frente a ataques de spoofing, esto detuvo las operaciones por 24 horas, con el fin de evitar colisiones, encallamientos y otros problemas asociados a la navegación marítima. (Jones, 2017; Goward, 2017)

2. Intensificación de Jamming de GPS en los Países Nórdicos (27 de febrero de 2024)

- **Ubicación:** Finlandia, Noruega, Polonia
- **Detalles:** Se reportó un incremento significativo en las actividades de jamming de GPS en los países nórdicos, afectando a Finlandia, Noruega y Polonia. Este fenómeno ha afectado no solo a unidades militares, sino también a aerolíneas y servicios de ambulancia aérea. Los incidentes de jamming se describen como prácticamente diarios cerca de la frontera rusa, lo que se considera una táctica de “guerra híbrida” por parte de Rusia. Este tipo de interferencia no solo obstaculiza la navegación aérea y marítima, sino que también representa un riesgo para la seguridad pública y la operación de servicios de emergencia. (Faust, 2024; Barents, 2024)

3. Spoofing de GPS en el Medio Oriente (2023)

- **Ubicación:** Medio Oriente
- **Detalles:** En 2023, se reportaron múltiples incidentes de spoofing de GPS en la Vía Aérea UMB688, ubicada en el norte de Iraq. Estos eventos involucraron la transmisión de señales GPS falsificadas, causando la pérdida total de la capacidad de navegación en diversas aeronaves, incluyendo modelos como Boeing, Gulfstream y Embraer. Los ataques desplazaron las posiciones mostradas en los sistemas de navegación por hasta 60 millas náuticas, creando situaciones críticas que obligaron a las tripulaciones a depender de vectores de control de tráfico aéreo para mantener el curso. Este tipo de spoofing ha sido particularmente preocupante, ya que no solo afecta al GPS, sino que también confunde los sistemas de navegación inercial (IRS), lo que agrava la situación de los aviones afectados. (Ops Group, 2023)

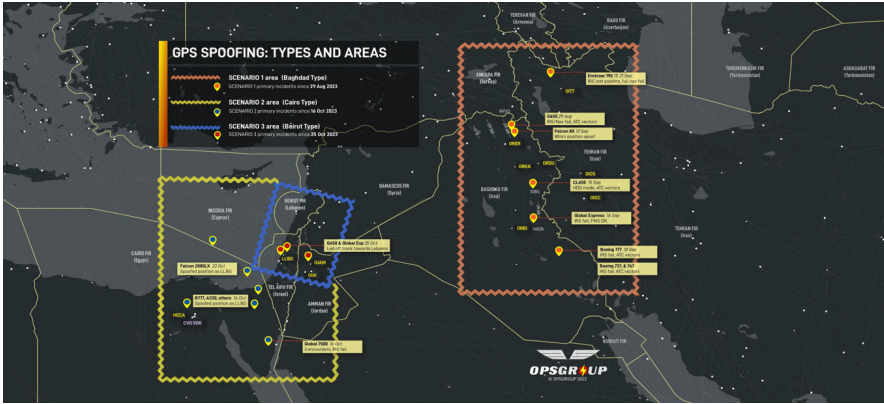
Un total de 12 informes separados sobre esta situación involucran a una variedad de aeronaves, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3. Aeronaves y tipo de ataque sufrido

Aeronave	Tipo de Ataque
Embraer 190	Spoofing de GPS - Jamming
Embraer 600	Spoofing de GPS - Jamming
Boeing 737	Spoofing de GPS - Jamming
Boeing 747	Spoofing de GPS
Boeing 777	Spoofing de GPS - Jamming
Gulfstream 650	Spoofing de GPS
Challenger 650	Spoofing de GPS
Global Express	Spoofing de GPS
Falcon 8X	Spoofing de GPS

Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados (Ops Group, 2023).

Figura 6. Spoofing de GPS en el Medio Oriente



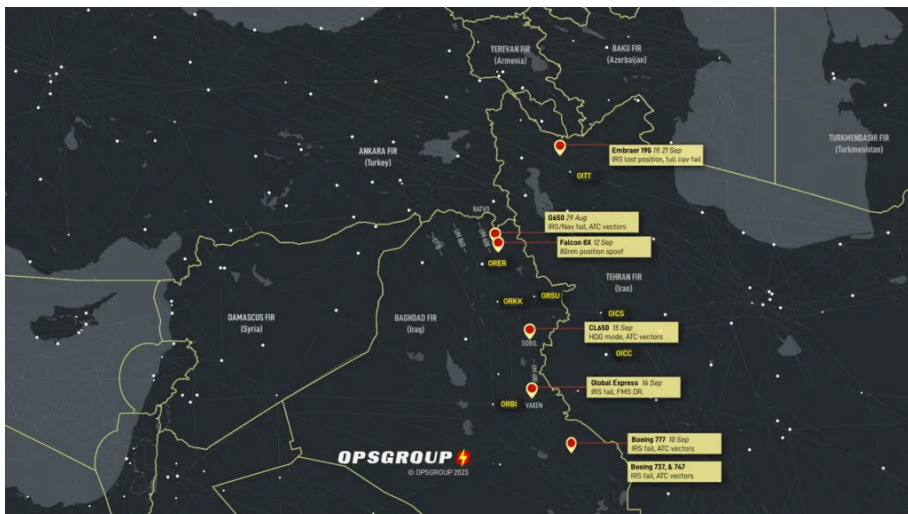
Fuente: (Ops Group, 2023).

En la Figura anterior puede observarse las posiciones aproximadas donde las aeronaves han sufrido diferentes tipos de ataque EW y Ciber, a lo largo de la frontera con Irán.

4. Investigación y Rastreo de Falsificaciones de GPS (2023)

- **Ubicación:** Irak - Irán
- **Detalles:** En 2023, se reportaron múltiples incidentes de spoofing de GPS en la Vía Aérea UMB688, situada en el norte de Iraq. Estos eventos involucraron señales GPS falsificadas que causaron la pérdida total de la capacidad de navegación en diversas aeronaves, incluidos modelos de Boeing, Gulfstream y Embraer. Los ataques desplazaron las posiciones mostradas en los sistemas de navegación por hasta 60 millas náuticas, creando situaciones críticas que obligaron a las tripulaciones a depender de vectores de control de tráfico aéreo para mantenerse en curso. Este tipo de spoofing no solo afecta al GPS, sino que también confunde los sistemas de referencia inercial (IRS), agravando aún más la situación. Investigadores de la Universidad de Texas, utilizando equipo en la Estación Espacial Internacional, rastrearon estas señales falsas hasta las afueras orientales de Teherán. El análisis sugirió que estas interferencias estaban más dirigidas a la negación de servicio que a la decepción real, indicando un uso sofisticado de la tecnología para interferir con la navegación. (Niles, 2023)

Figura 7. *Spoofing de GPS Aerovía UMB688*



Fuente: (Ops Group, 2023).

Figura 8. *Aeronaves Civiles en Riesgo por ataque Electrónico y Jamming*



Fuente: (Sanz, 2023).

Las aeronaves bajo ataques de spoofing y Jamming, frecuentemente se encuentran físicamente en ubicaciones distintas a las que muestran sus sistemas de navegación, una situación crítica especialmente cuando no se presentan alertas de degradación o pérdida en los sistemas de navegación empleados en procedimientos de Navegación Basada en Prestaciones (RNP) y Navegación de Área (ARNAV). Este desajuste puede tener consecuencias graves para la seguridad de vuelo.

En la Figura 4, se ilustra un caso en el que una aeronave Embraer 650 fue advertida por el control de la Región de Información de Vuelo (FIR) de Bagdad de que estaba próxima a ingresar a territorio iraní, lo que la ponía en grave riesgo de ser derribada. A pesar de que los sistemas de navegación de la aeronave indicaban que se encontraba sobre la aerovía designada, la tripulación se vio obligada a virar a la derecha para evitar el ingreso no autorizado a espacio aéreo iraní. (Sanz, 2023)

Esta situación resalta la importancia de tener sistemas de navegación precisos y confiables, así como la necesidad de contar con protocolos y procedimientos de respaldo para mitigar riesgos asociados a inexactitudes en la navegación.

Complejidades en la detección de operaciones de guerra electrónica y cibernética contra el poder espacial

Las operaciones de guerra electrónica y cibernética dirigidas contra el poder espacial son notoriamente difíciles de detectar y conocer en detalle. Estas operaciones suelen pasar desapercibidas hasta que se manifiestan los efectos adversos en los servicios que dependen de la tecnología espacial. La naturaleza furtiva y sofisticada de estos ataques complica aún más su identificación y mitigación. Sin embargo, a través de la documentación de incidentes específicos, se puede inferir el alcance y las capacidades de estas amenazas. A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes:

1. *Operación Burnt Frost (2008)*

La **Operación Burnt Frost** fue una misión llevada a cabo por Estados Unidos en 2008 con el objetivo de interceptar y destruir un satélite espía propio, el USA-193, que había perdido el control poco después de su lanzamiento. El satélite contenía un tanque de combustible altamente tóxico, que representaba un riesgo significativo si llegara a caer en áreas pobladas. Para evitar este peligro, Estados Unidos decidió destruir el satélite utilizando un misil lanzado desde un buque de guerra en el océano Pacífico.

Método: Un misil Standard Missile-3 (SM-3) fue lanzado desde el crucero USS Lake Erie (CG-70) y logró impactar el satélite a una altitud de aproximadamente 247 kilómetros (153 millas), desintegrándolo y minimizando la posibilidad de que los restos causaran daños en la Tierra.

Objetivo: La misión fue diseñada específicamente para destruir el tanque de combustible de hidracina del satélite, evitando así la dispersión de esta sustancia tóxica en caso de que el satélite reingresara descontroladamente a la atmósfera terrestre. (Johnson, 2021)

2. *Operación KOSMOS 2499 (2013):*

La **Operación KOSMOS 2499** se refiere al lanzamiento por parte de Rusia de un satélite cuya misión y propósito exactos no fueron claros para la comunidad internacional, generando especulaciones sobre su verdadera naturaleza. Este satélite, designado como KOSMOS 2499, despertó interés y preocupación debido a sus maniobras inusuales y su posible capacidad de realizar inspecciones espaciales o actuar como un arma antisatélite.

Especulaciones: Inicialmente, KOSMOS 2499 fue registrado como un satélite de comunicaciones, pero sus maniobras posteriores sugirieron que podría estar diseñado para acercarse y manipular otros satélites. Esto llevó a especulaciones de que podría ser un satélite de inspección o incluso una plataforma de ataque antisatélite.

Maniobras Inusuales: Durante su operación, KOSMOS 2499 realizó varias maniobras precisas que lo acercaron a otros objetos espaciales, lo que es típico de satélites con capacidades de inspección o interferencia. (Marin, 2014)

3. Interferencia China con Satélites de Telecomunicaciones (2007)

En 2007, se detectaron múltiples incidentes de interferencia en los satélites de comunicaciones de la empresa estadounidense Intelsat. Se sospecha que China estuvo detrás de estas interferencias, aunque nunca se confirmó oficialmente. Estos incidentes subrayaron las capacidades de China en el ámbito de la guerra electrónica y generaron preocupaciones significativas en la comunidad internacional sobre la seguridad y la vulnerabilidad de los sistemas de comunicación satelital.

Satélites Afectados: Satélites de comunicaciones geoestacionarios de Intelsat.

Naturaleza de la Interferencia: Las señales de interferencia causaron interrupciones en las comunicaciones, afectando tanto a servicios comerciales, bancarios, como gubernamentales de comunicaciones, las interferencias sugirieron que China estaba detrás de estos ataques, posiblemente como parte de pruebas de capacidades o demostraciones de fuerza en el ámbito de la guerra espacial. (Liebowitz, 2011)

4. Interferencia con Satélites de Observación Meteorológica (2019)

En 2019, se reportaron varios incidentes de interferencia deliberada con satélites de observación meteorológica, que se sospecha fueron realizados por Rusia. Estas interferencias afectaron la capacidad de los satélites para recopilar datos precisos sobre las condiciones meteorológicas, lo que podría haber tenido graves repercusiones en la predicción del clima y en la seguridad de las operaciones aéreas y marítimas.

Satélites Afectados: Satélites meteorológicos europeos y japoneses, como el SMOS y el AMSR2, que operan en bandas de frecuencia sensibles a la interferencia.

Naturaleza de la Interferencia: Interferencias en las bandas L (1.4 GHz), C (6.9 GHz), X (10.7 GHz) y K (18.7 GHz). Estas interferencias causaron la pérdida de datos meteorológicos críticos, afectando la capacidad de los modelos de predicción para prever eventos climáticos extremos durante el 2019. Por las características de las interferencias y su origen geográfico apuntan a acciones deliberadas por parte de Rusia para interrumpir las operaciones de observación meteorológica. (Withington, 2024)

5. *incidente del USS Donald Cook en el Mar Negro (2016)*

Detalles: En 2016, el destructor estadounidense USS Donald Cook experimentó un ataque de spoofing en el Mar Negro. Durante el incidente, aviones de combate rusos, específicamente el Sukhoi Su-24, realizaron pasadas a baja altitud cerca del destructor, generando preocupaciones significativas en las autoridades estadounidenses. Este evento fue considerado parte de las tácticas de negación de acceso y área (A2/AD) emergentes de Rusia en la región, demostrando su capacidad para realizar maniobras militares intimidantes y potencialmente disruptivas.

Impacto: El ataque de *spoofing* alteró significativamente la percepción de ubicación del USS Donald Cook, destacando la vulnerabilidad de los sistemas de navegación por GPS frente a interferencias y manipulaciones. Estos eventos subrayan la importancia de desarrollar contramedidas robustas para proteger los activos navales y aéreos en entornos de conflicto potencial. (Nordenman, 2016).

Medidas de Mitigación y Recomendaciones

Estas medidas buscan fortalecer la seguridad y resiliencia de los sistemas de navegación por satélite ante amenazas como el *spoofing* y el *jamming*. Incluyendo la implementación de tecnologías avanzadas para detectar anomalías en las señales de GPS, la capacitación exhaustiva de tripulaciones para manejar situaciones de interferencia, la cooperación internacional para compartir inteligencia y coordinar respuestas, y el desarrollo continuo de protocolos de seguridad robustos. Estas estrategias no solo mejorarán

la seguridad operativa de aeronaves y embarcaciones, sino que también protegerán infraestructuras críticas contra ataques de guerra electrónica y cibernética.

Implementación de Sistemas de Detección de Spoofing:

Es fundamental que tanto aeronaves como embarcaciones estén equipadas con tecnología avanzada capaz de detectar y alertar sobre anomalías en las señales de GPS. Esta tecnología permitirá una respuesta oportuna y adecuada ante intentos de *spoofing* o *jamming*, minimizando el riesgo de desorientación y potenciales accidentes.

Capacitación de Tripulaciones

Las tripulaciones deben recibir formación exhaustiva para identificar y manejar situaciones de *spoofing* y *jamming*. Esto incluye el dominio de sistemas de navegación alternativos como VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range), DME (Distance Measuring Equipment) y el uso de cartas de navegación impresas, asegurando la continuidad de las operaciones en caso de fallos en los sistemas GPS.

Cooperación Internacional

Es vital fortalecer la colaboración entre naciones para compartir inteligencia sobre amenazas y coordinar respuestas a incidentes de interferencia en la navegación por satélite. Esta cooperación puede facilitar la identificación rápida de fuentes de interferencia y la implementación de medidas preventivas.

Desarrollo de Protocolos de Seguridad Robustos

Los protocolos de seguridad para los sistemas de navegación por satélite deben ser continuamente actualizados y mejorados. La incorporación de medidas de autenticación y cifrado avanzadas puede proteger contra manipulaciones y asegurar la integridad de las señales de navegación, reduciendo así la vulnerabilidad a ataques de spoofing y jamming.

Operaciones Ciber en el Espacio

Las operaciones cibernéticas en el dominio espacial (CSO) se definen como el empleo de capacidades en el ciberespacio con el propósito principal de lograr objetivos del dominio espacial en o a través del ciberespacio. Estas operaciones se centran en las operaciones militares en y a través del ciberespacio, generando una estrecha relación y responsabilidad entre el Estado Mayor Conjunto, los comandos combatientes, el Comando Cibernético y los componentes de otros dominios para el empleo multidominio de las capacidades a la hora del combate.

Las operaciones en el ciberespacio incluyen la planificación, coordinación, ejecución y evaluación de estas operaciones. Aunque el ciberespacio forma parte del entorno de la información, depende de los dominios físicos del aire, tierra, mar y espacio para poder desarrollar operaciones. Las acciones en el ciberespacio, a través de efectos en cascada cuidadosamente controlados, pueden habilitar la libertad de acción para actividades en los dominios físicos. Cabe resaltar que el ciberespacio utiliza enlaces y nodos ubicados en los dominios físicos para crear efectos primero en el ciberespacio y luego, según sea necesario, en los dominios físicos. Esta interconexión permite habilitar la libertad de acción para actividades en los dominios físicos y viceversa. (Defense Information Systems Agency DISA, 2024)

Importancia de las Operaciones en el Ciberespacio

Las operaciones en el ciberespacio son fundamentales para lograr objetivos en o a través del ciberespacio. Su relación con los dominios físicos, incluido el espacio, es crucial para el éxito de las operaciones militares en la era digital (Defense Information Systems Agency DISA, 2024).

Estas operaciones incluyen acciones ofensivas, defensivas y de la red de información, garantizando la confidencialidad, integridad y disponibilidad de redes vitales de comando y control, disponibilidad de información sensible para la toma de decisiones, así como de la red de información en general. Están organizadas en misiones que combinan acciones de los dominios físicos y cyber, para lograr los objetivos del comandante en virtud del plan de campaña y otros imperativos nacionales (Defense Information Systems Agency DISA, 2024).

Elementos Fundamentales

Los elementos que componen las operaciones en el ciberespacio incluyen infraestructuras de tecnología de la información interdependientes, como Internet, redes de telecomunicaciones, sistemas informáticos y procesadores y controladores integrados. Estas operaciones permiten asegurar la libertad de acción para las propias fuerzas y aliadas en todos los dominios, al mismo tiempo que niegan esa misma libertad a los adversarios, dando ventajas significativas al generar parálisis en los sistemas de información enemigo. (Secretary of the Air Force, 2010)

Relación entre los dominios Ciber y Espacial

El ciberespacio y el espacio están inextricablemente vinculados, lo que brinda la posibilidad de integrar capacidades en ambos dominios para aumentar exponencialmente el poder de cada uno. Esta integración permite proporcionar a los comandantes de fuerzas conjuntas un acceso global sin igual, capacidad de persistencia, conciencia y conectividad, así como la capacidad de restaurar rápidamente infraestructuras críticas a través de un enfoque de redes entre dominios, aprovechando las ventajas físicas del dominio espacial, como lo son la velocidad, la cobertura y el hecho que es complejo neutralizar activos en el espacio, y el alcance e inmediatez del dominio ciber.

Operaciones Ofensivas y Defensivas

Las operaciones cibernéticas se centran en la planificación y orquestación de actividades a través del ciberespacio para permitir la libertad de maniobra y lograr objetivos nacionales y militares. Estas actividades incluyen acciones físicas y no físicas que respaldan la selección y ejecución multidominio de cursos de acción operativos. Todas las operaciones en el ciberespacio se habilitan a través de la aplicación apropiada e integrada de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento Cibernético (Cyber ISR) y Preparación Operativa del Entorno Cyber (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2022).

Un ejemplo de las capacidades ofensivas del dominio ciber, que se materializan en el dominio físico es la operación Stuxnet, considerada una de las más sofisticadas ciberarmas, diseñada específicamente para causar daños físicos a través de un ataque cibernético, destruyendo aproximadamente el 20% de las centrífugas en la planta Nuclear de Natanz (Fruhlinger, 2022).

