



Poder espacial colombiano: análisis de las amenazas espaciales que impactan los intereses nacionales, la seguridad y defensa nacional

Mayor (FAC) Mauricio Jiménez García

Artículo para optar al título profesional:

Magister en Seguridad y Defensa Nacionales

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"
Bogotá D.C., Colombia 2025

| DATOS GENERALES | |
|------------------------------|--|
| Nombre del estudiante | : Mayor (FAC) Mauricio Jiménez García |
| Identificación | : 1091654976 |
| Programa académico | : Maestría en Seguridad y Defensa Nacional |
| Tutor metodológico | : DO. Jonnathan Jiménez Reina |
| Tutor temático | : DO. Tc (R) Conde Mesa Javier Hernando |
| Fecha de entrega | : 03 de agosto de 2025 |
| Extensión | : 8.027 palabras |

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que este artículo fue escrito de acuerdo con la normatividad de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG) y no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con este. Las posturas y aseveraciones presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representan la posición oficial ni institucional de la ESDEG, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Este artículo es enteramente mi propio trabajo y no ha sido presentado para la obtención de un título en esta u otra Institución de Educación Superior. Se han referenciado todos los trabajos y puntos de vista de otros autores, así como los datos de otras fuentes utilizadas. No se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para su elaboración.

El autor acepta ceder los derechos de publicación en favor de la ESDEG y su Sello Editorial de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

El autor no autoriza que este artículo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de acceso abierto.

Poder espacial colombiano: análisis de las amenazas espaciales que impactan los intereses nacionales, la seguridad y defensa nacional

Colombian Space Power: Analysis of Space Threats Impacting National Interests, Security, and National Defense

Mauricio Jiménez García¹

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: Este artículo examina cómo las amenazas espaciales, tanto naturales como antropogénicas, afectan los intereses nacionales y la seguridad nacional de Colombia en un contexto de creciente dependencia tecnológica. Mediante una revisión documental sistemática de fuentes académicas, doctrinarias y técnicas entre 2014 y 2025, se evidencia que el país enfrenta riesgos significativos en infraestructuras críticas, careciendo de una doctrina espacial consolidada y capacidades autónomas de respuesta. Se proponen estrategias orientadas al fortalecimiento del poder espacial colombiano, a través del desarrollo tecnológico, la cooperación internacional y la actualización doctrinal, integrando el dominio espacial en la seguridad multidimensional del Estado y reconociendo su relevancia estratégica en el contexto geopolítico actual.

Palabras clave: Amenazas espaciales; basura orbital; clima espacial; defensa nacional; doctrina aeroespacial; infraestructura crítica; poder espacial; seguridad nacional; Space Domain Awareness (SDA).

Abstract: This article examines how space threats, both natural and anthropogenic, impact Colombia's national interests and security in a context of increasing technological dependence. Through a systematic documentary review of academic, doctrinal, and technical sources from 2014 to 2025, it is evident that the country faces significant risks to critical infrastructures while lacking a consolidated space doctrine and autonomous response capabilities. Strategies are proposed aimed at strengthening Colombia's space power through technological development, international cooperation, and doctrinal updates, integrating the space domain into the state's multidimensional security framework and recognizing its strategic importance in the current geopolitical context.

Keywords: Space threats; Orbital debris; Space weather; National defense; Aerospace doctrine; Critical infrastructure; Space power; National security; Space Domain Awareness (SDA).

¹ Mayor de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Magister en Ciencia Meteorología, Universidad Nacional de Colombia. Magister en Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada. Candidato a magister en seguridad y defensa nacional, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Ingeniería Informática, Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3231-3218> - Contacto: mauricio.jimenezg@esdeg.edu.co.