Sistema de Sistemas

El sistema de sistemas es cada vez más el foco de los beligerantes que buscan oportunidades asimétricas e inconspicuas para llevar a cabo espionaje y para interrumpir y destruir la capacidad de sus adversarios de planificar y ejecutar operaciones. La comercialización del espacio está añadiendo complejidad a este ecosistema, pero apoyan significativamente a las operaciones de defensa y seguridad adoptando las oportunidades de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (ISR), desde redes no gubernamentales. (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2022)

Ataques Cibernéticos a Activos Espaciales

Los ataques en el ciberespacio pueden afectar la funcionalidad de un activo espacial o de múltiples activos simultáneamente conectados a un mismo sistema o misma red. Estos ataques típicamente buscan la instalación de malware en el software de desarrollo o actualizaciones del sistema, permitiendo la interceptación, manipulación de datos, inserción de comandos maliciosos o causando comportamientos anómalos en los satélites y otros activos espaciales, en el peor de los casos la toma de control del satélite no autorizada por parte de agresor (Space Doctrine USSF, 2023).

Los ataques a los activos espaciales además, incluyen ataques a las funciones informáticas terrestres utilizadas para respaldar las operaciones espaciales, radares, sensores ópticos y operaciones de C2, manipulando datos para obstaculizar el flujo de información, insertar comandos no deseados o causar comportamientos anómalos en los sistemas, lo que podría impedir a los Guardianes controlar y comunicarse con sus activos espaciales.

Por tanto, las operaciones ciber en el dominio espacial son esenciales para proteger y mantener la funcionalidad de las naves espaciales y los sistemas terrestres que respaldan las operaciones espaciales. Destacando la necesidad de neutralizar las amenazas en ambos dominios para garantizar la seguridad y la efectividad de las operaciones que permiten proyectar poder, asegurar la libertad de maniobra y garantizar el éxito en las operaciones militares (Leitzel & Hillebrand, 2022).

Red De Información Espacial En Las Operaciones Espaciales

El Space Information Network (Red de Información Espacial) es un componente crucial de las operaciones espaciales y se compone de varios elementos importantes. Estos elementos incluyen:

1. **Comunicaciones Espaciales:** Las comunicaciones espaciales son fundamentales para la transmisión de datos, información y órdenes entre las naves espaciales, los sistemas terrestres y los operadores. Estas comunicaciones garantizan la conectividad y la coordinación efectiva de las operaciones espaciales.
2. **Sistemas de Posicionamiento, Navegación y Tiempo (PNT):** Los sistemas PNT proporcionan información precisa sobre la posición, la navegación y el tiempo, lo que es esencial para la planificación, ejecución y evaluación de las operaciones espaciales.
3. **Datos y Análisis:** La recopilación, procesamiento y análisis de datos son elementos clave del Space Information Network (SIN). Estos datos son fundamentales para la toma de decisiones informadas y la evaluación de la efectividad de las operaciones espaciales (Cyberspace air component commander, 2023).

La importancia del SIN radica en su capacidad para facilitar la comunicación, la coordinación y la toma de decisiones efectivas en el ámbito de las operaciones espaciales. Al garantizar la disponibilidad de información precisa y oportuna, este sistema contribuye a la seguridad, la eficacia y la superioridad en el espacio (Space Doctrine USSF, 2023, pp. 35-36).

Relación entre el Dominio Ciber y el Dominio Espacial

El Space Information Network es un componente clave que forma parte de las operaciones en el dominio espacial. Este sistema está compuesto por una red de información que abarca una variedad de elementos, como satélites, estaciones terrestres, sistemas de comunicación y sistemas de control. La interconexión entre el dominio ciber y el dominio espacial ofrece la oportunidad de integrar capacidades entre ambos dominios para potenciar significativamente el poder y la efectividad de las operaciones en cada uno de ellos. Esta integración permite a los comandantes de fuerzas conjuntas acceder a capacidades sin igual, aumentar la conciencia situacional, la conectividad, y restaurar rápidamente infraestructuras críticas a través de un enfoque de red entre dominios. (Secretary of the Air Force, 2010, pp. 3-5)

Elementos Clave del Space Information Network

El SIN se compone de una serie de elementos clave que son fundamentales para las operaciones en el espacio y su interacción con otros dominios, como el ciberespacio. Estos elementos incluyen:

1. **Satélites:** Proporcionan capacidades de comunicación, navegación, observación, Inteligencia y vigilancia desde el espacio.
2. **Estaciones Terrestres:** Instalaciones en tierra que se utilizan para comunicarse con los satélites, controlar sus funciones y recibir datos e información transmitidos desde el espacio.
3. **Enlaces de Comunicación:** Canales que conectan los satélites con las estaciones terrestres y otros sistemas de comunicación en la Tierra.
4. **Centro de Operaciones Espaciales (Space Operations Center, SpOC)** es la instalación o conjunto de instalaciones principales encargadas de la gestión, control y supervisión de las operaciones espaciales de una nación. El SpOC es fundamental para la coordinación y ejecución de diversas actividades en el espacio, desde el lanzamiento y monitoreo de satélites, seguimiento, vigilancia y alerta de amenazas naturales y artificiales en el espacio, coordinaciones y cooperación internacional, y el desarrollo de la infraestructura espacial. Su importancia radica en el impacto en la seguridad nacional, la gestión de infraestructura crítica estratégica, la respuesta a emergencias y el avance tecnológico que trae al país, por tanto su protección cibernética constituye una prioridad para las entidades.

La importancia del Space Information Network radica en su capacidad para proporcionar comunicaciones seguras, precisas y confiables, así como para facilitar la vigilancia y el reconocimiento en el espacio. Además, esta red es crucial para la coordinación de operaciones militares, la recopilación de inteligencia y la navegación precisa, lo que contribuye significativamente a la superioridad en el dominio espacial y al éxito de las misiones militares (Leitzel & Hillebrand, 2022).

Interdependencia del Espacio y el Ciberespacio

El Space Information Network (SIN) se define como una red de información que proporciona conectividad global para operaciones en el ciberespacio. Esta red incluye elementos como satélites, estaciones terrestres, enlaces de comunicación y otros sistemas espaciales que son fundamentales para las

operaciones en el ciberespacio y para la conectividad global en general. La relación entre el espacio y el ciberespacio es única, ya que prácticamente todas las operaciones espaciales dependen del ciberespacio, y una parte crítica del ancho de banda del ciberespacio solo puede ser proporcionada a través de operaciones espaciales. Estas interrelaciones son consideraciones importantes durante la planificación de operaciones (Department of Defense DOD, 2018, pp. 20-22).

Operaciones de Defensa Cibernética Espacial

La defensa cibernética es fundamental para proteger las operaciones espaciales de amenazas cibernéticas. Comprende una variedad de medidas y capacidades destinadas a garantizar la integridad y funcionalidad de los sistemas espaciales frente a ataques y vulnerabilidades, cuenta con varios elementos claves como los siguientes:

- **Identificación y Mitigación (Conciencia Situacional):** La ciberdefensa se centra en detectar y mitigar las vulnerabilidades en los sistemas espaciales que pueden ser explotadas por actores malintencionados. Se implementan medidas de seguridad para prevenir y responder a posibles ataques cibernéticos.
- **Protección de Sistemas Críticos:** Garantizar la integridad de los sistemas espaciales implica proteger componentes críticos como los sistemas de comunicación y navegación contra intrusiones y manipulaciones no autorizadas.

Protección del Ecosistema de Redes y Plataformas

La ciberdefensa protege el ecosistema de redes y plataformas contra el robo, manipulación y destrucción a través de operaciones defensivas en el ciberespacio (DCO). Esta protección es vital para garantizar la resiliencia de las infraestructuras críticas y las operaciones militares (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2022).

Por otro lado, al asegurar la integridad de las comunicaciones, de los datos y sistemas, se mantiene la superioridad en el espacio y asegura que las fuerzas militares puedan llevar a cabo operaciones espaciales exitosamente (Space Doctrine USSF, 2023).

Existen algunas medidas de defensa que permiten tener un marco doctrinario y tecnológico claro para brindar capacidades de defensa efectivas, algunas se describen a continuación así:

1. **Seguridad Cibernética:** Políticas, procedimientos y tecnologías protegen los sistemas de información contra accesos no autorizados y ataques cibernéticos.
2. **Monitoreo y Detección:** Vigilancia constante de redes y sistemas para identificar amenazas en tiempo real, mediante sistemas automatizados y con la revisión periódica de escuadrones de operaciones ciber.
3. **Respuesta a Incidentes:** Capacidad de responder rápidamente a incidentes de seguridad cibernética, mitigando los impactos y restaurando la funcionalidad de los sistemas afectados.

Estas medidas son esenciales para garantizar la seguridad y disponibilidad de los sistemas de información críticos, tanto en el ámbito militar como en el civil. En el ámbito militar permite preservar la ventaja operativa y la confidencialidad de la información sensible (Secretary of the Air Force, 2010).

Operaciones Ofensivas Cibernéticas Espaciales

Las Operaciones Cibernéticas Ofensivas (Offensive Cyber Operations OCO) se constituyen por todas aquellas acciones llevadas a cabo en el ciberespacio para alcanzar objetivos militares específicos, como interrumpir, degradar o destruir las capacidades del adversario. Algunas de estas operaciones tienen efectos en los dominios físicos, siendo cruciales en el campo de batalla moderno, donde la información y la tecnología desempeñan un papel fundamental.

Elementos Clave de las Operaciones Cibernéticas Ofensivas

1. **Capacidad de Intrusión:** Estas operaciones implican la capacidad de penetrar en las redes enemigas para obtener información o comprometer sistemas. Esto incluye la explotación de vulnerabilidades y la inserción de malware.
2. **Capacidad de Denegación de Servicio:** El objetivo es interrumpir o degradar los servicios del adversario mediante ataques cibernéticos, afectando su capacidad operativa y de comunicación, esto puede ser temporal o permanente, dependiendo la severidad del ataque.

3. **Capacidad de Sabotaje:** Consiste en dañar o destruir sistemas informáticos enemigos, afectando directamente sus operaciones y capacidades estratégicas.
4. **Tomar el control de sistemas:** Tomar el control sin permiso de un activo mediante un ciberataque implica acceder y manipular sistemas informáticos o redes del enemigo sin que este detecte dicha actividad, para negar el uso del activo y por el contrario, dependiendo de su alcance y capacidad, usarlo como ataque en contra del mismo enemigo.

Estas operaciones son vitales para influir en el campo de batalla moderno, proporcionando una ventaja estratégica al incapacitar las capacidades cibernéticas del adversario. Además, protegen los sistemas propios de posibles ataques y permiten mantener la iniciativa en operaciones militares (Adamy, 2021, pp. 169, 200).

La importancia de estas operaciones radica en su capacidad para proyectar poder militar a través del ciberespacio, permitiendo a las fuerzas propias y aliadas llevar a cabo acciones ofensivas para alcanzar objetivos militares y estratégicos. Siendo esenciales para mantener la superioridad en el dominio ciber y espacial, afectando otros dominios en la mayoría de los casos (Leitzel & Hillebrand, 2022)

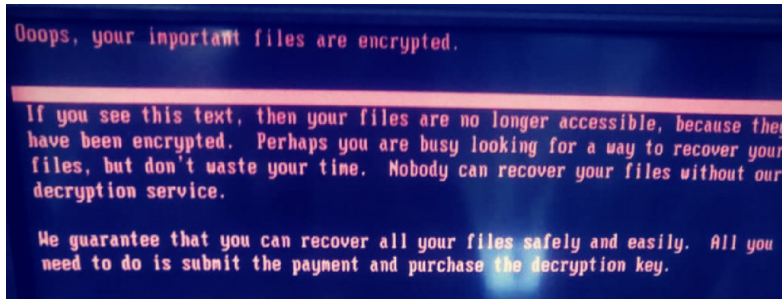
Antecedentes de Ciberataques

Ataques Ciber Generales

1. **Ataque a Sony Pictures (Noviembre 2014):** Hackers presuntamente vinculados a Corea del Norte llevaron a cabo un ciberataque contra Sony Pictures, resultando en el robo y filtración de datos confidenciales, así como la destrucción de sistemas internos, con un costo aproximado de 15 Millones de USD. (Framework Security, 2024)
2. **NotPetya (2017):** Un ransomware que se propagó rápidamente afectando a 80 organizaciones en todo el mundo, industrias, incluyendo transporte, energía-petroleras, y logística. Empresas como Maersk, Merck, y FedEx. Aunque se presentó como un ransomware, su objetivo principal parecía la encriptación de datos, causando interrupciones significativas en infraestructuras críticas, se registró cerca de 42 transferencias de Bitcoin asociadas a la billetera digital de los secuestradores. Este software

desarrollado por la NSA y filtrada por el grupo Shadow Brokers. (Maloney, 2017).

Figura 9. *Cyber Ataque por medio de encriptación de archivos sensibles*



Fuente: Imagen del mensaje de los Hackers a sus víctimas (Maloney, 2017).

Operación Cloud Hopper (2014-2017): Una campaña de ciberespionaje atribuida al grupo APT10 de China, dirigido a empresas de servicios de tecnología de la información y sus clientes globales, comprometiendo datos sensibles y propiedad intelectual (Stubbs, Menn, & Bing, 2019).

Los métodos utilizados en la Operación Cloud Hopper incluían:

- **Spear Phishing:** Envío de correos electrónicos con archivos adjuntos maliciosos o enlaces a sitios web comprometidos para engañar a los empleados y obtener acceso inicial.
- **Exploits y Malware:** Uso de vulnerabilidades conocidas para insertar malware en las redes de las víctimas. Herramientas como PlugX y QuasarRAT fueron comunes en esta campaña.
- **Movimiento Lateral:** Una vez dentro de las redes, los atacantes emplearon técnicas avanzadas para moverse lateralmente y escalar privilegios, permitiéndoles acceder a información sensible y sistemas críticos.

Ataques Ciber contra activos espaciales (Satélites)

1. **Hackeo del Satélite ROSAT (1998):** Hackers controlaron el satélite alemán ROSAT herramienta valiosa para la astronomía de rayos X, apuntando sus paneles solares directamente al sol, lo que causó un sobrecalentamiento de los componentes electrónicos y la pérdida del satélite,

Los hackers, vinculados a grupos de ciberespionaje, lograron acceder al satélite a través de una estación terrestre de la NASA en el Goddard Space Flight Center, donde utilizaron vulnerabilidades en los sistemas de control y comunicación para infiltrarse en la red. (Bordiú, 2014)

2. **Manipulación del Satélite Galaxy-15 (2010):** El satélite Galaxy-15, operado por Intelsat, experimentó un fallo en abril de 2010 que lo dejó inoperativo, convirtiéndolo en un “satélite zombi” lo que resultó en la pérdida de control sobre su sistema de propulsión y dirección. Este satélite de comunicaciones fue lanzado en 2005 y estaba diseñado para proporcionar servicios de televisión y datos. Aunque no fue un ataque cibernético, ilustró la vulnerabilidad de los satélites a interferencias de otras frecuencias, en Diciembre del mismo año, 8 meses después Intelsat recupero su control (Rainbow, 2022).
3. **Secuestro de Satélites del US Geological Survey (2007-2008):** En octubre de 2007 y julio de 2008, los satélites estadounidenses administrados por la NASA y el US Geological Survey (USGS), Landsat-7 experimentó interferencias durante 12 minutos o más. En junio y octubre de 2008, el satélite Terra AM-1 también fue interferido por periodos de dos y nueve minutos respectivamente. Aunque los hackers lograron acceder a los sistemas, no emitieron comandos a los satélites ni manipularon o robaron datos, los hackers obtuvieron acceso a través de la estación de satélites Svalbard en Noruega. Utilizando una conexión a Internet comprometida en esta estación . El informe sugiere que los responsables probablemente utilizaron técnicas consistentes con las prácticas descritas en documentos militares chinos, aunque no hay pruebas concluyentes (Grego, 2011).

Conclusiones

La integración del espacio, el ciberespacio y el espectro electromagnético en la guerra moderna ha redefinido el entorno estratégico, elevando los sistemas espaciales a facilitadores críticos de la seguridad nacional y la estabilidad global. Pero los activos espaciales, si bien transformativos en sus capacidades, siguen siendo inherentemente vulnerables a una amplia gama de amenazas. Las tácticas de guerra electrónica, como la interferencia y la suplantación de identidad, combinadas con las estrategias NAVWAR dirigidas a los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), pueden degradar significativamente la eficacia de las operaciones militares y civiles que dependen de la infraestructura espacial. Los ataques ciberespaciales agravan

aún más estas vulnerabilidades al explotar las interdependencias de la red e introducir riesgos para el control de los satélites, la integridad de los datos y la funcionalidad del sistema.

Los ciberataques pueden comprometer la confidencialidad o integridad de la información recopilada o generada por un sistema espacial, reduciendo la fiabilidad o incluso la eficacia del sistema espacial. Los ciberataques pueden comprometer la disponibilidad de los sistemas espaciales, haciendo que las capacidades críticas sean inaccesibles cuando se las necesita. Un ejemplo de un ciberataque a la disponibilidad sería la interrupción temporal de la capacidad del satélite para facilitar las comunicaciones o recopilar información durante un escenario crítico. Asimismo, el ciberataque podría generar consecuencias irreversibles, como activar los propulsores, agotar el combustible, desestabilizar la órbita, obligar al satélite a reingresar a la atmósfera, inmovilizar la computadora de a bordo, agotar las fuentes de energía o dirigir los sensores ópticos hacia el sol para dañar el plano focal.

En consecuencia, las amenazas cibernéticas plantean un desafío sustancial debido a la falta de advertencia, la rapidez de los ataques adversarios, los desafíos de la atribución y las complejidades involucradas en la ejecución de una respuesta apropiada. Los sistemas espaciales son susceptibles a diversas modalidades de ataque reconocidas, incluidas la guerra orbital, cinética y electrónica, entre otras, por lo que la implementación de estrategias de defensa en profundidad en todos los segmentos es esencial para salvaguardar nuestros activos espaciales. Los ciberataques pueden ocurrir en varios segmentos de la arquitectura (espacio, enlace y tierra), y los sistemas espaciales suelen descuidarse en diálogos más amplios sobre las amenazas cibernéticas a la infraestructura crítica.

En este orden de ideas, la creciente integración de sistemas terrestres, orbitales y digitales ha creado una superficie de ataque compleja. Los adversarios, desde actores estatales hasta grupos no estatales, pueden emplear estrategias asimétricas que aprovechen herramientas electrónicas y cibernéticas para perturbar las capacidades espaciales, a menudo con inversiones de bajo costo. Estas amenazas se ven exacerbadas por la creciente congestión en el espacio y la proliferación de satélites comerciales y militares. Pero cabe destacar que las implicaciones de la guerra electrónica, la guerra de navegación y los ciberataques se extienden más allá de las perturbaciones inmediatas. Amenazan los sistemas de mando y control, degradan la conciencia situacional y socavan la confianza en las infraestructuras críticas. Además, el potencial de tales acciones para intensificar los conflictos o desencadenar respuestas de represalia subraya la necesidad de medidas defensivas y de disuasión sólidas.

Para mitigar los riesgos que plantean las amenazas electrónicas y cibernéticas, los Estados deben invertir en arquitecturas espaciales resilientes. Esto incluye el fortalecimiento de los satélites y las estaciones terrestres contra las interferencias electromagnéticas, la incorporación de redundancia en las constelaciones de satélites y el diseño de sistemas que puedan funcionar en entornos degradados. Es esencial desarrollar protocolos avanzados de ciberseguridad para los sistemas espaciales; esto incluye proteger las comunicaciones por satélite, implementar métodos de cifrado robustos y garantizar la integridad de las redes de control terrestre. Las estrategias de ciber-resiliencia también deben incorporar la detección de amenazas, la respuesta rápida y los mecanismos de recuperación. Para países como Colombia, ingresar al ámbito espacial presenta oportunidades y desafíos, ya que, si bien los sistemas espaciales pueden mejorar la seguridad nacional y el desarrollo socioeconómico, también exponen vulnerabilidades a las amenazas de guerra electrónica, de navegación y cibernética. Por ello, el Estado colombiano adoptar un enfoque proactivo, priorizando la educación, la innovación tecnológica y las alianzas para desarrollar capacidades espaciales seguras y resilientes.

Es en este orden de ideas que todos los sistemas espaciales nacionales esenciales de Colombia deben estar adecuadamente fortificados contra las amenazas cibernéticas, ya que, en ausencia de una gobernanza estructurada para los requisitos, políticas y prácticas de seguridad, se debe emplear una estrategia de defensa en profundidad basada en amenazas para mitigar el riesgo cibernético espacial. Si bien ningún riesgo puede erradicarse por completo, los tomadores de decisiones, los especialistas en adquisiciones, los gerentes de programas y los diseñadores de sistemas pueden adherirse a principios esenciales al adquirir o diseñar un sistema espacial ciber-resiliente para mitigar los principales riesgos. En otras palabras, la implementación de defensas en todos los segmentos mejorará la postura de seguridad.

De manera similar a primeras defensas de cortafuegos, los sistemas espaciales se construyen bajo el supuesto de que los límites externos son adecuados y ofrecen una protección interna mínima en caso de una violación. Pero los actuales diseños deben prever que un adversario funcione sin impedimentos dentro de un sistema. Todos los sistemas deben garantizar una arquitectura ciber reforzada con medidas integrales de defensa en profundidad. Los costos, el cronograma, las dimensiones de la nave espacial, la masa y las limitaciones de potencia son esenciales para diseñar un sistema espacial seguro. La gestión de riesgos basada en amenazas evalúa las amenazas y vulnerabilidades en un sistema, sus efectos en el sistema y los riesgos asociados a la misión en general. En resumen, los entornos operativos deben tenerse en cuenta al

categorizar las amenazas y vulnerabilidades; ya que cada amenaza cibernética relevante para una misión debe evaluarse para determinar su probabilidad e impacto en la misión.

Finalmente, a medida que el espacio se convierte en un ámbito cada vez más disputado y congestionado, el nexo entre la guerra electrónica, la guerra de navegación y los ataques cibernéticos seguirá dando forma al futuro de los conflictos. En este capítulo se han esbozado las amenazas, los desafíos y las oportunidades críticos en este panorama en evolución, haciendo hincapié en la necesidad de estrategias integrales que integren la innovación técnica, la preparación operativa y la cooperación internacional. La capacidad de proteger los sistemas espaciales de las amenazas electrónicas y cibernéticas no solo determinará el éxito militar, sino que también garantizará la estabilidad y la seguridad de la sociedad global interconectada que depende de ellos.

Referencias bibliográficas

- Adamy, D. (2021). *EW 105 SPACE ELECTRONIC WARFARE*. Norwood: U.S. Library of Congress.
- Niles, R. (27 de Febrero de 2024). *Russia Steps Up GPS Jamming In Nordic Countries*. Obtenido de Aviation Web: <https://www.avweb.com/aviation-news/russia-steps-up-gps-jamming-in-nordic-countries/>
- Adamy, D. L. (2021). *Space Electronic Warfare*. Boston: Artech House.
- Barents, T. (25 de Febrero de 2024). *The Barents Observer*. Obtenido de Russian jamming is now messing up GPS signals for Norwegian aviation practically every day: <https://thebarentsobserver.com/en/security/2024/02/russian-jamming-now-messing-gps-signals-norwegian-aviation-practically-every-day>
- Bingen, K., Johnson, K., & Young, M. (2023). *SPACE THREAT ASSESSMENT 2023*. (J. W. RAYMOND, Ed.) Washington, DC, Estados Unidos: Center for Strategic & International Studies.
- Bordiú, C. (3 de Marzo de 2014). *TelefonicaTech*. Obtenido de Ataques contra redes de satélites: <https://telefonicatech.com/blog/ataques-contra-redes-de-satelites-y-ii>

Carlson, R., & Gurantz, R. (27 de Noviembre de 2022). CLAUSEWITZ IN SPACE - FRICTION IN SPACE STRATEGY AND OPERATIONS. *A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, Uno (1)(3), 65-80.

Cyberspace air component commander. (2023). *Cyberspace Operations* (Vols. 3-12). Washington, ee. uu.: AIR FORCE DOCTRINE PUBLICATION.

DIA, D. I. (2022). *CHALLENGES TO SECURITY IN SPACE*. Washington: Military-Power-Publications.

Defense Information Systems Agency DISA. (11 de Mayo de 2024). *Cyber Awareness Challenge 2024*. Obtenido de Department Of Defense Exchange Public: <https://public.cyber.mil/training/cyber-awareness-challenge/>

Deloitte Touche Tohmatsu Limited. (2022). *Defensive Cyberspace Operations (DCO) - The need to move beyond cyber security*. Recuperado el Mayo de 2024, de Deloitte Touche Tohmatsu Limited: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/xs/Documents/risk/me_deloitte-defensive-cyber-operations.pdf

Department of Defense DOD. (2018). *Cyberspace Operations* (Vols. Joint Publication 3-12). Washington, EE. UU.: Joint Force Development.

DoD, T. D. (2020). *DEFENSE SPACE STRATEGY SUMMARY*. Washington: The Department of Defense.

Dolman, E. C. (2022). SPACE IS A WARFIGHTING DOMAIN. *A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, No 1(No 1), 82-90.

Faust, C. (3 de Abril de 2024). *Global Positioning News*. Obtenido de Navigating Through Interference: Russia's GPS Jamming in the Nordic Region: <https://globalpositioningnews.com/navigating-through-interference-russias-gps-jamming-in-the-nordic-region/>

Framework Security. (28 de Junio de 2024). *Framework Security*. Obtenido de The Sony Pictures Breach: A Deep Dive into a Landmark Cyber Attack : <https://www.frameworksec.com/post/the-sony-pictures-breach-a-deep-dive-into-a-landmark-cyber-attack>

Fruhlinger, J. (31 de Agosto de 2022). *Security at the speed of Business CSO*. Obtenido de Stuxnet explained: The first known cyber-weapon: <https://www.csoonline.com/article/562691/stuxnet-explained-the-first-known-cyberweapon.html>

- Goward, D. (11 de Julio de 2017). *Mass GPS Spoofing Attack in Black Sea*. Obtenido de The Maritime Executive: <https://maritime-executive.com/editorials/mass-gps-spoofing-attack-in-black-sea>
- Grego, L. (1 de Diciembre de 2011). *THE EQUATION*. Obtenido de Hacked Satellites?: USCC Makes Claims It Can't Support: <https://blog.ucsusa.org/lgrego/hacked-satellites-uscc-makes-claims-it-cant-support/>
- Jiménez, M. M. (5 de Mayo de 2023). War in space? *Revista de Pensamiento Estratégico y Seguridad CISDE, Ocho*, 93-112.
- Johnson, N. L. (5 de Mayo de 2021). *Science Direct*. Obtenido de Operation Burnt Frost: A View From Inside: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265964621000035>
- Jones, M. (11 de Octubre de 2017). *GNSS Positioning Navigation Timing*. Obtenido de <https://www.gpsworld.com/spoofing-in-the-black-sea-what-really-happened/>
- Jordán, J. (2023). Great Powers Competition and Outer Space Militarization. *Araucaria. Revista Iberoamericana de Filosofía, Política, Humanidades y Relaciones Internacionales*.
- Leitzel, B., & Hillebrand, G. (2022). *Strategic Cyberspace Operations Guide*. Filadelfia, Pensilvania, EE. UU.: United States Army War College.
- Liebowitz, M. (1 de Octubre de 2011). *Space.com*. Obtenido de Hackers Interfered With 2 US Government Satellites: <https://www.space.com/13423-hackers-government-satellites.html>
- Maloney, S. (2017). *Cybereason*. Recuperado el Julio de 2024, de A Quick Recap on NotPetya – An Unofficial Guide: <https://www.cybereason.com/blog/blog-a-quick-recap-on-notpetya>
- Marin, D. (3 de Noviembre de 2014). *Eureka*. Obtenido de El misterioso satélite interceptor ruso Kosmos 2499: <https://danielmarin.naukas.com/2014/11/03/el-misterioso-satelite-interceptor-ruso-kosmos-2499/>
- Nieto Fernández, I. (2020). NAVWAR. LA GUERRA EFICAZ DEL MENOS PODEROSO. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Niles, R. (2023 de Noviembre de 2023). *Resilent Navigation Timing Foundation*. Obtenido de GPS Spoofing Signals Traced To Tehran: <https://rntfnd.org/2023/11/29/gps-spoofing-signals-traced-to-tehran-avweb/>

- Nordenman, M. (15 de Abril de 2016). *USNI News*. Obtenido de Russian Flyby of USS Donald Cook Highlights International Tension in the Baltics: <https://news.usni.org/2016/04/15/russian-flyby-of-uss-donald-cook-highlights-international-tension-in-the-baltics>
- Ops Group. (8 de Noviembre de 2023). *Ops Group*. Obtenido de GPS Spoofing Update: Map, Scenarios And Guidance: <https://ops.group/blog/gps-spoofing-update-08nov2023/?print=pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fops.group%2Fblog%2Fgps>
- Pollpeter, K., Barrett, E., Edmond, J., Kerrigan, A., & Taffer, A. (2023). *China-Russia Space Cooperation*. (A. S. Institute, Ed.) Montgomery, Alabama, EE. UU.: China Aerospace Studies Institute.
- Poveda Z, G. A. (11 de Junio de 2020). Revisión teórica y aplicación práctica de las ciencias del espacio para reducir el consumo de combustibles en cohetes y vehículos espaciales. *Ciencia y Poder Aereo*, 15(Una), 152-160.
- Rainbow, J. (19 de Agosto de 2022). *SpaceNews*. Obtenido de Intelsat working to regain control of Galaxy 15 satellite: <https://spacenews.com/intelsat-working-to-regain-control-of-galaxy-15-satellite/>
- Randall E., C., & Gurantz, R. (2022). CLAUSEWITZ IN SPACE. *A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, No 1(3), 65-80.
- SPP, S. P. (2019). *Multinational Operations* (Vols. Joint Publication 3-16). (C. Pattillo Jr, G. Palmer, C. Corey, & P. Croteau, Edits.) Washington, Estados Unidos: Strategic Plans and Policy.
- Sanz, A. (30 de Septiembre de 2023). *Aviación Digital*. Obtenido de Expertos en operaciones y seguridad alertan de la suplantación de GPS cerca de Irán e Irak: <https://aviaciondigital.com/expertos-operaciones-seguridad-alertan-suplantacion-gps-iran-irak/>
- Secretary of the Air Force. (2010). *CYBERSPACE OPERATIONS - AIR FORCE* (Vols. 3 - 12). Washington: AIR FORCE DOCTRINE.
- Shapira, Z., & Baram, G. (2019). The Space Arms Race: Global Trends and State Interests. *Cyber, Intelligence, and Security*, 3-21.
- Space Doctrine USSF. (2023). *Space Operations* (Vols. 3-0). Washington: Space Training and Readiness Command.

- Stubbs, J., Menn, J., & Bing, C. (26 de Junio de 2019). *Reuters Intetigate*. Obtenido de Inside the West's failed fight against China's 'Cloud Hopper' hackers: <https://www.reuters.com/investigates/special-report/china-cyber-cloudhopper/>
- Szymanski, P. S. (16 de Marzo de 2020). *Air University*. Obtenido de How to Win the Next Space War: An Assessment: <https://www.airuniversity.af.edu/Wild-Blue-Yonder/Articles/Article-Display/Article/2112636/how-to-win-the-next-space-war-an-assessment/>
- Tamame Camarero, J. (2002). El poder aeroespacial ya es un hecho. *Arbor Revista - Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 217-229.
- Toro Dávila, A. (1993). *EL ESPACIO EN LA PERSPECTIVA DE UN NUEVO ORDEN POLITICO-ESTRATEGICO INTERNACIONAL*. Santiago de Chile: Instituto de Estudios Internacionales Universidad de Chile.
- Withington, T. (4 de Enero de 2024). *Armada International*. Obtenido de Deliberate Interference: <https://www.armadainternational.com/2024/01/alleged-russian-sentinel-satellite-jamming-electronic-warfare/>

CAPÍTULO 6.

El Uso Militar del Espacio Exterior: Comparando los Casos de la Primera Guerra del Golfo y la Guerra Ruso-Ucraniana^{108*}

Carlos Álvarez Calderón¹⁰⁹

CR. Yerim Andrés Rozo Cepeda¹¹⁰

TC. María Paula Mancera Perilla¹¹¹

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana

Resumen: En este capítulo se analiza el papel evolutivo del espacio ultraterrestre en los conflictos militares modernos, centrándose en los casos com-

108* Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación “Desarrollo Espacial en Colombia y aportes de la Fuerza Aeroespacial Colombiana”, del grupo de investigación “GICMA” de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, categorizado en A por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL140489. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

109 Profesional Oficial de Reserva de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Candidato a Doctor en Estudios Estratégicos, Seguridad y Defensa de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Magister en Relaciones Internacionales de la Pontificia Universidad Javeriana y Magister en Coaching Ontológico Empresarial de la Universidad San Sebastián (Chile). Politólogo de la Pontificia Universidad Javeriana. Becario del Centro de Estudios Hemisféricos de Defensa “William J. Perry”. Investigador Asociado categorizado por MinCiencias. Docente Investigador de la Escuela de Superior de Guerra, Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Escuela de Inteligencia Aérea y Academia Naval de Estudios Estratégicos. Columnista de la Revista Aeronáutica de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Analista en Inteligencia Estratégica, y Consultor en Seguridad y Defensa para diversas instituciones nacionales e internacionales. Código ORCID: 0000-0003-2401-2789. Contacto: carlos.alvarez@esdeg.edu.co.

110 Coronel de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Director de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Magister en Seguridad y Defensa, Especialista en Seguridad y Defensa de la Escuela superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Air Mission Commander de Army Aviation Center of Excellence, Administrador Aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez” Docente e Instructor de la Escuela de Postgrados de la FAC, Escuela internacional de Helicópteros para las Fuerzas Armadas. Segundo Comandante y Jefe de Estado Mayor del CACOM-4, Director de la EHIFA, Subdirector de Movilidad JEPHU, Comandante de grupo de Combate y Educación Aeronáutica en CACOM-6. Contacto: yerim.rozo@epfac.edu.co.

111 Teniente Coronel de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Comandante del Grupo Académico de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Magister en Administración de Personal, Conocimiento y Cambio de la Universidad de Lund (Suecia). Magister en Geoestrategia y Geopolítica de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. Administradora Aeronáutica de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”. Docente e Instructor de la Escuela de Postgrados de la FAC. Contacto: maria.mancera@epfac.edu.co.

parativos de la Guerra del Golfo (1991) y la Guerra Ruso-Ucraniana (2022-2024). La Guerra del Golfo marcó el advenimiento del espacio como dominio militar, a menudo denominada la “primera guerra espacial”, con tecnologías satelitales que permitieron la navegación de precisión, las comunicaciones en tiempo real y la recopilación de inteligencia, estableciendo un paradigma para integrar los activos espaciales en las estrategias militares. En contraste, el conflicto ruso-ucraniano en curso ilustra las complejidades de la “guerra híbrida” contemporánea, donde el espacio desempeña un papel central, destacando los avances en las tecnologías satelitales, los servicios espaciales comerciales, y la guerra electrónica y cibernética. Al comparar estos dos conflictos, este capítulo destaca el papel crítico del espacio en la configuración de la dinámica de la guerra contemporánea y futura. Hace hincapié en la creciente dependencia de las tecnologías espaciales y la necesidad de marcos internacionales para abordar los desafíos de la militarización y la seguridad espaciales en un entorno estratégico global en rápida evolución.

Palabras clave: Guerra Espacial, Guerra del Golfo, Guerra Ruso-Ucraniana, Guerra Híbrida.

Introducción

El espacio, considerado en el pasado como la última frontera para la exploración y el descubrimiento científico, se ha convertido en la actualidad en un ámbito crítico para las operaciones militares. La vasta extensión más allá de la atmósfera terrestre, explorada inicialmente por su potencial para el avance del conocimiento humano y la expansión de los límites de la tecnología, se reconoce ahora como un ámbito estratégico donde se proyectan y protegen los intereses de seguridad nacional. Por consiguiente, la transformación del espacio en un ámbito militar es uno de los avances más significativos en la historia de la guerra, que ha reconfigurado la forma en cómo los Estados se preparan y participan en los conflictos militares. Y a medida que los Estados continúen desarrollando y desplegando tecnologías basadas en el espacio exterior, el papel de este dominio de guerra en la estrategia militar solo crecerá en importancia. Comprender la dinámica del espacio como dominio militar es esencial para comprender el futuro de la seguridad global y las formas en que se pueden combatir y resolver los conflictos en el siglo XXI.

La evolución de la guerra espacial se puede observar vívidamente a través de dos conflictos importantes: la Guerra del Golfo de 1990 a 1991 y la actual Guerra Ruso-ucraniana, que se intensificó dramáticamente en 2022. Estas dos

guerras, separadas por más de tres décadas, ofrecen un lente convincente a través de la cual examinar el desarrollo y la aplicación de las capacidades militares basadas en el espacio. La Guerra del Golfo se cita a menudo como la “primera guerra espacial”, en la que Estados Unidos y sus aliados de la coalición aprovecharon la tecnología satelital para lograr niveles sin precedentes de coordinación y precisión en sus operaciones militares. El uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para la navegación, las comunicaciones satelitales para el mando y control, y los satélites de reconocimiento para la recopilación de inteligencia, marcaron un punto de inflexión en la integración de los activos espaciales en la estrategia militar. Este conflicto demostró el potencial del espacio para mejorar la guerra convencional, sentando las bases para futuros avances.

En cambio, la actual Guerra Ruso-ucraniana representa la próxima generación de guerra espacial, caracterizada por el uso generalizado de tecnologías satelitales sofisticadas, operaciones cibernéticas dirigidas a la infraestructura espacial y la participación de entidades espaciales comerciales en operaciones militares. El conflicto ha puesto de relieve el papel fundamental del espacio en la doctrina militar moderna, ya que tanto Rusia como Ucrania, junto con sus respectivos aliados, dependen en gran medida de los activos espaciales para obtener ventajas estratégicas en el campo de batalla. Desde la inteligencia en tiempo real proporcionada por los satélites de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (IVR) hasta el despliegue de servicios de Internet basados en satélites como *Starlink* para garantizar la resiliencia de las comunicaciones, la guerra subraya la creciente importancia del espacio como un dominio disputado y esencial en los conflictos contemporáneos.

Por consiguiente, este capítulo tiene por objeto analizar el uso militar del espacio ultraterrestre mediante una comparación entre la Guerra del Golfo de 1991 y la Guerra Ruso-ucraniana de 2022. Al examinar estos dos casos, se podrá comprender la importancia estratégica del espacio en la guerra moderna y evaluar las implicaciones más amplias para la seguridad global. Este capítulo comienza con un análisis de la Guerra del Golfo de 1991, destacando cómo la tecnología espacial se integró por primera vez en las operaciones militares a gran escala. Luego se realiza un estudio de la guerra entre Rusia y Ucrania, ofreciendo información sobre las aplicaciones avanzadas de la tecnología espacial en un entorno de conflicto más complejo y disputado.