Introducción

El espacio ultraterrestre se ha consolidado como un dominio fundamental para las sociedades contemporáneas, siendo esencial para la seguridad nacional. La proliferación de satélites sustenta infraestructuras críticas civiles y militares, permitiendo servicios de comunicación, navegación y observación. Reconocido por la comunidad internacional como un dominio operativo junto a los sectores terrestre, marítimo, aéreo y ciberespacial (OTAN, 2020), el poder espacial, definido como el uso de sistemas espaciales para la seguridad nacional, enfrenta riesgos significativos, tanto naturales como antropogénicos, incluidos el clima espacial, la basura orbital, vulnerabilidades en GNSS y amenazas de ataques antisatélite, factores que pueden afectar las capacidades estratégicas y el desarrollo de los Estados (Larned, 1994; WEF, 2025).

A nivel global, el clima espacial extremo, especialmente las tormentas geomagnéticas causadas por erupciones solares, constituye una amenaza creciente para sistemas espaciales y terrestres, provocando daños en satélites, interrupciones en comunicaciones, fallas en redes eléctricas y alteraciones en sistemas de navegación (Colombia, 2024; WEF, 2025). En Colombia, esta vulnerabilidad se evidenció con la pérdida prematura del nanosatélite FACSAT-1 en 2023, debido a la intensa actividad solar que deterioró sus subsistemas y comunicaciones orbitales (Colombia, 2024). Este episodio subraya la fragilidad de los activos espaciales nacionales, incluso en etapas tempranas de desarrollo. En respuesta, Colombia ha priorizado el fortalecimiento de la Space Domain Awareness (SDA) para monitorear y caracterizar objetos y eventos en órbita en tiempo real, herramienta esencial para proteger recursos espaciales y las infraestructuras terrestres que dependen de ellos (Zapata & Ramírez, 2021; Colombia, 2024).

Las amenazas antropogénicas en el espacio cercano a la Tierra se han intensificado debido a la congestión orbital y la competencia entre potencias espaciales. Más del 80% de los satélites

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

operan en órbita baja, y el despliegue de mega-constelaciones aumentará aún más la saturación, dificultando el monitoreo y la mitigación de colisiones (Wired, 2022). La basura espacial, que supera las 6.600 toneladas, incluye fragmentos mayores a 1 cm que viajan a velocidades hipersónicas, capaces de destruir satélites y generar más desechos. Este contexto eleva el riesgo del síndrome de Kessler, una reacción en cadena de colisiones que amenaza naves y astronautas. En 2024, se registraron al menos 3.000 fragmentos nuevos surgidos de choques y explosiones, agravando esta problemática creciente (ESA, 2025).

La dimensión militar del espacio ha cobrado gran importancia, con potencias como Estados Unidos, Rusia, China e India desarrollando y demostrando capacidades antisatélite (ASAT) para neutralizar satélites. Pruebas como la china en 2007 y la rusa en 2021 generaron miles de fragmentos, incrementando el riesgo orbital (Wired, 2022). Paralelamente, se intensifican ataques híbridos y cibernéticos contra activos espaciales, incluyendo interferencias, jamming a GNSS y ciberataques como el de 2022 contra la red KA-SAT de Viasat, que afectó operaciones en Europa (WEF, 2025). La guerra cibernética puede desorientar sistemas militares al interferir señales GPS, impactando logística y mando. Así, el espacio es un entorno “congestionado, disputado y competitivo”, donde fenómenos naturales y amenazas hostiles convergen, generando riesgos complejos para la seguridad global y nacional (Wired, 2022).

En Colombia, la creciente dependencia de servicios espaciales, como comunicación satelital, navegación GPS e imágenes para gestión de desastres y monitoreo ambiental, resalta la importancia de afrontar los desafíos espaciales. Aunque no es potencia espacial, las amenazas en órbita constituyen riesgos significativos para la seguridad nacional, la estabilidad económica y los intereses estratégicos. La interrupción de activos espaciales críticos a nivel global puede generar efectos en cascada que impacten directamente al país (Wired, 2022). A pesar de avances como la Comisión Colombiana del Espacio (CCE) y la propuesta de la Agencia Nacional de Seguridad

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Digital y Asuntos Espaciales, persisten limitaciones para robustecer las capacidades sectoriales

(Impacto TIC, 2023). Esto subraya la necesidad de adoptar una estrategia integral y proactiva que incorpore el dominio espacial en la planificación de seguridad y defensa nacional.