Mediante este análisis comparativo, el capítulo busca proporcionar una comprensión general de cómo el uso militar del espacio ultraterrestre ha evolucionado con el tiempo y cómo ha influido en la conducción de la guerra, al tiempo que aborda los desafíos éticos y legales que plantea su creciente

militarización, en particular a la luz de la dependencia de los activos espaciales para operaciones tanto ofensivas como defensivas. Para ello, el capítulo adopta un enfoque de análisis comparativo que trasciende la descripción histórica para articular una comparación sistemática entre la Guerra del Golfo (1991) y la Guerra Ruso-Ucraniana (2022-2024), estableciendo seis categorías de análisis: (i) la naturaleza de los actores espaciales; (ii) el grado de dependencia tecnológica del espacio, (iii) el rol de las capacidades espaciales en el mando y control (C2); (iv) el impacto estratégico del espacio en la conducción de la guerra; (v) la vulnerabilidad y las contramedidas de tipo *counterspace*, y (vi) la dimensión político-estratégica. Estas categorías permiten mostrar cómo el espacio exterior pasó de ser un multiplicador tecnológico en los conflictos de fines del siglo XX a constituirse en un dominio estratégico integral en las guerras contemporáneas.

Las seis categorías propuestas para la comparación no son arbitrarias, sino que se fundamentan en la literatura especializada en estudios estratégicos y de seguridad espacial:

1. **Naturaleza de los actores espaciales.** Inspirada en la discusión de Buzan y Wæver (2003) sobre los sectores de seguridad y en Dolman (2002) sobre la astropolítica, esta categoría examina quién detenta y opera las capacidades espaciales: Estados, alianzas, corporaciones privadas o actores no estatales.
2. **Grado de dependencia tecnológica del espacio.** Basada en Johnson-Freese (2017), que subraya la centralidad de los activos espaciales en la guerra moderna, esta categoría analiza si el espacio es un apoyo complementario (dependencia incipiente) o un requisito estructural para la conducción de operaciones (dependencia estructural).
3. **Rol en el mando y control (C2).** En diálogo con la teoría de C4ISR (Alberts et al., 1999) y con la tradición de John Boyd (1987) sobre el ciclo OODA, esta categoría mide hasta qué punto las comunicaciones satelitales y el posicionamiento global fortalecen la coordinación, la resiliencia y la capacidad de decisión en tiempo real.
4. **Impacto estratégico del espacio.** Retoma la perspectiva de Clausewitz (1976) sobre los “medios de la guerra” y de Gray (2010) sobre la adaptación estratégica, para diferenciar entre el espacio como multiplicador tecnológico (Golfo) y el espacio como dominio estratégico integral que habilita nuevas formas de guerra (Ucrania).

5. **Vulnerabilidad y contramedidas (counterspace).** Apoyada en las tipologías de Weeden y Samson (2019), que distinguen entre armas cinéticas, no cinéticas, electrónicas y cibernéticas contra satélites, esta categoría evalúa el nivel de contestación y la exposición de los sistemas espaciales a interferencia o destrucción.
6. **Dimensión político-estratégica.** Vinculada a la discusión de Bull (1977) sobre el orden internacional y de Deudney (2020) sobre la seguridad en el espacio, esta categoría estudia cómo el uso militar del espacio contribuye a legitimar hegemonías (caso de los Estados Unidos en 1991) o a disputar narrativas globales y órdenes internacionales (caso Rusia-Ucrania).

En conjunto, estas categorías permiten articular un análisis comparativo que combina teoría y evidencia histórica, mostrando la evolución del espacio exterior desde un recurso instrumental hacia un dominio estratégico central en la guerra contemporánea.

La Primera Guerra del Golfo: El amanecer de la guerra espacial

La primera Guerra del Golfo se originó con la invasión de Irak a Kuwait el 2 de agosto de 1990; Saddam Hussein, el dictador iraquí para la época, explotó los conflictos territoriales y económicos con Kuwait, con el objetivo de racionalizar sus acciones que culminaron en la invasión del emirato el 8 de agosto de 1990. De acuerdo con Yetiv (1992), la guerra previa entre Irán e Irak de 1980 a 1988 influyó en la decisión de Irak de atacar a Kuwait en cinco aspectos fundamentales. En primer lugar, la ayuda inicial de Estados Unidos a Irak durante la guerra contra Irán reforzó la seguridad y la confianza de Saddam Hussein, aumentando así su propensión a invadir Kuwait¹¹². En segundo lugar, el Estado iraquí emergió del conflicto con Irán con capacidades militares significativamente mejoradas. En efecto, Irak poseía a principios de la década de los noventa el quinto ejército más grande del mundo, con unos 950.000 efectivos¹¹³, 5.500 carros de combate, 10.000 vehículos blindados adicionales

112 Es importante reconocer que la amenaza de Irán a la zona, especialmente después de su importante triunfo militar en la península de Faw a principios de 1986, limitó las opciones de Washington, obligándolo a respaldar a Irak para evitar una victoria iraní en el conflicto. Una Pax Iraní en 1986-1987 probablemente habría planteado un peligro similar para los intereses estadounidenses y regionales que una Pax Iraquí en 1990.

113 La incapacidad de integrar adecuadamente el imponente ejército permanente de Irak en la inestable economía iraquí hizo que la empresa bélica fuera más atractiva para Saddam Hussein.

y casi 4.000 piezas de artillería. La fuerza aérea iraquí estaba formada por unos 40.000 efectivos y 689 aviones de combate. Se creía que Irak también tenía un importante arsenal de agentes biológicos, sobre todo toxina botulínica y ántrax. Además, Irak contaba con una fuerza de misiles tierra-tierra Scud modificados de fabricación soviética montados en lanzadores móviles con un alcance efectivo de 300 km (Yetiv, 1992).

En tercer lugar, la guerra contra Irak disminuyó las capacidades militares de Irán, mutilando la fuerza aérea iraní en casi un 90%; por ende, el debilitamiento de las fuerzas militares iraníes en la frontera común probablemente hizo que una invasión de Kuwait fuera más factible para Irak. En cuarto lugar, la guerra entre Irán e Irak afectó gravemente la economía iraquí, dando lugar a un endeudamiento sustancial con Kuwait y Arabia Saudita, los cuales proporcionaron préstamos financieros para su conflicto con Irán; las estimaciones indican que Irak comenzó la Guerra del Golfo con reservas de US\$35.000 millones y concluyó el conflicto con una deuda de entre US\$80.000 a 100.000 millones (Yetiv, 1992).

En quinto lugar, aunque Irak inició la guerra contra Irán en 1980, sostuvo que había gastado sus recursos para mitigar el peligro iraní para todo el Golfo Pérsico. Al igual que la ciudad-Estado de Atenas, que históricamente había mitigado la amenaza persa para toda Grecia, Bagdad consideró que merecía la lealtad y el apoyo de los gobiernos árabes que se beneficiaban de sus esfuerzos militares. Irak sostuvo que Kuwait no sólo se negó a perdonar las deudas de guerra de Bagdad y a conceder préstamos adicionales para la reconstrucción económica tras la guerra entre Irán e Irak, sino que también redujo los precios del petróleo al aumentar excesivamente la producción, parte de la cual se originó en reservas de petróleo reclamadas conjuntamente por Irak.

Con base en lo anterior, y considerando los costos de reconstrucción y pago de la deuda de la guerra entre Irán e Irak, junto con sus gastos anuales fundamentales, Irak habría necesitado más de dos décadas para recuperarse. Por consiguiente, al invadir Kuwait, Irak pretendía eliminar su deuda de guerra, apoderarse de los recursos petrolíferos de Kuwait y elevar los precios mundiales del petróleo. Razón por la cual, Irak trató de justificar la invasión en parte por razones económicas. No obstante, la respuesta internacional a la invasión fue predominantemente adversa, y pasó de denuncias unilaterales a acciones de organizaciones regionales y de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Las operaciones militares en la Guerra del Golfo

La invasión, que ocurrió al final de la Guerra Fría, llevó a Estados Unidos a definir su nueva política exterior y a reafirmar su liderazgo global en un entorno estratégico más complejo. Pero, aunque los Estados Unidos condenaron rápidamente la invasión, no estaba claro qué acciones tomarían en respuesta; esto cambió el 5 de agosto de 1990, cuando, después de hablar con sus aliados, el presidente estadounidense George Bush declaró que no se permitiría la agresión abierta de Saddam Hussein. Por lo tanto, el presidente Bush anunció los objetivos políticos que Estados Unidos buscaría en el Golfo: 1) Una retirada total e inmediata de todas las fuerzas iraquíes de Kuwait; 2) El regreso del gobierno legítimo de Kuwait; 3) La seguridad y estabilidad de Arabia Saudita y el Golfo Pérsico; y 4) La seguridad y protección de los ciudadanos estadounidenses en otros países (Atkinson, 1993).

Con esta declaración, Bush afirmó inequívocamente que Estados Unidos adoptaría una postura enérgica para encabezar la coalición internacional en contra de la invasión iraquí; en los meses siguientes, el ejército estadounidense llevó a cabo su mayor despliegue en el extranjero desde la Segunda Guerra Mundial. A mediados de noviembre de 1990, Estados Unidos tenía más de 240.000 soldados en el Golfo y otros 200.000 en camino, y el Reino Unido había enviado más de 25.000 efectivos, Egipto 20.000 y Francia 5.500 soldados. Otros 25 países, entre ellos Canadá, Siria, Bangladesh y Marruecos, habían comprometido tropas y armas para la acumulación militar denominada Operación “Escudo del Desierto”.

Como el conflicto persistía, se desplegaron fuerzas en Arabia Saudita para mitigar la amenaza iraquí, mientras Saddam comenzaba a reforzar las divisiones iraquíes en Kuwait con 250.000 soldados adicionales. Una política de contención, complementada con sanciones económicas, finalmente llevó a la creencia de que era necesaria una acción militar ofensiva para retirar a Irak de Kuwait. Por lo tanto, el 29 de noviembre de 1990, la ONU sancionó el uso de la fuerza si Irak no se retiraba antes del 15 de enero de 1991; y como las iniciativas diplomáticas para prevenir el conflicto no tuvieron éxito, la coalición liderada por los Estados Unidos comenzaron operaciones ofensivas con ataques aéreos el 17 de enero de 1991.

Es necesario destacar que las prioridades militares de la coalición internacional pasaron rápidamente de una postura defensiva a una ofensiva debido a la evolución de los objetivos políticos. Inicialmente, la decisión de desplegar fuerzas priorizó la contención del avance iraquí en Kuwait y la salvaguarda de los recursos petrolíferos saudíes; este objetivo requería una respuesta rápida

para disuadir y un seguimiento acelerado para establecer la credibilidad de la fuerza de disuasión, lo cual era fácilmente alcanzable en virtud de las capacidades de Estados Unidos. Sin embargo, revertir la invasión iraquí presentaba una tarea significativamente más desafiante, ya que requería una ofensiva terrestre como parte de una operación coordinada, requiriendo por lo tanto un despliegue de soldados sustancialmente mayor; la doctrina convencional de la época sugería una superioridad numérica de 3 a 1 al atacar posiciones fortificadas, por lo cual, la planificación requirió creatividad, detalle y exhaustividad, como se ve en los seis objetivos militares delineados en la orden de operaciones para la Operación “Tormenta del Desierto”: 1). Apuntar al liderazgo político y militar iraquí junto con las estructuras de comando y control; 2). Lograr y mantener la superioridad aérea; 3). Interrumpir las líneas de suministro iraquíes; 4). Eliminar las capacidades químicas, biológicas y nucleares; 5). Aniquilar las Fuerzas de la Guardia Republicana; y 6). Liberar la ciudad de Kuwait (Atkinson, 1993).

Por su parte, el objetivo militar de Irak era posponer las operaciones ofensivas de la coalición por un período prolongado y aumentar los costos de tales operaciones a niveles intolerables. Por ende, aumentar los niveles de tropas era un aspecto crucial de ese plan; en enero de 1991, las estimaciones indicaban que la fuerza iraquí alcanzaba los 540.000 hombres, lo que correspondía a 42 o 43 divisiones desplegadas en el teatro de operaciones (Mann III, 1995). Al reforzar constantemente estas tropas y su armamento, los iraquíes pretendían resistir cualquier ataque aéreo y estar preparados para agotar las fuerzas terrestres de la coalición durante una ofensiva. Las defensas iraquíes se propusieron lograr este objetivo dirigiendo a los soldados de la coalición hacia zonas letales utilizando sus fortificaciones, como habían hecho con éxito durante la guerra contra Irán entre 1980 a 1988, así como el uso de sus misiles Scud para atacar a Israel como medio de fragmentar esas fuerzas.

Los desafíos militares de la coalición internacional liderada por Estados Unidos se vieron exacerbados por las estrictas restricciones de tiempo impuestas por los líderes políticos. Según Freedman y Karsh (1991), desplegar y mantener una fuerza sustancial para operaciones ofensivas era un problema temporal, y planificar su utilización también requería un tiempo considerable; pero a pesar de que el general Norman Schwarzkopf, comandante de la coalición, creía que necesitaba un par de meses más para fortificar sus defensas, se le ordenó comenzar la planificación de las operaciones ofensivas que, según había informado previamente a Bush en agosto de 1990, no sería viable hasta dentro de ocho o doce meses. Se esperaba que el plan se ejecutara rápidamente y que alcanzara rápidamente sus objetivos una vez se iniciaran las operaciones ofensivas. Asimismo, la Resolución 678 del Consejo de Seguridad de la ONU,

de fecha 29 de noviembre de 1990, sancionaba ya el empleo de todos los medios necesarios en caso de que Irak no se adhiriera a resoluciones anteriores de las Naciones Unidas antes de la medianoche del 15 de enero de 1991.

La consecuencia operativa principal de estas presiones inducidas por el tiempo fue que las fuerzas estadounidenses se vieron obligadas a enfrentarse a las fuerzas iraquíes poco después del 15 de enero de 1991, independientemente de que se hubieran completado los preparativos militares para una invasión terrestre. A pesar de comprender las motivaciones políticas para una acción rápida, el general Schwarzkopf reconoció que sus fuerzas terrestres necesitarían un mes adicional para estar preparadas después de la fecha límite. Esta circunstancia exigía que las operaciones aéreas comenzaran rápidamente y operaran de manera independiente hasta que las tropas terrestres estuvieran preparadas (Freedman y Karsh, 1991).

En consecuencia, el poder aéreo demostró su capacidad para satisfacer las demandas políticas y militares al iniciar operaciones ofensivas, proteger y ocultar a las fuerzas terrestres de la coalición durante sus preparativos para los asaltos, avanzar hacia el logro de los objetivos militares del teatro de operaciones y disminuir la eficacia táctica y operativa de las unidades terrestres iraquíes, especialmente la Guardia Republicana. Al comienzo de la crisis, el poder aéreo demostró su eficacia como fuerza inmediata capaz de dar una respuesta rápida para la disuasión y la defensa. En las 24 horas siguientes a la notificación, los recursos aéreos comenzaron a desplegarse en la región; alrededor de 500 aviones de combate de ataque habían llegado al teatro de operaciones el 23 de agosto. Simultáneamente, los cazas estaban llegando a medida que las operaciones de transporte aéreo transportaban soldados de combate, el 99% de los cuales finalmente se desplegarían en el teatro de operaciones, junto con suministros. Además de cumplir una función defensiva, el poder aéreo utilizado en la operación “Trueno Inmediato” constituyó la única opción ofensiva a la que tenían acceso los comandantes durante la fase inicial.

A partir del 17 de enero de 1991, el inicio de las operaciones aéreas ofensivas por parte de las fuerzas de la coalición estableció el tono y el ritmo operacionales, manteniendo así la iniciativa de la coalición durante todo el conflicto. De acuerdo con Winnefeld, Niblack y Johnson (1994), para lograr ataques simultáneos, los estrategas de la coalición coordinaron dos días iniciales de agresivos ataques que dismantelaron las defensas aéreas iraquíes y apuntaron a una amplia gama de objetivos. Utilizaron todos los medios a su alcance, incluidos los F-117, los Tornados, los helicópteros y las aeronaves no tripuladas, ejecutando casi 2.700 misiones durante el primer día. Y según

estos autores, la capacidad de la coalición para mantener un ritmo operativo elevado de entre 2.000 y 3.000 misiones diarias fue notable; al comienzo de la guerra terrestre, habían ejecutado casi 100.000 misiones. Para el 27 de enero de 1991, el poder aéreo de la coalición había eliminado a la Fuerza Aérea iraquí, asegurando así la supremacía aérea y permitiendo a las fuerzas terrestres de la coalición prepararse sin interferencias.

Según Freedman y Karsh (1991), la autonomía operativa permitió al poder aéreo de la coalición atacar a los líderes políticos y militares iraquíes, sus estructuras de mando y control, las rutas de suministro, las armas de destrucción masiva y las fuerzas terrestres. En contraste, Irak optó por permitir que su fuerza aérea permaneciera practicante inactiva; aparte de los ataques con misiles Scud, Irak hizo pocos esfuerzos, salvo algunas incursiones de defensa aérea, para utilizar la fuerza aérea para extender el conflicto y causar desgaste a la coalición. En consecuencia, en lugar de enfrentarse inmediatamente a las fuerzas iraquíes atrincheradas en combate terrestre, los líderes de la coalición optaron por emplear ataques aéreos para incapacitar y disminuir las defensas iraquíes mientras avanzaban en sus preparativos para el combate terrestre. En efecto, las operaciones aéreas continuaron sin una intervención terrestre sustancial hasta fines de febrero de 1991, a pesar de los esfuerzos iraquíes, incluido el asalto a Khafji y los ataques con misiles Scud, para provocar a la coalición a un conflicto terrestre inoportuno (Mann III, 1995).

Por lo tanto, alcanzando la supremacía aérea en cuestión de días, las aeronaves de la coalición atacaron sistemáticamente todo el espectro de capacidades militares iraquíes mediante ataques continuos, disminuyendo lo suficiente la eficacia de combate de las fuerzas iraquíes para iniciar operaciones terrestres el 24 de febrero de 1991. Con la ayuda del apoyo aéreo cercano y las operaciones de interdicción, las fuerzas terrestres de la coalición rompieron rápidamente las líneas y dispersaron a las tropas terrestres iraquíes. En completa retirada y aún incapaces de detener la devastación causada por las fuerzas de la coalición, las fuerzas iraquíes aceptaron un alto el fuego y las condiciones de las Naciones Unidas el 28 de febrero de 1991, 100 horas después del comienzo de la ofensiva terrestre.

Entonces, si bien el poder aéreo no logró por sí solo la derrota total de las fuerzas iraquíes, ofreció una asistencia esencial a la operación de armas combinadas que finalmente tuvo éxito en la derrota de Irak. Asimismo, la Operación “Tormenta del Desierto” fue un momento decisivo para la integración de la tecnología espacial en las operaciones militares, hasta el

punto de considerarla como la “Primera Guerra Espacial”, demostrando cómo se podían aprovechar los recursos espaciales para lograr el dominio de la información y la superioridad operativa (Anson y Cummings, 1991).

El papel de los activos espaciales en la Operación “Tormenta del Desierto”

El poder espacial sufrió una importante transformación desde sus humildes orígenes durante la guerra de Vietnam (1954-1975), conflicto en el que las fuerzas militares de los Estados Unidos emplearon plataformas espaciales con el propósito de pronosticar el tiempo, ayudar a la navegación y apoyar las comunicaciones. Luego, durante la invasión a Granada en 1983, las fuerzas estadounidenses emplearon por primera vez en una operación conjunta los sistemas *Fleet Satellite Communications* (FLTSAT) y *Leased Satellite Communications* (LEASAT), en una capacidad de mando y control durante la Operación “Furia Urgente” (Gallegos, 1999). No obstante, las primeras operaciones militares en las que las fuerzas militares estadounidenses emplearon de manera categórica la información de los sistemas de inteligencia nacional basados en el espacio, fueron la Operación “El Dorado Canyon” en Libia (1986) y la Operación “Causa Justa” en Panamá (1989-1990).

Empero, la gama completa de satélites civiles, militares, comerciales y de inteligencia nacional no estuvo accesible para las fuerzas militares de los Estados Unidos hasta la Guerra del Golfo. Anson y Cummings (1991) afirman que más del 80% de todos los mensajes que se enviaron y recibieron del Comando Central de los Estados Unidos (USCENTCOM) se transmitieron desde el espacio; y los datos de inteligencia satelital fueron vitales para la planificación de la campaña aérea, así como para la alerta temprana de ataques con misiles balísticos del sistema Scud y para la identificación de las posiciones y actividades del adversario. En efecto, por primera vez en una campaña militar, los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) proporcionaron información precisa sobre la posición, que fue esencial para la navegación en un terreno desértico carente de rasgos distintivos¹¹⁴.

114 El Sistema de Posicionamiento Global es una herramienta de navegación y posicionamiento que emplea una red de satélites que actúan como balizas espaciales, transmitiendo permanentemente una señal que puede ser utilizada por un receptor para determinar la ubicación del operador. Actualmente se utiliza para diversos fines, entre ellos, actividades militares, comerciales, científicas y recreativas, como la cartografía, la topografía, el control del tráfico aéreo y las operaciones de búsqueda y rescate. El sistema consta de tres segmentos: control, aparato de usuario y espacio. El segmento inicial, el espacio, está formado por una constelación de satélites que se colocan en órbita, lo que permite que un receptor reciba señales de varios satélites. Si el receptor recibe señales de tres satélites, puede determinar la ubicación de una persona en dos dimensiones. Si el receptor recibe señales de cuatro satélites, puede obtener información de ubicación tridimensional.

A pesar de que una constelación completa de satélites GPS no estaba aún en órbita para la Guerra del Golfo, los recursos disponibles funcionaron excepcionalmente bien¹¹⁵. Siete años antes, Estados Unidos había realizado experimentos utilizando el sistema GPS y un F-4 para determinar la precisión de los bombardeos desde 10.000 pies de altura, logrando un Error Circular Probable (ECP) de veinte a treinta metros, aumentando a aproximadamente diez metros al comienzo del conflicto. Sin embargo, solo 72 cazas de la Fuerza Aérea (F-16C y D) estaban equipados con GPS. Además, se instalaron receptores GPS en solo 37 B-52, 21 Rivet Joints, algunos helicópteros y 2 Joint Stars. Se habían instalado 7 pares en los U-21 del Ejército y la Marina estadounidense tenía 10 instalados en aeronaves mixtas (Kutyna, 1995).

El Ejército norteamericano fue particularmente ingenioso. El coronel Roland Ellis, que sirvió como comandante del Comando Espacial del Ejército antes del conflicto, realizó una demostración de las capacidades de los receptores GPS y los métodos apropiados para su uso a oficiales del ejército en el campo, en particular, la precisión excepcional con la que el GPS podía apuntar a la artillería y la capacidad de evitar desorientarse en el desierto y las montañas. En consecuencia, el ejército utilizó cinta adhesiva para asegurar los receptores de GPS a helicópteros, tanques y todos los demás tipos de vehículos; durante la noche inicial, helicópteros Apache estaban equipados con receptores GPS que se utilizaban para posicionar y lanzar con precisión sus misiles Hellfire, y los tanques norteamericanos no atravesarían un campo minado a menos que estuvieran equipados con receptores GPS y con las coordenadas del campo (hasta las fuerzas terrestres en las dunas podían recibir raciones de comida con la ayuda del GPS).

No obstante, la Operación “Tormenta del Desierto” marcó el primer empleo a gran escala de un avión furtivo, el F-117, equipado con armas de precisión. Esta combinación revolucionaría la conducción de la guerra en los años por venir. El sigilo del F-117 les permitió a los Estados Unidos atacar cualquier objetivo, lograr sorpresa todos los días de la guerra y aprovechar las capacidades de otros medios. La capacidad del F-117 para incapacitar la red de defensa aérea iraquí en los primeros minutos de la guerra fue esencial para lograr la superioridad aérea, que era una condición previa crítica para expulsar al ejército iraquí de Kuwait. Los F-117 no sólo allanaron el camino para aviones menos competente; con impunidad, les permitió a las fuerzas militares estadounidenses atacar el “corazón” del enemigo (el centro de Bagdad), sin importar las defensas del enemigo.

115 Al inicio de la Operación “Tormenta del Desierto”, había 16 satélites operativos y experimentales en servicio, que proporcionaban una cobertura estimada de 24 horas en dos dimensiones y 19 horas en tres dimensiones.

Por consiguiente, uno de los aspectos más innovadores de la Operación “Tormenta del Desierto” fue el uso del GPS, que, aunque todavía estaba en su fase de desarrollo al iniciar la Guerra del Golfo, desempeñó un papel fundamental en la navegación y la selección de objetivos para aeronaves como el F-117. Las municiones guiadas de precisión (MGP) habilitadas con GPS permitieron atacar objetivos críticos con una precisión sin precedentes, minimizando los daños colaterales y reduciendo el riesgo para las tropas terrestres (Lambeth, 1993). Esta innovación tecnológica proporcionó un marcado contraste con los conflictos anteriores, en los que la selección imprecisa de objetivos militares a menudo prolongaba los enfrentamientos y aumentaba las bajas¹¹⁶.

El reconocimiento por satélite fue otro componente crítico del éxito de la coalición. Los satélites espías proporcionaron inteligencia casi en tiempo real sobre los movimientos de tropas iraquíes, las líneas de suministro y las fortificaciones. Esta capacidad permitió a las fuerzas de la coalición planificar y ejecutar sus operaciones con un nivel de precisión que antes no se había logrado. Por ejemplo, los satélites de reconocimiento ayudaron a identificar y apuntar a los misiles Scud de Irak, que representaban una amenaza significativa para las fuerzas de la coalición. La imagen multiespectral (MSI por sus siglas en inglés) fue una capacidad adicional de mejora de la fuerza que implicaba la adquisición de imágenes del terreno a distintas frecuencias, generando así imágenes que eran invisibles para el ojo humano. El Comando Espacial del Ejército implementó la utilización de fotografías de MSI de varias regiones en las que sus soldados estaban realizando operaciones para mitigar estas inexactitudes y generar mapas más precisos. Estos mapas se construyeron utilizando datos de dos tipos de satélites y dos categorías de sistemas terrestres; los satélites fueron SPOT y LANDSAT.

El LANDSAT captura imágenes multiespectrales con una resolución espacial de 30 metros y proporciona cobertura de toda la Tierra cada 16 días; el ancho de una sola pasada es de 185 kilómetros y los mapas se pueden generar a una escala de aproximadamente 1:80.000 empleando imágenes. Dos satélites LANDSAT estuvieron operativos durante la Guerra del Golfo. Por su parte, el SPOT es un satélite francés que es capaz de realizar las mismas funciones que LANDSAT y puede observar cada región de la Tierra una vez cada 26 días; tiene tres bandas diferenciadas con una resolución de 10 y 20 metros.

116 La tasa de víctimas fue significativamente menor que en las principales guerras posteriores a 1945 (por ejemplo, Corea con 4,5 millones de muertos, Vietnam con más de 2 millones, Líbano con 250.000 y la guerra entre Irán e Irak con 500.000 o más); sin embargo, en lo que respecta a la movilización y el armamento empleado, este conflicto fue, después de Corea, el enfrentamiento interestatal más importante desde la Segunda Guerra Mundial.

Se pueden generar mapas a una escala de aproximadamente 1:25.000 empleando imágenes y el ancho de una sola pasada es de aproximadamente 60 kilómetros. Desde su utilidad táctica, las imágenes multiespectrales expusieron a gran escala las trampas para tanques, trincheras y otras fortificaciones de Saddam Hussein, lo que permitió a las fuerzas de los Estados Unidos navegar alrededor de ellas.

Los satélites de comunicaciones fueron igualmente vitales para coordinar la vasta coalición multinacional; estos satélites facilitaron una comunicación segura y confiable a través de ubicaciones geográficas dispares, asegurando una colaboración fluida entre los socios de la coalición. Esto fue particularmente importante en un conflicto que involucraba operaciones logísticas complejas y entornos tácticos que cambiaban rápidamente (Gordon y Trainor, 2006). Se necesitaban comunicaciones de voz y datos para fines de mando y control en todos los niveles. Además, las unidades en el campo debían comunicarse con otros teatros e instalaciones en los Estados Unidos continentales que les brindaban apoyo.

Los sistemas de comunicaciones satelitales militares y civiles comprendían la red utilizada durante la Guerra del Golfo. El Sistema de Comunicaciones por Satélite de Defensa (DSCS por sus siglas en inglés), las Comunicaciones por Satélite de la Flota (FLTSAT) y las Comunicaciones por Satélite de la Fuerza Aérea (AFSAT) comprendían el sistema de Comunicaciones por Satélite Militar (MILSATCOM). El DSCS poseía la mayor capacidad de transmisión anti interferencias, mientras que los otros dos tenían capacidades de transmisión menores y carecían de capacidades anti-interferencias. Los sistemas de comunicaciones satelitales militares se complementaron con satélites INTELSAT (sistema internacional de telecomunicaciones por satélite), y los satélites INMARSAT (sistema internacional de satélites marítimos).

A su vez, los satélites meteorológicos también desempeñaron un papel de apoyo al proporcionar datos meteorológicos precisos que informaban la planificación operativa. Por ejemplo, la capacidad de predecir tormentas de arena permitió a las fuerzas de la coalición ajustar sus estrategias y mantener la iniciativa; esta integración de datos meteorológicos basados en el espacio demostró la utilidad multifacética de los activos espaciales en la guerra moderna. El receptor meteorológico de tipo comercial WRAASE fue el principal receptor de imágenes meteorológicas empleado por el Ejército de los Estados Unidos durante la Guerra del Golfo; fue elegido debido a su capacidad para extraer información directamente de los satélites meteorológicos civiles mientras sobrevolaban el Medio Oriente, incluidas imágenes, televisión y observaciones infrarrojas. Las imágenes meteorológicas para la Guerra del

Golfo se obtuvieron de satélites geoestacionarios que se colocaron sobre los Estados Unidos (GOES) y Europa (METEOSTAT). El Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa (DMSP por sus siglas en inglés) era un sistema militar que consistía en satélites en órbita polar; estos satélites proporcionaban apoyo indirecto al Ejército en escalones por debajo del cuerpo de ejército y apoyo directo al Comando del Componente de Servicio del Ejército del Comando Central.

La resolución espacial de las imágenes y el intervalo entre imágenes consecutivas eran las únicas distinciones entre estas variedades de satélites. La resolución de las imágenes geoestacionarias era de aproximadamente 10 kilómetros, lo que permitía capturar imágenes meteorológicas a gran escala y adquirir una nueva imagen de la misma región de la Tierra cada media hora. El tiempo se observó a menor escala con una resolución de 2 a 4 kilómetros en las imágenes de satélite en órbita polar¹¹⁷. Los meteorólogos pudieron identificar fenómenos meteorológicos a menor escala gracias a la resolución de aproximadamente 0,4 kilómetros de las imágenes del DMSP. En resumen, durante la Operación “Tormenta del Desierto” se implementaron aplicaciones novedosas e imprevistas de los satélites meteorológicos y sus datos; los datos sustraídos terminaron siendo fundamentales para la planificación, ejecución y redirección del movimiento terrestre, así como para la planificación de objetivos, cuando se combinaron con imágenes multiespectrales.

El uso estratégico del espacio en la Operación Tormenta del Desierto se complementó con avances en la guerra electrónica. Las fuerzas de la coalición aprovecharon la inteligencia electrónica basada en el espacio para monitorear e interrumpir las comunicaciones iraquíes, degradando aún más sus capacidades de mando y control. Este enfoque multidimensional, que combinaba reconocimiento, comunicación, navegación y guerra electrónica, sentó un precedente para la integración de los activos espaciales en las operaciones militares de los conflictos posteriores. Finalmente, el papel de las capacidades espaciales en la Operación Tormenta del Desierto se extendió más allá del campo de batalla. Estados Unidos aprovechó su dominio en el espacio exterior para dar forma a la narrativa global del conflicto, ya que las imágenes satelitales se utilizaron para proporcionar evidencia de las atrocidades iraquíes y justificar las acciones de la coalición, mostrando el papel del espacio en la comunicación estratégica y la guerra de información (Lambakis, 1995).

117 Los satélites en órbita polar recorren todo el globo aproximadamente una vez cada doce horas. La resolución de 0,6 kilómetros permite la identificación de fenómenos como tormentas de arena y niebla, mientras que la resolución de diez kilómetros es comparable a las vistas observadas en los pronósticos meteorológicos de televisión.

La Guerra Ruso-ucraniana: el Espacio Exterior en la era de la Guerra Híbrida

La contienda ruso-ucraniana representa un suceso geopolítico de gran relevancia e intrincada complejidad del siglo XXI. Esta contienda no se limita a ser un conflicto bélico entre dos Estados adyacentes, sino que también representa una manifestación de tensiones históricas, discrepancias culturales y aspiraciones geopolíticas de potencias tanto regionales como globales. Las raíces de la actual guerra ruso-ucraniana se remontan siglos atrás y están intrínsecamente vinculadas con los sucesos históricos de Europa del Este. Según Baudet (2024), la región ucraniana contemporánea fue el epicentro de la Rus de Kiev, un imperio medieval que se reconoce como el precursor cultural y político de Rusia y Ucrania; no obstante, las trayectorias de ambos Estados experimentaron variaciones a lo largo del tiempo, particularmente tras las incursiones mongolas durante el siglo XIII, lo que condujo a la fragmentación de la Rus de Kiev y al surgimiento de diversas potencias regionales. Durante los siglos subsiguientes, Ucrania se transformó en una región en disputa, inmersa en el conflicto entre poderes estatales de mayor influencia como Polonia, Lituania y, finalmente, el Imperio Ruso. A finales del siglo XVIII, una porción significativa de Ucrania fue integrada a este imperio, posición en la que mantuvo su presencia hasta principios del siglo XX. A lo largo de este periodo, las autoridades rusas procuraron intencionalmente suprimir la cultura y el idioma ucranianos, con el objetivo de fomentar un sólido sentido de identidad ruso y resistencia a una identidad nacional ucraniana (Mankoff, 2022).

Con la Revolución Bolchevique de 1917, la desintegración del Imperio Ruso condujo al surgimiento de la Unión Soviética (URSS). Aunque Ucrania experimentó un breve periodo de independencia, fue finalmente anexada a la URSS en 1922. No obstante, el término del periodo de Guerra Fría en 1991 representaría un hito crucial en la historia de Ucrania, dado que proclamó su independencia y emprendió la construcción de su propia trayectoria como un Estado autónomo y soberano. No obstante, la influencia perdurable de la era soviética, que incluyó una significativa comunidad de habla rusa en Ucrania, desencadenó profundas discrepancias dentro del Estado (Achcar, 2023); estas diferencias son más palpables entre las regiones occidentales del territorio ucraniano (que muestran una inclinación hacia las influencias europeas), y las regiones del este y sureste de Ucrania (que han experimentado una influencia significativa de la cultura rusa).

En este contexto, las raíces de la guerra contemporánea entre Rusia y Ucrania se remontan a principios del siglo XXI, periodo en el que las tensiones entre ambos Estados comenzaron a intensificarse debido a discrepancias en torno al alineamiento político de Ucrania y sus relaciones con los Estados occidentales. De acuerdo con Karatnycky (2024), el año 2004 presenció un hito crítico denominado la “Revolución Naranja”, en el cual protestas a gran escala contra la manipulación electoral en Ucrania condujeron a la anulación del desenlace de una elección presidencial y al triunfo final del candidato pro occidental, Viktor Yushchenko. Este suceso señaló la tendencia ascendente de Ucrania hacia una vinculación más intensa con Europa y Estados Unidos, una inclinación que incrementaría la tensión en las relaciones con Rusia (Achcar, 2023). En 2014, se desencadenaron las manifestaciones de Euromaidan, las cuales culminaron en la destitución del presidente pro-ruso de Ucrania, Viktor Yanukovich; las manifestaciones se originaron a raíz de la decisión de Yanukovich de rechazar un acuerdo de asociación con la Unión Europea en favor de establecer relaciones más sólidas con Rusia, una decisión que fue ampliamente rechazada por la mayoría de los ciudadanos ucranianos. El movimiento Euromaidan alcanzó su apogeo con la salida de Yanukovich, la instauración de un nuevo gobierno proeuropeo y una modificación sustancial en la política exterior de Ucrania.

En respuesta a estos acontecimientos, Rusia efectuó la anexión de Crimea en marzo de 2014, una acción que recibió una crítica severa por parte de la comunidad internacional por violar la soberanía ucraniana. Posteriormente a la anexión, se desató una insurgencia separatista en la región este de Ucrania, y las fuerzas militares respaldadas por Rusia proclamaron la independencia en las zonas de Donetsk y Luhansk (Karatnycky, 2024). La prolongada confrontación bélica, frecuentemente denominada la “guerra del Donbás”, duró múltiples años y desencadenó un elevado número de bajas mortales y significativos desplazamientos poblacionales, y la economía de Rusia se vio perjudicada por las crecientes sanciones económicas impuestas por Estados Unidos y la Unión Europea como resultado del conflicto en el Donbás. En 2016, la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) reforzó sus capacidades militares en Estonia, Letonia, Lituania, Polonia y Rumania en respuesta a las preocupaciones de los Estados miembros a lo largo de las fronteras rusas. Además, la OTAN mantuvo su compromiso de 2008 de que tanto Ucrania como Georgia se convertirían en Estados miembros de la organización.

Las operaciones militares en la Guerra Ruso-Ucraniana

Putin apostó por una invasión total en febrero de 2022, calculando que Occidente estaba demasiado dividido y distraído para responder con fuerza ante este deterioro del entorno de seguridad. Sin embargo, Moscú no pudo establecer una ocupación militar a largo plazo, particularmente en presencia de una insurgencia apoyada por el extranjero, a pesar de que 190.000 soldados estaban estacionados en la frontera con Ucrania en el momento de la invasión. En la primavera de 2022, el fracaso de los asaltos a Kiev, Járkov y otras ciudades resultó en importantes bajas y obligó a Moscú a volver a centrarse en el Donbás.

En efecto, Rusia parece haber recurrido a una técnica de decapitación estratégica de la era soviética, al intentar capturar la capital ucraniana de Kiev con fuerzas especiales aerotransportadas. La invasión se aceleró bajo la suposición equivocada de que la resistencia ucraniana sería insignificante tras la rápida toma de Kiev por las fuerzas aerotransportadas rusas, que efectivamente cortaron el mando y el control de las fuerzas ucranianas. Pero la operación fue mal organizada y conceptualizada; la proporción de fuerzas, es decir, el número de tropas reunidas para invadir los extensos territorios de Ucrania, era insuficiente para hacer frente a cualquier nivel plausible de resistencia. De acuerdo con las estimaciones de Kagan et al. (2021), suponiendo una proporción de fuerzas generalmente reconocida de 1:20 para controlar las fuerzas de insurgencia (es decir, un soldado de contrainsurgencia por habitante), Rusia habría necesitado una fuerza de 325.000 soldados para mantener el control sobre Kiev, Járkov, Odesa y Dnipro. Sin embargo, la invasión rusa comenzó con aproximadamente 190.000 tropas, las cuales además estaban demasiado dispersas y carecían del apoyo logístico para implementar una invasión terrestre compleja de tal escala y velocidad cuando se materializó la resistencia ucraniana. Y mientras que Ucrania hizo uso de la artillería y ataques aéreos para atacar a los soldados rusos, las Fuerzas Aeroespaciales Rusas no pudieron realizar operaciones aéreas ofensivas para atacar las posiciones de artillería ucranianas o proporcionar cobertura aérea (Sankaran, 2024).

Por ende, tras su fallido intento de apoderarse de la capital, Rusia inició en abril de 2022 una nueva e importante ofensiva en el este de Ucrania; Mariupol, una importante ciudad portuaria de gran importancia estratégica en la región sudoriental, se encontraba sitiada por las fuerzas rusas desde finales de febrero. La crisis alimentaria mundial, que ya era aguda, se vio agravada aún más por el cambio climático, la inflación y la interrupción de la cadena de suministro como resultado de la toma rusa de varios puertos ucranianos y el posterior

bloqueo de las exportaciones de alimentos ucranianos. En julio de 2022, Rusia y Ucrania firmaron un acuerdo para liberar más de 20 millones de toneladas de cereales de los puertos ucranianos bajo control ruso, pero en respuesta a un supuesto ataque ucraniano a las fuerzas navales rusas, Rusia suspendió el acuerdo sobre cereales el 29 de octubre de 2022 (Berman et. al, 2024).