Este artículo examina cómo las amenazas espaciales, impactan los intereses nacionales, y la seguridad y defensa nacional. Surge entonces la pregunta de investigación: ¿Qué amenazas espaciales impactan los intereses nacionales, y la seguridad y defensa nacional analizados desde el poder espacial colombiano? En atención a la pregunta de investigación antes propuesta, se establece como objetivo general del presente artículo, analizar desde el poder espacial colombiano las amenazas espaciales que impactan los intereses nacionales en el marco de la seguridad y defensa nacional. Para dar cumplimiento al objetivo antes propuesto, inicialmente se definirá el poder espacial en el contexto global y a nivel conceptual, teórico y doctrinario para el Estado colombiano. De manera seguida, se identificarán las amenazas espaciales existentes desde un enfoque global y amenazas espaciales para el poder espacial colombiano. En complemento, se establecerá cómo se impactan los intereses nacionales y la seguridad y defensa nacional por parte de las amenazas espaciales identificadas. Por último, y como resultado de la investigación realizada se presentarán a manera de recomendación las estrategias requeridas para contener las amenazas espaciales a los intereses nacionales y la seguridad y defensa nacional.

Metodología

La investigación empleó un enfoque cualitativo no experimental y una revisión documental sistemática para analizar el poder espacial y las amenazas a la seguridad nacional de Colombia entre 2014 y 2025. Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), este enfoque busca comprender los fenómenos en su contexto natural mediante un análisis interpretativo y descriptivo. Así, la revisión documental se aplicó como un proceso riguroso de búsqueda, selección y síntesis que fundamentó teóricamente el estudio.

El proceso investigativo se estructuró a partir de los cuatro objetivos específicos del estudio, recopilando y analizando información de fuentes académicas, técnicas, institucionales y doctrinarias. La consulta se realizó principalmente en bases de datos científicas como Scopus, ScienceDirect, Springer, Taylor & Francis, Oxford Academic, ProQuest, AMS, EGU y Google Scholar. Además, se revisaron documentos oficiales de organismos y agencias líderes en espacio y seguridad internacional, incluyendo la OTAN, ONU, NASA, ESA, ISES y el Departamento de Defensa de EE. UU., garantizando una perspectiva comprensiva y actualizada.

Para el primer objetivo se realizó una revisión conceptual y doctrinaria sobre el poder espacial, abarcando su evolución, definiciones, fundamentos teóricos y apropiación por parte de los Estados. Se incluyeron doctrinas militares como la *Joint Publication 3-14: Space Operations* (DoD, 2020), estudios académicos sobre proyección de poder espacial y documentos de política espacial de diversas naciones. En el segundo objetivo se identificaron y clasificaron las amenazas espaciales actuales, diferenciando fenómenos naturales, como el clima espacial, y amenazas antropogénicas, incluyendo desechos orbitales, armas antisatélite, ciberataques e interferencias en señales GNSS. Esta fase apoyó su análisis en literatura científica, reportes de agencias espaciales y estudios de caso. Para el tercer objetivo, se evaluó el impacto de estas amenazas en los intereses vitales de Colombia, considerando su incidencia en soberanía territorial, operatividad militar,

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

infraestructura crítica y gestión de riesgos. Se consultaron estudios sobre dependencia tecnológica y escenarios de disrupción operativa nacional. Finalmente, en el cuarto objetivo, se sistematizaron propuestas estratégicas para mitigar amenazas espaciales, basadas en análisis comparados de políticas, doctrinas y experiencias internacionales. Se identificaron líneas de acción prioritarias para Colombia, como formular una doctrina nacional de poder espacial, fortalecer capacidades institucionales y promover cooperación internacional en vigilancia y resiliencia espacial.

Se utilizó una matriz temática de revisión documental, siguiendo a Hernández Sampieri et al. (2014), quien plantea que estos esquemas permiten organizar y comparar aportes de distintas fuentes. La matriz integró hallazgos sobre poder espacial, amenazas, impacto en la seguridad nacional y estrategias de mitigación, garantizando trazabilidad y coherencia en el análisis conforme a los objetivos de investigación.