Las fuerzas ucranianas lograron avances significativos en el noreste y lanzaron una contraofensiva renovada en el sur en septiembre de 2022. En la región de Járkov, Ucrania recuperó un territorio sustancial, lo que causó una sorpresa para las fuerzas rusas e interrumpió las líneas de suministro críticas en Lyman. Posteriormente, la guerra se estancó y estableció una nueva línea de frente; Rusia se retiró apresuradamente a través del río Dniéper en el sur de Ucrania poco después, mientras las fuerzas ucranianas retomaban la ciudad de Jersón y todo el territorio al oeste del río. En previsión de una ofensiva a inicios de 2023, Rusia envió decenas de miles de refuerzos a la región y redespiegó fuerzas hacia el este, anexionándose cuatro territorios ocupados: Luhansk, Donetsk, Kherson y Zaporizhia. En febrero de 2023, Putin declaró su intención de ejecutar un avance ofensivo para apoderarse de todo el Donbás en marzo de 2023, tras un estancamiento invernal. Sin embargo, el ataque logró un progreso mínimo y, en última instancia, resultó en un asedio de meses a Bajmut, una ciudad con una población de 60 mil habitantes antes de la guerra y una importancia estratégica limitada. Según Estados Unidos, Rusia sufrió 100 mil bajas en Bajmut, de las cuales se estima que 20 mil fueron fatales. Empero, declaró a fines de mayo de 2023 que la ciudad había sido capturada (Wolkov et al., 2024).

Ucrania inició una contraofensiva en junio de 2023, con el objetivo de violar las defensas rusas en la región oriental de la provincia de Donetsk, específicamente alrededor de Bakhmut, y en la región sur de la provincia de Zaporizhia, que sirve como “corredor terrestre” hacia Crimea. Las fuerzas ucranianas encontraron una oposición formidable y sufrieron pérdidas sustanciales frente a la superioridad aérea rusa, los campos minados y las posiciones defensivas fortificadas. Sin embargo, Ucrania logró un modesto progreso sobre el terreno y ha intensificado sus ataques contra los barcos rusos, las estructuras en Moscú y los puentes hacia Crimea.

En resumen, en los tres años transcurridos desde la invasión a gran escala de Rusia, Ucrania había logrado recuperar el 54% del territorio ocupado; pero los esfuerzos de contraofensiva de Ucrania se estancaron y Rusia inició un nuevo frente en el noreste, con ganancias significativas en el segundo semestre del 2024. Mientras tanto, Rusia sigue bombardeando ciudades ucranianas y bloqueando sus puertos, y Ucrania ha intensificado los ataques con drones

contra buques e infraestructuras rusas. Desde enero de 2022, Ucrania ha recibido alrededor de US\$278.000 millones en ayuda, los combates y los ataques aéreos han causado más de 30.000 víctimas civiles, mientras que 3,7 millones de personas están desplazadas internamente y 6,5 millones han huido de Ucrania. Desde febrero de 2022 hasta diciembre de 2024, Ucrania ha perdido en combate 43.000 soldados y 370.000 más han resultado heridos; por su parte, las pérdidas militares de Rusia superan los 750.000 soldados, de los cuales 198.000 son muertos en acción y 550.000 son heridos en combate (Center of Preventive Action, 2024).

El papel de los activos espaciales en la Guerra Ruso-Ucraniana

La guerra ruso-ucraniana ha demostrado la importancia crítica de los servicios de comunicaciones satelitales (SATCOM); posicionamiento, navegación y tiempo (PNT); e inteligencia, vigilancia y reconocimiento (IVR) y observación de la Tierra (OT), para el conocimiento de la situación y el mando y control (C2) en la guerra contemporánea. También ha ilustrado la confluencia de la competitividad en el espacio con la lucha por alcanzar la superioridad informativa y la toma de decisiones. Además, el conflicto se convirtió en una guerra de desgaste que ha provocado importantes bajas para ambas partes desde el 2022, fomentando una competencia por las ventajas estratégicas y tácticas a través de la tecnología. Por ende, esta guerra sigue ilustrando la profunda y creciente influencia del espacio exterior en las modernas operaciones militares, además del rápido avance de la tecnología de drones y la inteligencia artificial (IA).

Los esfuerzos continuos de Ucrania por resistir y repeler a las fuerzas de invasión rusas se han visto facilitados por las operaciones espaciales y el conflicto está siendo documentado en tiempo real producto de las capacidades espaciales que existen en la actualidad. Como resultado, el espacio se ha convertido en un dominio en el que los actores no estatales, como las empresas privadas y las ONG, participan cada vez más en la influencia de la dinámica y los resultados del conflicto, así como en un escenario de intensificación de la competencia interestatal. Por consiguiente, si la Guerra del Golfo fue considerada la “primera guerra espacial” en la historia debido a la integración de satélites en las operaciones de combate, la actual Guerra Ruso-ucraniana puede considerarse la “primera guerra espacial comercial” de la historia, producto de la gran dependencia de los recursos espaciales comerciales por parte de ambas partes.

A pesar de que Ucrania cuenta con una importante industria espacial, centrada principalmente en el mercado de exportación, no poseía una flota propia de satélites al inicio de las hostilidades. La Agencia Espacial de Ucrania mantenía un único y diminuto satélite de teledetección, el *Sich 2-1*, que se estima tiene una resolución terrestre de 7,8 metros. No obstante, los ucranianos lograron alquilar un satélite de radar de apertura sintética (SAR) de la empresa finlandesa *ICEYE*, que puede atravesar nubes y mejorar el conocimiento de la situación incluso de noche o en condiciones nubladas; las fotografías suministradas por este satélite facilitaron la identificación del aparato militar, el armamento y el personal rusos. Y proveedores de datos de radiofrecuencia comerciales como *HawkEye 360* y *Spire Global* utilizaron satélites para monitorear los bloqueadores GPS rusos (Erwin y Werner, 23 de diciembre de 2022).

En contraste, las capacidades de la Fuerza Aeroespacial de Rusia consistían a inicios de la guerra de 172 satélites en órbita. De acuerdo con la Unión de Científicos Preocupados (UCS por sus siglas en inglés), la cual mantiene una base de datos de más de 5.000 satélites que orbitan la Tierra, Rusia ocupaba el tercer lugar en número total de satélites, después de los Estados Unidos y la República Popular de China. Sin embargo, Rusia estaba significativamente por detrás de los otros dos Estados; en comparación, Estados Unidos tenía 3.433 satélites en órbita, mientras que China tenía 451 satélites. De los 172 satélites rusos, 73 eran militares, 17 gubernamentales, 8 civiles, 39 comerciales y 35 de doble uso. Según la UCS (2024), de los 73 satélites militares, 43 eran satélites de comunicaciones, 2 de ciencias de la Tierra, 2 de observación espacial, 6 de desarrollo tecnológico y 20 satélites de observación de la Tierra (3 satélites electroópticos 10 satélites de inteligencia de señales, 2 satélites (SAR), y 5 satélites de alerta temprana).

Pero si bien hace una década, el acceso a capacidades espaciales estaba restringido a Estados como Estados Unidos, China y Rusia, mientras que incluso el Reino Unido, Francia, Alemania y Japón poseían solo un número limitado de satélites militares, desde la invasión en febrero de 2022, Ucrania ha compensado su deficiencia en capacidades espaciales soberanas adquiriendo datos y servicios comerciales de un mercado en rápida expansión, predominantemente de empresas privadas estadounidenses. La expansión y el avance de los servicios espaciales comerciales presentan perspectivas significativas para Ucrania, permitiéndole competir dentro del sector espacial. Incluso para fuerzas militares bien financiadas que poseen sus propias constelaciones de IVR, los satélites de OT comerciales ofrecen una cobertura mejorada, redundancia adicional y tasas de revisita superiores en relación con los satélites de reconocimiento de propiedad gubernamental de alta demanda y baja densidad. Estos activos comerciales mejoran las capacidades de

detección de los sistemas gubernamentales, reduciendo gastos y brindando funcionalidades como sensores electroópticos, radar de apertura sintética (SAR), así como análisis y mapeo de datos impulsados por IA.

Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (IVR) y Observación de la Tierra (OT)

Antes de la invasión rusa de Ucrania en febrero de 2022, la comunidad internacional observó la acumulación de tropas, el establecimiento de un nuevo hospital de campaña y la construcción de un puente de pontones cerca de la frontera ucraniana, a pesar de la negación rusa de que se estaba preparando para una operación militar. Empero, la información de inteligencia espacial suministrada por los satélites denotaba lo contrario y las fotografías de alta resolución proporcionadas por la empresa estadounidense *Maxar* (reconocida por su participación en la construcción de satélites electroópticos desde 1993), pusieron en evidencia las verdaderas intenciones de la Federación Rusa. Asimismo, fotografías satelitales comerciales revelaron los errores tácticos de las fuerzas militares rusas en las primeras semanas de la guerra.

El sector comercial de datos y servicios de OT ha contribuido significativamente a las operaciones militares e influyó en la comunidad internacional en apoyo de Ucrania. Las tecnologías de OT para la inteligencia por imágenes se han utilizado en varias aplicaciones militares, incluido el monitoreo de equipos y soldados, así como la evaluación de las condiciones ambientales del terreno. Empresas como *Planet* facilitaron evaluaciones de daños ambientales producto de las hostilidades, especialmente en regiones que no eran fácilmente accesibles; por ejemplo, se utilizaron fotografías satelitales tras la devastación de la presa y la central hidroeléctrica de Nova Kakhova, así como para evaluar la degradación ambiental y las alteraciones de las vías fluviales del Dniéper.

Medios de comunicación y organizaciones no gubernamentales utilizan los servicios de OT para monitorear las violaciones de los derechos humanos y crímenes de guerra, demostrando, por ejemplo, que los cadáveres descubiertos en Irpin y Bucha a lo largo de la carretera habían estado allí desde la ocupación rusa, contrariamente a la narrativa propagada por la desinformación rusa (Browne, Botti y Willis, 6 de abril de 2022). Desmantelar eficazmente las narrativas engañosas en un panorama informativo polémico ha sido esencial para contrarrestar los esfuerzos de desinformación de Rusia, como fue el caso de las imágenes satelitales que mostraron las víctimas civiles en Bucha, que a su vez incitaron a la indignación mundial y fortalecieron el apoyo material a las fuerzas ucranianas. Según Bingen, Johnson y Young (2023), casi el 50% de

las imágenes satelitales accesibles a inicios de la guerra se suministraron por parte de entidades comerciales.

Sin embargo, la coordinación con entidades espaciales comerciales para objetivos de IVR también aplica para la Federación de Rusia. Un fabricante chino de satélites, *Changsha Tianyi Space Science and Technology Research Institute*, parece haber facilitado las operaciones militares de la compañía militar y de seguridad privada rusa *Wagner*, al proporcionar imágenes satelitales de radar de sitios en Ucrania a *Terra Tech*, una empresa de tecnología rusa que ofrece imágenes espaciales obtenidas comercialmente. Asimismo, el gobierno estadounidense reveló que la entidad espacial rusa *Joint Stock Company Research and Production Concern*, facilita las actividades militares de Rusia al difundir imágenes satelitales extranjeras de alta resolución (U.S. Department of the Treasury, 26 de enero de 2023). Pero cabe destacar que las imágenes espaciales constituyen simplemente una fracción de las fuentes de inteligencia empleadas en la guerra ruso-ucraniana; también se recopila inteligencia militar significativa mediante vehículos aéreos no tripulados e inteligencia humana. Pero lo cierto es que todos los datos deben integrarse y analizarse para generar inteligencia militar importante, incluida información precisa sobre objetivos militares. La guerra en Ucrania ilustra que la inteligencia de fuentes abiertas (OSINT), derivada principalmente de imágenes satelitales comerciales y plataformas de redes sociales como Telegram y YouTube, se está volviendo cada vez más pertinente como complemento de la inteligencia militar convencional; Ucrania se ha beneficiado significativamente tanto de los productos de inteligencia de Estados extranjeros como de las fuentes abiertas, lo que llevó a Rusia a designar esos satélites comerciales como objetivos militares legítimos.

Comunicaciones satelitales (SATCOM)

Como el acceso o denegación de las comunicaciones puede influir significativamente en cualquier encuentro militar, la Federación de Rusia destruyó parcialmente la red de comunicaciones militares ucraniana al comienzo de la guerra; por ejemplo, en febrero de 2022 y apenas una hora antes de la invasión, Rusia ejecutó un ciberataque a la infraestructura terrestre de la red KA-SAT de ViaSat, provocando una gran interrupción para decenas de miles de usuarios europeos, incluido el gobierno y las fuerzas militares ucranianas (Ogden et. al, 2024). Como Ucrania necesitaba un sistema de comunicaciones seguro y fiable para facilitar una defensa eficiente, en particular para la comunicación entre comandantes y las tropas en el frente de combate, Ucrania solicitó a Elon Musk que le suministrara terminales portátiles

*Starlink*¹¹⁸, ya que las empresas privadas pueden acelerar la introducción de nuevos servicios con mayor eficiencia que las entidades gubernamentales.

Evidencia de ello es que poco después de la invasión rusa, la empresa estadounidense *SpaceX* envió 5.000 kits de terminales a Ucrania, facilitando la comunicación a través de su extensa red de pequeños satélites en órbita terrestre baja. Estos facilitaron el acceso y la conectividad a Internet fuera de la red, facilitando así las comunicaciones esenciales de combate y la difusión de información. También conectaron centros de población civil aislados por el conflicto y la destrucción por parte de Rusia de torres de telefonía móvil y otras infraestructuras. A mediados del 2022, el número de kits de *Starlink* utilizados por hospitales, negocios y militares ucranianos eran de 20.000 unidades, y para principios de 2024 habían aumentado a aproximadamente 45.000 terminales, hasta el punto que Ucrania llegó a representar el 58% del total de descargas globales en un momento dado que utilizaron *Starlink*.

Incluso, existe información de que las tropas rusas en Ucrania utilizan miles de terminales *Starlink* en sus operaciones ofensivas (Reuters, 15 de febrero de 2023), eludiendo la tecnología de *geofencing* destinada a restringir el uso en áreas no autorizadas, al tiempo que intenta interrumpir el servicio en territorio ucraniano; aunque es altamente probable que las terminales fueron adquiridas a través de intermediarios para eludir las sanciones, y *Starlink* no las ha suministrado directamente, no es seguro que la corporación tome medidas proactivas para inhibir su uso por parte de las fuerzas militares rusas.

Asimismo, la dependencia de Ucrania de *Starlink* ha puesto de manifiesto las vulnerabilidades asociadas al acceso de servicios espaciales de un número limitado de entidades privadas. Elon Musk ha puesto en peligro la conectividad de Ucrania a la red de comunicaciones en múltiples ocasiones y ha restringido el uso de *Starlink* para regular los sistemas no tripulados ucranianos que operan en el Mar Negro contra la flota naval rusa. Ucrania utilizó la red *Starlink* para la operación de vehículos aéreos no tripulados de vigilancia y combate, incluido el dron turco *Bayraktar TB2*, pero *SpaceX* intentó inhibir la utilización de tales sistemas, aduciendo que *Starlink* no estaba destinado a ser utilizado como arma por Ucrania y que los ucranianos lo habían utilizado

118 *Starlink*, iniciada por SpaceX en 2019, es una constelación de satélites de órbita baja terrestre operada de forma privada que incluye miles de satélites que brindan acceso a Internet de banda ancha de alta velocidad y baja latencia. La utilización de *Starlink* como sustituto del sistema de comando y control ucraniano fue crucial: permitió que el alto mando ucraniano se mantuviera informado sobre los eventos en las numerosas líneas del frente. También le permitió al presidente Zelensky mantener la comunicación con los líderes mundiales y la población ucraniana, lo que contribuyó a contrarrestar el esfuerzo de desinformación ruso.

de maneras que no estaban contempladas en ningún acuerdo (Sabbagh, 9 de febrero de 2023).

Posicionamiento, Navegación y Tiempo (PNT)

Los satélites PNT proporcionan información de posición y se utilizan para fines de vigilancia, navegación y selección de objetivos. Los satélites militares, incluido el sistema GPS, se utilizan en Ucrania de manera similar a su despliegue en la guerra del Golfo en 1991, para ayudar a las tropas a navegar y para la localización precisa de objetivos militares. Si bien las armas de precisión se guían mediante transmisiones de radio, navegación inercial, designación láser o del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), este último no requiere personal de tierra cerca del objetivo, ni vigilancia constante del objetivo con un designador láser, para dirigir las municiones con precisión y minimizar el potencial de daños colaterales.

Por el contrario, con los códigos apropiados agregados, la precisión de los misiles guiados por GPS se puede mejorar a aproximadamente un metro. Por ende, las municiones guiadas por GPS son del tipo “dispara y olvida”, lo que permite al piloto, que normalmente las lanza desde una aeronave, ejecutar maniobras evasivas para obstaculizar el posible objetivo de municiones antiaéreas. Asimismo, la artillería, incluidas las armas de 155 mm y el sistema de cohetes de artillería de alta movilidad (HIMARS), emplea con frecuencia la guía GPS para mejorar la precisión¹¹⁹ (Peperkamp y Bolder, 2024).

Además, Ucrania obtiene información sobre objetivos militares de satélites británicos y estadounidenses; y si bien los rusos producen información sobre objetivos desde la órbita, la cantidad de satélites a los que tiene acceso Rusia es notablemente inferior a la de Ucrania y sus aliados. Aunque Rusia posee el sistema *Glonass* como alternativa al GPS, la exactitud de las municiones de precisión estadounidenses indica que las armas equivalentes rusas, acopladas a la señal *Glonass*, pueden no alcanzar el mismo nivel de eficacia que las de los norteamericanos. Por consiguiente, la interrupción de las señales del GPS es un aspecto fundamental de las estrategias rusas destinadas a socavar las capacidades de Ucrania y sacar provecho de la dependencia de numerosas municiones guiadas, sistemas no tripulados y otros equipos de los sistemas PNT basados en el espacio (Ogden et al., 2024).

Las municiones guiadas por GPS pueden ser susceptibles a las tácticas de guerra electrónica (GE) rusas, lo que reduce su alcance, precisión y eficacia,

¹¹⁹ La precisión mejorada con GPS requiere menos municiones para alcanzar objetivos en comparación con la artillería no guiada, lo que resulta en menos daños colaterales.

en particular en ausencia de alternativas confiables como la guía inercial o el mapeo del terreno. Esto aumenta la probabilidad de que las armas no alcancen sus objetivos previstos, lo que hace necesario el despliegue de municiones adicionales en ataques de saturación para compensar la deficiencia en precisión, lo que aumenta la posibilidad de daños colaterales. La Autoridad de Aviación Civil francesa indicó que el aparato militar ruso destinado a neutralizar misiles guiados por GPS interfirió involuntariamente en la navegación satelital comercial en Finlandia, lo que provocó complicaciones en vuelo para los pilotos, y hasta los rusos se han abstenido de ejecutar interferencias extensas del GPS debido al riesgo potencial de interferir con sus propios receptores GLONASS, poniendo así en peligro su eficacia operativa. En respuesta a estos peligros, se están implementando iniciativas para establecer fuentes alternativas de PNT en regiones donde el acceso al GPS no está disponible o está obstruido, con medidas proactivas para apuntar y neutralizar las capacidades de GE de Rusia sobre el terreno.

Control y Negación del Espacio

El análisis anterior destaca la importancia de la tecnología espacial en la guerra moderna, y, en consecuencia, como los adversarios emplean capacidades contra-espaciales para disminuir las ventajas estratégicas y tácticas derivadas de estos activos militares. La guerra en Ucrania ha influido en la seguridad espacial, al igual que el espacio exterior ha impactado en el conflicto ruso-ucraniano. En otras palabras, atacar la infraestructura espacial puede servir como medio de disuasión o coerción, como lo demostró la provocativa prueba de un misil antisatélite de ascenso directo (ASAT por sus siglas en inglés) por parte de Rusia a fines de 2021, que implicó la destrucción de un propio satélite ya obsoleto; esta acción tuvo como objetivo intimidar a Kiev y disuadir a la OTAN, aunque puso en peligro de manera imprudente a otros satélites y a los propios cosmonautas rusos a bordo de la Estación Espacial Internacional.

Explotar las debilidades de la infraestructura espacial puede servir como un método negable, escalable y rentable para perjudicar u obstruir el acceso de un adversario a servicios específicos mediante tácticas cinéticas, electrónicas o cibernéticas. Por consiguiente, no es de extrañar que, tras los ataques iniciales a Viasat, los intentos rusos de infiltrarse, interferir, suplantar y socavar de otro modo el uso de los servicios espaciales por parte de Ucrania (al tiempo que se abstienen de acciones cinéticas que podrían intensificar el conflicto incitando una reacción occidental), se hayan convertido en un aspecto persistente de las hostilidades. En la actualidad, numerosos Estados tienen capacidades anti-espaciales, entre ellas: 1). Misiles antisatélites cinéticos de ascenso directo

(ASAT-AD) e interceptores coorbitales capaces de destruir físicamente un satélite; 2). Armas no cinéticas, incluidos láseres para cegar o deslumbrar a los sensores de los satélites, armas de microondas de alta potencia y dispositivos de pulso electromagnético (PEM), capaces de inutilizar dispositivos electrónicos o armas nucleares; 3). Armas electrónicas diseñadas para interferir o suplantar la transmisión de datos entre los satélites y sus estaciones terrestres, tanto de enlace ascendente como descendente; y 4). Ciberataques dirigidos contra los sistemas espaciales y sus datos.

A pesar de la creciente militarización y armamentización del espacio que genera inquietud sobre la posibilidad de una guerra espacial, hasta ahora no se han empleado armas antisatélite cinéticas (irreversibles), ni tampoco misiles ASAT-AD, como el desarrollado por Rusia unos meses antes de la guerra, ni interceptores coorbitales capaces de destruir satélites. Lo que si se ha llevado a cabo son operaciones de encuentro coorbital, como fue el caso del satélite ruso de inspección *Luch*, el cual maniobró hacia numerosos satélites para ejecutar operaciones de proximidad (Bingen, Johnson y Young, 2023); no obstante, es probable que estos satélites se emplearan para la recopilación de inteligencia, más que como armas antisatélite coorbitales. Asimismo, no existe, por ahora, ningún uso documentado de láseres no cinéticos, armas de microondas, dispositivos de PEM o armamento nuclear. A pesar de las afirmaciones rusas sobre el despliegue de *Zadira*, una formidable arma láser, su utilización no ha sido observada ni verificada, ni tampoco la de ninguna otra arma de energía dirigida, como el *Peresvet*. Por ende, aunque el control espacial no se ha manifestado en estas dos categorías de capacidades antiespaciales, las otras dos categorías son predominantes. En consecuencia, hoy por hoy, si bien los ataques pueden ocurrir más allá de la atmósfera terrestre, atacar la infraestructura espacial localizada en la Tierra (puertos espaciales, centros de operaciones, fábricas, etc.), es quizás más factible de ejecutarse.

La creciente interdependencia de varios activos y servicios espaciales comerciales y militares significa que incluso ataques transitorios y reversibles a un solo eslabón de la cadena pueden producir un impacto en cascada en toda la red (Ogden et. al, 2024). Entonces, no debe sorprender que una parte significativa de las operaciones contra-espaciales de la Federación de Rusia implican ataques electrónicos¹²⁰. Las interferencias y suplantación interfieren con el enlace de datos entre los satélites y las estaciones terrestres, ya sea obstruyendo la señal o proporcionándole información engañosa; pues bien, antes de la invasión rusa, se observó una interferencia constante del GPS que impedía las operaciones de las aeronaves remotamente tripuladas (ART), y se

120 Ucrania ciertamente emplea tácticas similares; sin embargo, esto no se informa en los medios.

informó que un operador perdió el control temporal de una ART *Bayraktar* debido a la interferencia del GPS atribuida al arma electrónica rusa *Krasukha-4* (Bipindra, 23 de abril de 2023). Rusia intentó interrumpir las terminales terrestres del sistema *Starlink* y la señal GPS para obstaculizar las operaciones de los aviones comerciales de Finnair cerca del enclave ruso de Kaliningrado. Ucrania ha interrumpido las comunicaciones rusas, por ejemplo, a través de radios de consumo utilizadas para la comunicación entre las fuerzas rusas y sus comandantes (Höyhtyä y Uusipaavalniemi, 2023).

Al comienzo de la guerra, Rusia obstaculizó a sus propias tropas casi de manera tan significativa como a las de su adversario, pero se han aprendido algunas lecciones (Watling y Reynolds, 2023). En efecto, Rusia parece estar logrando una mayor eficacia en la GE; recientes filtraciones de datos del Pentágono revelaron que se están realizando esfuerzos para interferir con la señal GPS del Sistema de Cohetes de Artillería de Alta Movilidad (HIMARS), lo que pone de relieve la necesidad imperiosa de que las fuerzas ucranianas localicen y neutralicen los bloqueadores rusos. Los bloqueadores han afectado a otras municiones inteligentes empleadas por Ucrania, como las Municiones de Ataque Directo Conjunto (JDAM), lo que ha afectado negativamente a su precisión y ha provocado que no se alcance el objetivo. Watling y Reynolds (2023) han afirmado que los sistemas de GE rusos, como el *Shipovnik-Aero*, son cada vez más eficaces y contribuyen significativamente al elevado número de ART ucranianos destruidos. Sin embargo, aunque las armas electrónicas como el *Krasukha-4* y el *Shipovnik-Aero* presentan amenazas importantes, no se han documentado casos de despliegue de otras armas electrónicas avanzadas en el arsenal ruso, como los sistemas de bloqueo de radar de apertura sintética dirigidos a satélites IVR que proporcionan imágenes, por ejemplo, de los movimientos de tropas rusas. Esto es inesperado, ya que estos satélites de IVR han proporcionado a Ucrania una ventaja significativa en datos e inteligencia, como se ha señalado anteriormente. Según Bingen, Johnson y Young (2023), las fuerzas militares rusas no reconocieron su importancia, no eran conscientes de su paradero o carecían de la capacidad para atacarlos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, otras de las actividades contra-espaciales se manifiestan en forma de ciberataques. Al comienzo de la guerra, junto con los ciberataques a las estaciones terrenas de un sistema de comunicación espacial, Rusia implementó un software de limpieza que incapacitaba los módems terrestres a través del enlace descendente del satélite; este ataque incapacitó las comunicaciones de las fuerzas armadas ucranianas, pero las repercusiones de ciberataques o GE dirigidos a los servicios espaciales también pueden afectar a Estados adyacentes o neutrales,

como ocurrió con el ciberataque ruso de febrero de 2022 a la red KA-SAT de Ucrania, afectando una red satelital operada por Francia y más de 5.800 turbinas eólicas alemanas. Esto indica una tendencia más amplia de amenazas emergentes a la seguridad derivadas de las intrincadas interdependencias de varios sectores y dominios de la infraestructura espacial terrestre. Este parece ser el ciberataque más eficaz en el conflicto actual y fue uno de los factores que hicieron necesaria la dependencia de Ucrania del sistema *Starlink*¹²¹. Sin embargo, los piratas informáticos rusos no son los únicos participantes en este dominio, ya que satélites rusos, en particular el sistema nacional GLONASS, parecen haber sido objeto de ciberataques por parte de piratas informáticos ucranianos o sus simpatizantes. Además, una red de comunicaciones satelitales militares rusa sufrió un ciberataque que la dejó inoperativa durante unas 24 horas a finales de junio de 2023¹²².

En consecuencia, la aplicación de la fuerza espacial en la guerra ruso-ucraniana se ha manifestado, por ahora, en forma de ataques electrónicos y cibernéticos. Aunque los analistas suponen que Rusia posee armamento espacial avanzado, este aún no se ha desplegado; por lo tanto, las operaciones contra-espaciales han obstaculizado las actividades militares, aunque no de manera tan significativa como se esperaba, y no han transformado del todo al espacio exterior en un teatro de conflicto. Sin embargo, es evidente que las capacidades espaciales ya no son exclusivas de las potencias militares, y aunque Estados Unidos utilizó servicios de comunicación comerciales durante la Guerra del Golfo, la disponibilidad y sofisticación de las capacidades espaciales han avanzado significativamente.

Organizaciones de la nueva economía espacial como *SpaceX* proporcionan servicios eficientes y confiables, ya que, debido a la composición de estas redes, que incluyen extensas constelaciones de pequeños satélites en órbita terrestre baja, el sistema exhibe resiliencia y, por ende, no es susceptible a ataques a satélites individuales; adicionalmente, los códigos informáticos y el software se modifican con facilidad y rapidez, lo que mejora la resiliencia. Por consiguiente, las ventajas estratégicas de la tecnología espacial ya no son exclusivas de un grupo selecto de Estados poderosos con costosas iniciativas espaciales militares; incluso Estados más pequeñas como Ucrania pueden ahora capitalizar estos beneficios.

121 Aunque Starlink enfrentó ciberataques, no ha experimentado ninguna degradación sustancial. Sin embargo, hay indicadores de que Rusia puede intensificar sus operaciones cibernéticas, aumentando así la amenaza a las capacidades espaciales.

122 Una banda de piratas informáticos o una organización afiliada a Wagner parece haber sido la responsable, ya que el incidente ocurrió inmediatamente después de la rebelión de Wagner el 24 de junio de 2023.

Esto parece sugerir que la tenencia de activos y habilidades espaciales es innecesaria, siempre que se pueda acceder a sus servicios. No obstante, la participación de entidades comerciales y civiles oscurece la distinción entre actores militares y no militares, lo que da lugar a dos desafíos. Primero, los actores comerciales pueden ser vistos como objetivos militares cuando ofrecen asistencia militar. Segundo, la creciente influencia política de las empresas que proporcionan tecnología esencial. Inicialmente, parecía que *SpaceX* ayudaba a los ucranianos ofreciendo el servicio *Starlink* a un costo mínimo; sin embargo, Elon Musk luego solicitó que el gobierno ucraniano cubriera los costos una vez que la red se volvió indispensable¹²³. La fiabilidad de estos servicios espaciales de carácter comercial puede verse comprometida cuando el proveedor limita su uso prolongado; *SpaceX* declaró que prohibió el uso de *Starlink* con fines ofensivos, restringiendo su posible utilización como arma y para dirigir ARTs. a pesar de su considerable uso para comunicaciones y objetivos militares.

Análisis comparativo entre los dos casos de estudio

A fin de sintetizar la comparación entre la Guerra del Golfo y la Guerra Ruso-Ucraniana, se presenta a continuación un cuadro que organiza las seis categorías de análisis propuestas en este capítulo. La tabla 1 permite visualizar, de manera estructurada, cómo el papel del espacio ha transitado desde un recurso complementario y estatocéntrico en 1991 hacia un dominio estratégico integral y altamente disputado en el conflicto contemporáneo de Ucrania.

Tabla 1. *Categorías de análisis comparativo entre la Guerra del Golfo y la Guerra Ruso-Ucraniana*

Categoría	Guerra del Golfo (1991)	Guerra Ruso-Ucraniana (2022-2024)
Actores espaciales	Predominio estatal (EE.UU., URSS como proveedor).	Irrupción de actores comerciales y privados (SpaceX, Maxar, ICEYE, HawkEye 360).
Dependencia tecnológica	Dependencia incipiente: GPS parcial, SATCOM militar.	Dependencia estructural: IVR, SATCOM, PNT, OSINT en tiempo real.

123 Finalmente, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos optó por asumir la responsabilidad financiera (Amritha, 9 de marzo de 2023).

Categoría	Guerra del Golfo (1991)	Guerra Ruso-Ucraniana (2022-2024)
Mando y control (C2)	SATCOM y GPS para coordinar coalición multinacional.	Resiliencia gracias a Starlink y constelaciones comerciales.
Impacto estratégico	Multiplicador tecnológico (precisión y coordinación).	Dominio estratégico integral (drones, ciber, guerra híbrida).
Counterspace	Baja contestación; sin uso significativo de ASAT ni EW.	Alta contestación: ciberataques, interferencia GPS, spoofing.
Dimensión político-estratégica	Consolidación del liderazgo global de EE.UU.	Disputa geopolítica y narrativa global apoyada en OSINT comercial.

Fuente: elaboración propia.

Actores espaciales

En la Guerra del Golfo predominó un modelo estatocéntrico en el que las capacidades espaciales se encontraban concentradas en manos de los Estados. En efecto, Estados Unidos monopolizó el acceso a satélites de observación, comunicaciones y posicionamiento global (GPS), lo que le permitió asegurar una ventaja estratégica inalcanzable para Irak. Este último dependía de la Unión Soviética como proveedor de armamento y tecnología, pero carecía de autonomía en el acceso a activos espaciales. En términos de Buzan y Wæver (2003), la seguridad espacial operaba como un subcomponente del sector militar tradicional, bajo el control exclusivo de las grandes potencias.

En contraste, la guerra Ruso-Ucraniana refleja una transformación estructural. La irrupción de actores privados como SpaceX (Starlink), Maxar, Planet, ICEYE y HawkEye 360 ilustra la transición hacia un ecosistema híbrido, donde las corporaciones comerciales participan directamente en la conducción de la guerra. Como advierte Dolman (2002), la astropolítica no se limita al control estatal de la órbita terrestre, sino que se abre a una lógica de múltiples actores que disputan la proyección de poder más allá de la atmósfera. De este modo, la guerra en Ucrania erosiona el monopolio estatal sobre el espacio y redefine la distribución del poder en este dominio estratégico.

Grado de dependencia tecnológica del espacio

El conflicto del Golfo representó una dependencia incipiente de las capacidades espaciales. El uso del GPS, de satélites de comunicaciones y de sistemas de reconocimiento incrementó la precisión de las armas guiadas y facilitó la coordinación multinacional, pero la guerra aún podía sostenerse con medios convencionales. La dependencia era instrumental más que estructural. En Ucrania, la situación es distinta: el espacio se ha convertido en un requisito estructural para la conducción de operaciones. Los satélites resultan indispensables para la IVR, la navegación de drones y misiles, las comunicaciones seguras y la producción de inteligencia de fuentes abiertas (OSINT). Johnson-Freese (2017) ha señalado que la guerra del siglo XXI depende de manera creciente de servicios espaciales integrados en todos los niveles de la estrategia. La evidencia ucraniana confirma que, sin estos servicios, la capacidad de resistir y adaptarse en un entorno híbrido se vería gravemente comprometida.

Rol del espacio en el mando y control (C2)

Durante la Guerra del Golfo, los satélites de comunicaciones y el GPS proporcionaron la infraestructura necesaria para coordinar una coalición multinacional de gran escala. Este despliegue aseguró un mando centralizado y una superioridad informacional sin precedentes. Sin embargo, se trataba de un modelo vertical en el que las capacidades espaciales estaban canalizadas a través de sistemas militares estatales.

En la guerra Ruso-Ucraniana, el mando y control (C2) se ha redefinido por la irrupción de constelaciones comerciales como Starlink. Estas han proporcionado resiliencia en un escenario caracterizado por ciberataques y bombardeos contra infraestructura terrestre. La lógica, siguiendo a Alberts et al. (1999), se aproxima más a una red de C4ISR descentralizada, donde la dispersión y redundancia de nodos asegura la continuidad de la comunicación. En términos de Boyd (1987), el ciclo OODA¹²⁴ ucraniano ha logrado resistir

124 El ciclo OODA (Observe–Orient–Decide–Act) fue desarrollado por el coronel estadounidense John Boyd a finales de la década de 1970 como un modelo para comprender la dinámica de la toma de decisiones en entornos de combate. El proceso inicia con la observación, es decir, la recolección de información del entorno, propia y del adversario. Luego se pasa a la orientación, fase crítica donde se interpreta la información observada a través de marcos culturales, doctrinales y de experiencia previa. La tercera etapa, decidir, consiste en seleccionar un curso de acción en función de la orientación realizada. Finalmente, la fase de actuar ejecuta la decisión adoptada y genera nuevos efectos que reinician el ciclo. La innovación central de Boyd (1987) reside en que este ciclo es continuo, interactivo y competitivo: las fuerzas en conflicto se encuentran en ciclos de decisión simultáneos, y la ventaja estratégica depende de la capacidad de reducir el propio ciclo e interrumpir o desfazar el del adversario. En este sentido, “entrar dentro del OODA loop enemigo” significa anticipar y adaptarse

los intentos de disrupción rusa, mostrando que la integración de servicios comerciales al C2 constituye un factor decisivo en la dinámica contemporánea del combate.

Impacto estratégico del espacio

En 1991, el espacio funcionó principalmente como un multiplicador tecnológico. La disponibilidad de imágenes satelitales y de navegación GPS permitió el empleo de armas guiadas de precisión, lo que incrementó la eficacia de las campañas aérea y terrestre. Siguiendo a Gray (2010), puede afirmarse que el espacio actuó como un medio que fortaleció la adaptación estratégica, sin convertirse aún en el centro de gravedad del conflicto. Por el contrario, en 2022-2024 el espacio ha adquirido la condición de dominio estratégico integral. Drones, ciberguerra, logística en tiempo real y propaganda dependen de los satélites para operar eficazmente. La diferencia cualitativa es clara: en la Guerra del Golfo, el espacio incrementaba las capacidades existentes; en Ucrania, constituye el entramado indispensable sobre el cual se organiza la guerra contemporánea en todos sus niveles, desde el táctico hasta el político-estratégico.

Vulnerabilidad y contramedidas (counterspace)

En la Guerra del Golfo, la contestación espacial fue prácticamente inexistente. Irak carecía de capacidades antisatélite y Estados Unidos disfrutó de un dominio ininterrumpido. La dimensión espacial estaba ausente del campo de la negación activa (*counterspace*). En Ucrania, en cambio, las contramedidas espaciales se han convertido en una dimensión permanente del conflicto. Rusia ha desplegado interferencia de GPS, spoofing de señales, ciberataques contra redes satelitales y bloqueos de comunicaciones. Según Weeden y Samson (2019), estos episodios confirman que las capacidades de negación espacial abarcan hoy un espectro que incluye armas cinéticas, no cinéticas, electrónicas y cibernéticas, ampliando el alcance de la vulnerabilidad. Esta diferencia demuestra que el espacio ya no es un dominio pacífico, sino un entorno de combate en disputa constante.

más rápido que el oponente, generando desorientación y parálisis decisoria en su estructura de mando. El modelo ha trascendido la esfera militar y se aplica también en ámbitos empresariales, tecnológicos y de gestión estratégica, pero su raíz se encuentra en la doctrina de combate aéreo y en la guerra de maniobra.

Dimensión político-estratégica

El empleo de capacidades espaciales en la Guerra del Golfo reforzó la hegemonía de los Estados Unidos, proyectando poder tecnológico y militar que consolidó el orden internacional de la pos-Guerra Fría. Como lo señalaría Bull (1977), la supremacía en este dominio contribuyó a sostener la arquitectura del orden anárquico internacional bajo la primacía de una potencia. En Ucrania, la dimensión política del espacio se manifiesta en una disputa narrativa global. Las imágenes satelitales comerciales han documentado ataques y violaciones de derechos humanos, moldeando la percepción pública y condicionando el apoyo internacional. Como destaca Deudney (2020), el espacio es hoy un campo de disputa no solo militar, sino también simbólica y normativa, donde se negocia la legitimidad de los actores y la configuración del orden global.