El poder espacial: fundamentos conceptuales, teóricos y doctrinarios para Colombia

El poder espacial constituye hoy un pilar fundamental en la configuración del poder nacional y la seguridad internacional. Su estudio exige comprender las bases conceptuales, la evolución histórica y los marcos doctrinarios y jurídicos que lo sustentan. Este capítulo examina dichos fundamentos y su proyección en el caso colombiano, donde el espacio emerge como un factor estratégico para la defensa y el desarrollo.

Definición conceptual del poder espacial

El poder espacial se refiere a la capacidad de un actor, estatal o no estatal, para emplear el entorno espacial con el fin de alcanzar objetivos estratégicos, en articulación con los instrumentos del poder nacional (Klein, 2004; Álvarez, Barón & Monroy, 2018). Implica la utilización sostenida de capacidades en y desde el espacio exterior para fines diplomáticos, militares, científicos, tecnológicos y económicos. A diferencia de su origen como extensión del poder aéreo, el poder espacial se reconoce hoy como un componente autónomo del poder nacional, con implicaciones transversales para la seguridad y el desarrollo (Elefteriu, 2024; United States Space Force, 2020). Así, constituye un subconjunto clave del poder nacional, al consolidar la “fuerza total de las capacidades de una nación” en el dominio espacial (Pons Alcoy, 2021).

Evolución histórica y contexto geopolítico del poder espacial

El poder espacial se consolidó durante la Guerra Fría, a partir del lanzamiento del Sputnik en 1957, que marcó el inicio de la carrera espacial entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Los satélites se convirtieron en herramientas clave para el reconocimiento, la comunicación estratégica y la disuasión nuclear (Johnson-Freese, 2017). En 1967, el Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre estableció normas básicas para evitar la apropiación nacional y promover usos pacíficos del

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

espacio (United Nations, 1967). Con el fin de la bipolaridad, el escenario espacial se volvió multipolar y comercial. Emergieron potencias como China, India y la Unión Europea, al tiempo que proliferaron actores privados.

Actualmente, orbitan más de 9.000 satélites, la mayoría de los Estados Unidos, lo cual evidencia su primacía tecnológica (Sanderson Moreno, 2023). China ha demostrado ambiciones crecientes con misiones lunares, estaciones espaciales y capacidades antisatélite, mientras busca rivalizar estratégicamente con Occidente (Elefteriu, 2024). El espacio se ha transformado en un entorno “congestionado, competitivo y contestado”, esencial para la operación de sectores críticos como transporte, telecomunicaciones, energía y defensa (Elefteriu, 2024, p. 5).

Marcos doctrinarios internacionales del poder espacial

Las doctrinas espaciales reflejan la creciente militarización del espacio. Estados Unidos declaró al espacio como dominio militar en igualdad con los dominios tradicionales y creó la Fuerza Espacial en 2019, cuya doctrina define el poder espacial como la capacidad de “ejercer influencia en, desde o a través del espacio” (United States Space Force, 2020). Esta visión resalta la necesidad de proteger activos orbitales y mantener la superioridad espacial (Department of Defense, 2020).

La OTAN, desde 2019, considera el espacio su quinto dominio operativo. Aunque no posee satélites propios, depende de los Estados miembros para funciones críticas. Su Política Espacial (2022) establece líneas de acción para mejorar la resiliencia ante amenazas espaciales, coordinadas desde el Centro Espacial de Ramstein (Pons Alcoy, 2021; Joint Air Power Competence Centre, 2021).

China, en su doctrina de “guerra informatizada”, ha integrado el componente espacial dentro de sus fuerzas estratégicas, desarrollando capacidades ASAT y medios de interferencia satelital, como parte de una estrategia para contrarrestar la ventaja estadounidense hacia 2030 (Elefteriu, 2024). Rusia también mantiene capacidades orbitales y doctrinas ofensivas, pese a

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

limitaciones presupuestales (Sanderson Moreno, 2023). India, por su parte, busca consolidarse como potencia regional, con capacidades ASAT y programas civiles de observación y navegación. Europa mantiene un enfoque principalmente civil-comercial, aunque con importantes programas como Galileo y Copernicus. Sin embargo, carece de una doctrina de defensa espacial unificada (Elefteriu, 2024). En conjunto, las doctrinas revelan que el espacio ha dejado de ser un ámbito neutro, convirtiéndose en escenario de competencia geopolítica y planeamiento militar.