Síntesis transversal e implicaciones

Por lo tanto, la información resumida en la Tabla 1 pone de relieve tres hallazgos centrales. En primer lugar, la transformación de los actores espaciales, con la irrupción de compañías privadas que rompen el monopolio estatal. En segundo lugar, el salto de una dependencia incipiente a una dependencia estructural, donde los servicios satelitales se convierten en condición necesaria para la eficacia militar. En tercer lugar, la ampliación de la contestación espacial, que incorpora ciberataques, interferencia y medidas counterspace como parte recurrente del combate. Estas dinámicas confirman que el espacio exterior ya no puede entenderse únicamente como un multiplicador tecnológico, sino como un dominio estratégico integral con implicaciones directas para la conducción de la guerra y para el orden internacional.

El análisis comparativo evidencia un tránsito de un modelo estatocéntrico y accesorio hacia un modelo híbrido y estructural. Mientras en la Guerra del Golfo el espacio se concebía como un multiplicador tecnológico en manos de Estados, en la guerra Ruso-Ucraniana se ha convertido en un dominio integral en el que confluyen gobiernos, corporaciones y actores no estatales. Este cambio puede interpretarse a la luz de la astropolítica de Dolman (2002), que advierte la centralidad del espacio en la geopolítica del siglo XXI; de la noción de seguridad sectorial de Buzan y Wæver (2003), que subraya la interdependencia de dominios; y de la tesis de Johnson-Freese (2017), que describe la consolidación de la guerra espacial como fenómeno estructural. El espacio exterior, por tanto, deja de ser un recurso instrumental para convertirse en un factor determinante en la configuración del poder militar y estratégico global, con implicaciones directas para el futuro de la seguridad internacional.

Conclusiones

La Operación “Tormenta del Desierto” en 1991 marcó el primer conflicto importante en el que los activos espaciales se integraron en la estrategia militar. Décadas más tarde, la guerra entre Rusia y Ucrania ha demostrado la proliferación y diversificación de capacidades espaciales, destacando su importancia estratégica en escenarios de guerra asimétrica e híbrida (Höyhtyä, y Uusipaavalniemi, 2023). Si bien la primera guerra del Golfo fue un conflicto convencional entre actores estatales, la guerra ruso-ucraniana ha implicado una asimetría significativa, ya que los activos espaciales empoderaron a un Estado más pequeño contra un adversario más grande.

En la guerra ruso-ucraniana, la integración de las capacidades espaciales ha sido marcadamente diferente, lo que refleja los avances tecnológicos y la dinámica geopolítica del siglo XXI. A diferencia de la Operación “Tormenta del Desierto”, donde los activos espaciales estaban predominantemente controlados por el Estado, el conflicto de Ucrania ha visto una participación significativa de empresas espaciales privadas como *Maxar* o *SpaceX*; esta democratización de las capacidades espaciales contemporáneas ha desdibujado las líneas entre las aplicaciones militares y civiles, complicando las nociones tradicionales de seguridad espacial. Otra evolución crítica ha sido el uso de la GE para contrarrestar las capacidades espaciales. Según se informa, las fuerzas rusas han empleado tecnologías de interferencia y suplantación para interrumpir los sistemas de GPS y comunicación ucranianos, lo que pone de relieve las vulnerabilidades de las operaciones que dependen del espacio. Esta dinámica subraya la naturaleza disputada del espacio exterior en los conflictos contemporáneos, donde las medidas ofensivas y defensivas son igualmente significativas.

Pero a pesar de la brecha temporal y tecnológica, existen varias similitudes entre la primera guerra del Golfo y la actual guerra entre Rusia y Ucrania en su uso del dominio espacial. Por ejemplo, ambos conflictos subrayaron la importancia de los activos espaciales para el comando, control, comunicaciones, inteligencia, vigilancia y reconocimiento; en la Operación “Tormenta del Desierto”, estas capacidades proporcionaron a las fuerzas de la coalición una ventaja estratégica, mientras que, en Ucrania, han sido fundamentales para la resiliencia contra un adversario tecnológicamente superior. Asimismo, las MGP por GPS fueron una innovación revolucionaria en la Operación “Tormenta del Desierto” y siguen siendo una piedra angular de las operaciones militares modernas, como se evidencia en la guerra ruso-ucraniana. En ambos casos de estudio, las capacidades espaciales facilitaron

los esfuerzos de coalición internacional; en la guerra del Golfo, esto se hizo principalmente a través de alianzas lideradas por Estados, mientras que, en la guerra de Ucrania, ha incluido asociaciones con empresas espaciales privadas.

Empero, existen también algunas diferencias claves. Por ejemplo, las capacidades tecnológicas en la guerra ruso-ucraniana superan con creces las de la Operación “Tormenta del Desierto”, ya que los avances en imágenes satelitales, redes de comunicación e IA han ampliado el alcance y la eficacia de las operaciones espaciales. Es importante no perder de vista que el conflicto en Ucrania se produce en medio de una rivalidad más amplia por la supremacía tecnológica entre poderes militares globales; y por lo tanto, se prevé que la convergencia de innovaciones en campos como el espacio, la IA, la autonomía, la robótica, la ciencia de los materiales, la informática, las telecomunicaciones y los sensores, amplíe la gama de herramientas para el Comando, Control, Comunicaciones, Computadoras, Ciberseguridad, Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos y Reconocimiento (C5ISTAR, por sus siglas en inglés). En un marco de Guerras de Sexta Generación, Estados Unidos, China, Rusia y la OTAN compiten por el dominio tanto dentro como fuera del campo de batalla, aprovechando datos avanzados, análisis y conectividad para mejorar la velocidad y la eficacia de la toma de decisiones, superando así en inteligencia y maniobrabilidad a los adversarios.

Las Fuerzas Militares de Ucrania vienen demostrando una inventiva significativa al incorporar varias fuentes de inteligencia y sistemas de IA en “cadenas de eliminación” o *kill chains*, para identificar y atacar de manera eficiente a los objetivos rusos. Asimismo, se han utilizado nuevas tecnologías digitales para diversas aplicaciones, entre ellas el reconocimiento facial que sirve para múltiples propósitos, como la detección de infiltrados, la identificación de personas fallecidas, la lucha contra la desinformación, entre otras; el análisis de imágenes para inteligencia de fuentes abiertas (OSINT) o inteligencia geoespacial (GEOINT) utilizando datos comerciales de OT, geoetiquetado y herramientas cartográficas; transcripción y traducción de voz para ayudar a los ucranianos a interceptar y comprender las comunicaciones rusas a través de una base de datos de texto con modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM); así como asistencia para operaciones de ataque, inteligencia, vigilancia, reconocimiento y logística utilizando sistemas no tripulados o municiones merodeadoras (por ejemplo, pequeños ART armados con cargas explosivas)¹²⁵.

125 Estados Unidos, la OTAN y China están tratando de integrar las lecciones de los campos de batalla ucranianos en sus estrategias de desarrollo para futuras operaciones conjuntas. Esto es evidente en los esfuerzos continuos por integrar los conocimientos de Ucrania en el desarrollo de conceptos, incluidos el Comando y Control Conjunto de Todos los Dominios (JADC2) de los Estados Unidos

Finalmente, el papel de las empresas privadas en el conflicto de Ucrania representa un cambio significativo con respecto a las operaciones espaciales dominadas por el Estado en la Operación “Tormenta del Desierto”. Este cambio refleja tendencias más amplias en la comercialización del espacio exterior. Y la guerra de Ucrania ha puesto de relieve la interacción entre los dominios espacial y cibernético, en la que la GE ha desempeñado un papel central. Este aspecto fue menos pronunciado en la Operación “Tormenta del Desierto” debido a las limitadas capacidades cibernéticas de la época. En consecuencia, el uso de las capacidades espaciales en las operaciones militares ha evolucionado significativamente desde la Operación “Tormenta del Desierto” hasta la Guerra entre Rusia y Ucrania. Si bien los principios fundamentales de la guerra espacial (como el dominio de los C4ISR y la precisión en la selección de objetivos), siguen siendo los mismos, los avances tecnológicos han transformado el panorama estratégico; la creciente participación de las empresas privadas y la integración de la guerra cibernética y electrónica subrayan la complejidad de las operaciones espaciales contemporáneas.

Comprender estas dinámicas resulta crucial para dar forma a las futuras estrategias y políticas militares en el cada vez más disputado dominio espacial. Por ejemplo, las redes espaciales híbridas (estatales y comerciales) pueden aumentar la capacidad de producción sin necesidad de duplicar las capacidades existentes ni de aumentar los presupuestos destinados a ellas; esto se puede lograr optimizando la interoperabilidad, en particular en materia de conocimiento del entorno espacial, que requiere una red mundial de sensores, mejorando el intercambio de datos sobre las capacidades y amenazas existentes, y reforzando la resiliencia mediante la integración de múltiples sistemas.

En síntesis, la evolución comparada entre la Guerra del Golfo y la Guerra Ruso-Ucraniana confirma lo señalado por Dolman (2002) sobre la centralidad del espacio en la astropolítica, por Johnson-Freese (2017) respecto a la consolidación de la guerra espacial como fenómeno estructural, y por Buzan y Wæver (2003) sobre la interdependencia de sectores de seguridad. El espacio ha dejado de ser un multiplicador tecnológico accesorio para convertirse en un dominio estratégico integral, disputado tanto en lo militar como en lo político. Esta constatación no solo transforma la forma en que se libran las guerras, sino también las lógicas de poder y gobernanza global, planteando desafíos particulares para Estados medianos como Colombia, que deberán

y los marcos de Operaciones Multidominio (OMD) de la OTAN, junto con nuevos programas de capacidad destinados a implementar sistemas militares avanzados para CSISTAR habilitados para el espacio exterior y la IA y otras aplicaciones (Ogden et. al, 2024).

definir su papel en un entorno internacional marcado por la hibridación entre capacidades estatales y comerciales en el espacio ultraterrestre.

Referencias bibliográficas

- Achcar, G. (2023). *The New Cold War: The United States, Russia and China from Kosovo to Ukraine*. Haymarket Books.
- Alberts, D., Garstka, J. y Stein, F. (1999). *Network centric warfare: Developing and leveraging information superiority*. CCRP.
- Amritha, J. (9 de marzo de 2023). “Starlink and the Russia-Ukraine War: A Case of Commercial Technology and Public Purpose?”. Belfer Center for Science and International Affairs. Obtenido de: <https://www.belfercenter.org/publication/starlink-and-russia-ukraine-war-case-commercial-technology-and-public-purpose>
- Anson, P. y Cummings, D. (1991). The first space war: The contribution of satellites to the gulf war. *The RUSI Journal*, 136(4), 45-53.
- Atkinson, R. (1993). *Crusade: The Untold Story of the Persian Gulf War*. Houghton Mifflin Co.
- Baudet, F. (2024). The War on Ukraine: A Warning from History. En Rothman, M.; Peperkamp, L. y Rietjens, S. (Eds.), *Reflections on the Russia-Ukraine War* (pp. 21-40). Leiden University Press.
- Berman, N.; Ferragamo, M. y Baumgartner, S. (2024). *How Ukraine Overcame Russia's Grain Blockade*. Council of Foreign Relations.
- Bingen, K.; Johnson, K. y Young, M. (2023). *Space Threat Assessment 2023*. Center for Strategic and International Studies.
- Bipindra, N. (23 de abril de 2023). “Star Wars: Russia-Ukraine Conflict Is World's 1st Commercial Space War As Moscow's EW Tries To Cripple Ukraine”. *The Eurasian Times*. Obtenido de: <https://www.eurasiantimes.com/star-wars-russia-ukraine-conflict-is-worlds-first-commercial/>
- Boyd, J. (1987). *A discourse on winning and losing*. Unpublished briefing slides, Air University Library

- Browne, M.; Botti, D. y Willis, H. (6 de abril de 2022). "Satellite Images Show Bodies Lay in Bucha for Weeks, Despite Russian Claims". *New York Times*. Obtenido de: <https://www.nytimes.com/2022/04/04/world/europe/bucha-ukraine-bodies.html>.
- Bull, H. (1977). *The anarchical society: A study of order in world politics*. Columbia University Press
- Buzan, B. y Wæver, O. (2003). *Regions and powers: The structure of international security*. Cambridge University Press.
- Center of Preventive Action (30 de diciembre de 2024). *War in Ukraine*. Council of Foreign Relations. Obtenido de: <https://www.cfr.org/global-conflict-tracker/conflict/conflict-ukraine>.
- Clausewitz, C. von. (1976). *On war*. Princeton University Press
- Deudney, D. (2020). *Dark skies: Space expansionism, planetary geopolitics, and the ends of humanity*. Oxford University Press.
- Dolman, E. (2002). *Astropolitik: Classical geopolitics in the space age*. Routledge
- Erwin, S. y Werner, D. (23 de diciembre de 2022). "Dark Clouds, Silver Linings: Five Ways War in Ukraine Is Transforming the Space Domain". *Space News*. Obtenido de : <https://spacenews.com/darkclouds-silver-linings-five-ways-war-in-ukraine-is-transforming-the-space-domain/>.
- Freedman, L. y Karsh, E. (1991). How Kuwait Was Won: Strategy in the Gulf War. En *International Security*, 16(2), 29-31.
- Gallegos, F. (1999). After the Gulf War: Balancing Space Power's Development. En DeBlois, B. (Ed.), *Beyond the Paths of Heaven: The Emergence of Space Power Thought* (pp. 63-102). Air University Press.
- Gordon, M. y Trainor, B. (2006). *The Generals' War: The Inside Story of the First Gulf War*. Atlantic Books.
- Gray, C. (2010). *The strategy bridge: Theory for practice*. Oxford University Press.
- Halliday, F. (1991). The Gulf War and Its Aftermath: First Reflections. En *International Affairs*, 67(2), 223-234.

- Höyhty, M. y Uusipaavalniemi, S. (2023). *The Space Domain and the Russo-Ukrainian War: Actors, Tools, and Impact*. The European Centre of Excellence for Countering Hybrid Threats
- Johnson-Freese, J. (2017). *Space warfare in the 21st century: Arming the heavens*. Routledge.
- Kagan, F.; Bugayova, N.; Barros, G; Stepanenko, K. y Clark, M. (2021). *Putin's Military Options: Putin's Likely Courses of Action in Ukraine Part 2*. Institute for the Study of War.
- Karatnycky, A. (2024). *Battleground Ukraine: From Independence to the War with Russia*. Yale University Press.
- Kutyna, D. (1995). Indispensable: Space Systems in the Persian Gulf War. En Cargill, R. y Neufeld, J. (Eds.), *The U.S. Air Force in Space 1945 to the Twenty-first Century* (pp. 103-128). Air Force Historical Foundation
- Lambakis, S. (1995). Space control in desert storm and beyond. En *Orbis*, 39(3), 417-433.
- Lambeth, B. (1993). *The Winning of Air Supremacy in Operation Desert Storm*. Rand Corporation.
- Mankoff, J. (2022). *Russia's War in Ukraine: Identity, History, and Conflict*. Center for Strategic and International Studies.
- Mann III, E. (1995). *Thunder and Lightning: Desert Storm and the Airpower Debates*. Air University Press.
- Ogden, T.; Knack, A.; Le Bret, M.; Black, J. y Mavroudis, V. (2024). *The Role of the Space Domain in the Russia-Ukraine War: The impact of converging space and AI technologies*. Centre for Emerging Technology and Security
- Peperkamp, L. y Bolder, P. (2024). The Space Domain and the Russia-Ukraine War. En Rothman, M.; Peperkamp, L. y Rietjens, S. (Eds.), *Reflections on the Russia-Ukraine War* (pp. 257-274). Leiden University Press.
- Reuters (15 de febrero de 2023). "Russia using thousands of SpaceX Starlink terminals in Ukraine". *Reuters*. Obtenido de: <https://www.reuters.com/world/europe/russia-using-thousands-spacex-starlink-terminals-ukraine-wsj-says-2024-02-15/>

- Sabbagh, D. (9 de febrero de 2023). "Fury in Ukraine As Elon Musk's SpaceX Limits Starlink Use for Drones." *The Guardian*. Obtenido de: <https://www.theguardian.com/world/2023/feb/09/zelenskiy-aide-takes-aim-at-curbs-on-ukraine-use-of-starlink-to-pilot-drones-elon-musk>.
- Sankaran, J. (2024). The failures of Russian Aerospace Forces in the Russia-Ukraine war and the future of air power. En *Journal of Strategic Studies*, 47(7), 860-887.
- UCS (2024). UCS Satellite Database. Union of Concerned Scientists. Obtenido de: <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>.
- U.S. Department of the Treasury (26 de enero de 2023). "Treasury Sanctions Russian Proxy Wagner Group as a Transnational Criminal Organization". *U.S. Department of the Treasury*. Obtenido de: <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy1220>.
- Watling, J. y Reynolds, N. (2023). *Meatgrinder: Russian Tactics in the Second Year of Its Invasion of Ukraine*. RUSI.
- Weeden, B. y Samson, V. (2019). *Global counterspace capabilities: An open source assessment*. Secure World Foundation.
- Winnefeld, J.; Niblack, P. y Johnson, D. (1994). *A League of Airmen: U.S. Airpower in the Gulf War*. Rand Corporation.
- Wolkov, N.; Stepanenko, K.; Harward, C.; Gibson, O.; Runkel, W. y Barros, G. (2024). *Russian Offensive Campaign Assessment*. Institute for the Study of War.
- Yetiv, S. (1992). The Outcomes of Operations Desert Shield and Desert Storm: Some Antecedent. En *Political Science Quarterly*, 107(2), 195-212.

Diagramación y diseño:

Paola Forero Tamayo

Correo: jpaolaforet@gmail.com

<https://www.lmpromocionales.com/>

Este libro fue diagramado utilizando fuentes tipográficas
Times New Roman en sus respectivas variaciones a 11 puntos, títulos Minion
Variable Concept a 16 puntos.

Diseño de portada:

Gladys Lancheros

Gerente General - Graphic Motion

Cel: (+57) 318 793 2789

Correo: gladysclancheros@gmail.com

Impreso en el mes de diciembre de 2025.

100 ejemplares

Little Monkey BTL - Agencia de Publicidad

Calle 22L # 123a - 93

Bogotá, Cundinamarca

Colombia

Cel: (+57) 318 769 9552 / (+57) 317 639 0344

El siglo XXI ha transformado profundamente la manera en que los Estados conciben su relación con el espacio exterior. La convergencia de innovaciones tecnológicas, intereses estratégicos y nuevas dinámicas de poder ha convertido al espacio ultraterrestre en un escenario decisivo para el desarrollo, la seguridad y la competitividad global. En este contexto, Colombia enfrenta el reto —y la oportunidad— de fortalecer su presencia en un dominio que redefine la soberanía, la cooperación internacional y la capacidad de influencia de las naciones emergentes.

Este libro constituye un aporte esencial al estudio académico y estratégico del espacio como dominio operacional y como motor de progreso. A través de sus capítulos, se examinan los hitos históricos de la competencia espacial, las tensiones que impulsa la militarización de las órbitas, los desafíos contemporáneos de la seguridad espacial y la importancia de consolidar capacidades propias en ciencia, tecnología y defensa. Asimismo, se analizan las iniciativas colombianas —entre ellas el programa FACSAT— y los esfuerzos de la Fuerza Aeroespacial Colombiana para fomentar una cultura aeroespacial que articule innovación, estrategia y visión de futuro.

Más que un análisis técnico, este volumen propone una mirada multidimensional que integra historia, estrategia e innovación para comprender la interacción crítica entre poder, seguridad y desarrollo en el espacio. Su contenido ofrece bases sólidas para académicos, profesionales y tomadores de decisiones interesados en anticipar los riesgos y aprovechar las oportunidades de este entorno en constante evolución.

FUERZA AEROSPAECIAL
COLOMBIANA



ISBN: 978-628-7865-07-5



9 786287 865075