Marco jurídico y de gobernanza del espacio

El derecho espacial internacional se sustenta en el Tratado del Espacio de 1967, que establece la exploración libre y pacífica del espacio, prohíbe la apropiación nacional y exige responsabilidad estatal sobre las actividades espaciales (United Nations, 1967). Se complementa con otros convenios sobre rescate de astronautas, responsabilidad por daños y registro de objetos lanzados al espacio.

Sin embargo, el régimen enfrenta desafíos. No prohíbe expresamente armas convencionales en órbita ni regula el uso de misiles antisatélite (Johnson-Freese, 2017). La actividad comercial, la proliferación de satélites y la amenaza de basura espacial han generado nuevas preocupaciones de gobernanza. La ONU ha impulsado las Directrices para la Sostenibilidad a Largo Plazo del Espacio (2019), aunque no son vinculantes. Asimismo, propuestas como el Tratado PAROS para evitar la carrera armamentista en el espacio han fracasado por falta de consenso (Sanderson Moreno, 2023).

Iniciativas recientes como los Artemis Accords buscan fomentar la cooperación comercial en exploración lunar. Para países en desarrollo, es crucial adherir al régimen vigente y participar activamente en su evolución. Colombia, por ejemplo, firmó la Declaración de Bogotá de 1976, reclamando derechos sobre la órbita geostacionaria, aunque esta no fue aceptada internacionalmente. Pese a su creciente actividad espacial, Colombia el 2021 ha ratificado el

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Tratado del Espacio de 1967 (Comisión Colombiana del Espacio, 2011).

Poder espacial en el contexto colombiano

Para el Estado colombiano, que apenas inicia su trayectoria como actor espacial, el poder espacial es un concepto emergente, cada vez más relevante en términos de seguridad y desarrollo. Tradicionalmente, Colombia no contó con un programa espacial propio y ha dependido de servicios satelitales extranjeros para cubrir necesidades en comunicaciones, navegación y observación terrestre (Gaetano et al., 2013). Esta dependencia constituye una vulnerabilidad estratégica, la falta de control sobre estos activos expone al país a riesgos ante conflictos internacionales o fenómenos espaciales adversos. Por ejemplo, una interrupción temporal del GPS o de enlaces satelitales podría afectar operaciones militares, telecomunicaciones, tránsito aéreo o sistemas financieros. Además, fenómenos naturales como tormentas solares pueden interferir con satélites y redes eléctricas, afectando la seguridad nacional si no se cuenta con capacidad de alerta y mitigación (Pulkkinen, 2007; Colombia, 2024).

Frente a estos desafíos, Colombia ha empezado a construir capacidades propias. En 2007 se lanzó el Libertad-1, un nanosatélite CubeSat desarrollado por la Universidad Sergio Arboleda. Posteriormente, la Fuerza Aérea Colombiana, hoy Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), asumió un rol protagónico al poner en órbita el FACSAT-1 (2018) y el FACSAT-2 “Chiribiquete” (2023), este último con mejores capacidades ópticas. Aunque aún incipientes, estos avances representan pasos clave en la consolidación de una base tecnológica nacional. La FAC también creó el Centro de Operaciones Espaciales (COE) y un Centro de Alistamiento de Satélites en Bogotá (Prensa FAC, 2024). En 2021, su doctrina fue actualizada para integrar el componente espacial, reconociendo que la seguridad multidimensional incluye ahora la dimensión espacial (Fuerza Aérea Colombiana, 2020). La adopción del nombre “Fuerza Aeroespacial Colombiana”, oficializada en 2023, simboliza esta transformación doctrinal.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

En el ámbito institucional, se creó en 2006 la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), con el fin de coordinar las entidades estatales con intereses espaciales y articular una política nacional. Bajo su orientación se plantearon iniciativas como el proyecto SATCOL y la creación de una agencia espacial (Comisión Colombiana del Espacio, 2011). Sin embargo, ambas fueron limitadas por falta de continuidad política y problemas de financiación (Comisión Colombiana del Espacio, 2014). La institucionalidad espacial quedó fragmentada y los avances se restringieron a esfuerzos aislados, lo que evidencia que el poder espacial requiere un respaldo jurídico y político firme que trascienda gobiernos.

En años recientes, se observan señales positivas. El Estado colombiano ha promovido la participación en proyectos internacionales de monitoreo de clima espacial y conciencia situacional (SSA/SDA). En 2022 firmó un acuerdo con Estados Unidos para el intercambio de datos orbitales, mejorando la capacidad nacional de seguimiento de amenazas como la basura espacial o las colisiones en órbita (Prensa FAC, 2024). Colombia también ha ingresado como observador en comités de la ONU y ha establecido cooperación con agencias como la NASA y la ESA.

A pesar de estos avances, el país carece aún de una doctrina integral de poder espacial. En ese sentido, se propone el diseño de una Estrategia Espacial Nacional que articule tres ejes prioritarios: (1) Desarrollo de capacidades propias, como satélites de observación y telecomunicaciones, infraestructura terrestre y formación de talento humano; (2) Actualización normativa y doctrinal, tanto en legislación nacional como en directrices militares para el uso del espacio en defensa; y (3) Diplomacia espacial y cooperación internacional, mediante alianzas con potencias líderes, participación en organismos multilaterales, y coordinación con proyectos regionales como ALCE (Agencia Latinoamericana y Caribeña del Espacio). Aplicar el concepto de poder espacial en Colombia implica reconocer al espacio como factor estratégico para la seguridad y el desarrollo nacional. Requiere integrarlo en la planificación de defensa, promover

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

inversión sostenida en ciencia y tecnología, y preparar al Estado para responder ante amenazas espaciales, sean naturales o provocadas. Solo mediante una visión de largo plazo que articule lo civil y lo militar, Colombia podrá avanzar hacia la autonomía estratégica en el dominio espacial y proteger eficazmente sus intereses nacionales en el siglo XXI.

Amenazas espaciales globales y su relevancia para el entorno estratégico

colombiano

El espacio ultraterrestre se ha convertido en un entorno estratégico cuya vulnerabilidad impacta directamente la seguridad global y nacional. Las amenazas, tanto naturales como antropogénicas, afectan infraestructuras críticas y redefinen doctrinas militares y de defensa. Este capítulo examina dichos riesgos y sus implicaciones en el entorno estratégico colombiano, donde la dependencia creciente de servicios espaciales exige resiliencia y cooperación internacional.

Amenazas espaciales naturales

El espacio ultraterrestre expone a la Tierra a fenómenos naturales de alto impacto, siendo el clima espacial uno de los riesgos emergentes más relevantes (Knipp et al., 2016; WHOSTP, 2023). Tormentas solares, eyecciones de masa coronal y tormentas geomagnéticas pueden generar corrientes geomagnéticamente inducidas (GIC) que afectan satélites, sistemas GNSS, transformadores y la salud de astronautas (Knipp et al., 2016; CISA, s.f.). Eventos como la tormenta solar de 1967 evidenciaron la vulnerabilidad operativa, al interferir sistemas militares críticos, resaltando la necesidad de vigilancia y alerta temprana ante posibles afectaciones a redes eléctricas, comunicaciones y sistemas financieros (WHOSTP, 2023).

Amenazas espaciales de origen antropogénico

Además de los riesgos naturales, el entorno espacial enfrenta crecientes amenazas por actividades militares y civiles, que comprometen infraestructuras críticas y la estabilidad global. Destacan la congestión orbital, basura espacial, colisiones, armas antisatélite (ASAT), ciberataques, e interferencias electromagnéticas intencionadas como Jamming y Spoofing.

La basura espacial y las colisiones orbitales representan un riesgo creciente para los satélites activos. Décadas de actividad han generado millones de fragmentos en órbita,

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

evidenciados por el choque entre Iridium 33 y Cosmos-2251, que confirmó el “Síndrome de Kessler” y el peligro de cascadas de escombros en órbita baja (Mariappan & Crassidis, 2023). Fragmentos milimétricos, a velocidades de hasta 15 km/s, pueden causar daños severos, y la expansión de mega-constelaciones comerciales incrementa el riesgo de colisiones en cadena que afectarían servicios civiles y militares esenciales.

Las armas antisatélite (ASAT) y la militarización del espacio son una amenaza creciente impulsada por potencias como China, India, Rusia y Estados Unidos. La prueba china de 2007 y la Misión Shakti de India en 2019 generaron miles de fragmentos orbitales (Mariappan & Crassidis, 2023), evidenciando el riesgo para infraestructuras críticas y el aumento de desechos espaciales. Pese a las advertencias internacionales, la falta de un marco jurídico vinculante permite que la carrera armamentista continúe, con amenazas ASAT de Rusia y China hacia aliados de Estados Unidos (Fiore, 2023).

Los ciberataques a sistemas espaciales son una amenaza creciente. El ataque de 2022 a la red KA-SAT de Viasat afectó miles de módems y comunicaciones civiles y militares en Europa y Ucrania (Kazi et al., 2025), demostrando que malware como AcidRain puede tener efectos comparables a un ataque cinético. También se han reportado hackeos y ransomware contra operadores espaciales (Peeters, 2022). La dependencia tecnológica y la baja protección aumentan el riesgo de control o manipulación de satélites (Deloitte, 2024; Barbeschi & Rohland, 2025), consolidando la ciberseguridad espacial como pilar de la seguridad nacional.

Las interferencias electromagnéticas intencionales, como jamming y spoofing, amenazan cada vez más las señales satelitales. En 2025, la ONU alertó sobre el aumento de interferencias que afectan la radionavegación satelital, vital para la seguridad aérea y marítima (ITU, 2025). Casos en Europa del Este, Medio Oriente y acciones de Corea del Norte y Rusia evidencian su impacto; en 2024, más de 310.000 vuelos civiles resultaron afectados, subrayando la necesidad de

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

reforzar medidas legales y técnicas para mitigar estas amenazas.

Impacto estratégico y doctrinario de las amenazas espaciales

Las amenazas espaciales han provocado un cambio doctrinario profundo en la seguridad nacional y la defensa estatal. El espacio, antes considerado un ámbito pacífico para la ciencia y aplicaciones civiles, es ahora reconocido como un dominio operativo al igual que el terrestre, marítimo, aéreo y cibernético. Las naciones adaptan sus estrategias para proteger activos espaciales y desarrollar capacidades de disuasión y respuesta.

Estados Unidos definió el espacio como un “ámbito de combate”, creando en 2019 la Fuerza Espacial (US Space Force) y el Comando Espacial (USSPACECOM). Su doctrina enfatiza la disuasión basada en resiliencia, con constelaciones distribuidas, satélites escolta, defensa activa, capacidad ofensiva limitada y alianzas internacionales para vigilancia y coordinación (Fiore, 2023). China y Rusia, por su parte, incorporan doctrinas asimétricas que incluyen armas antisatélite, guerra electrónica y ciberataques para neutralizar la superioridad tecnológica occidental, aunque apoyan tratados para evitar la carrera armamentista (Fiore, 2023).

Desde 2019, la OTAN declara al espacio como ámbito operacional, activando una cláusula de defensa colectiva en caso de ataques espaciales (Jacobson, 2025). Ha establecido un Centro de Operaciones Espaciales y programas para compartir datos satelitales, reconociendo la importancia estratégica del sector comercial, evidenciada en el uso de servicios como Starlink en Ucrania (Jacobson, 2025).

La seguridad espacial integral combina conciencia situacional, normas responsables, continuidad operacional y cooperación internacional. El reto es equilibrar la protección militar con la prevención de escaladas que comprometan el uso sostenible del espacio. Predomina la disuasión “por negación”, pero la seguridad nacional del siglo XXI depende ineludiblemente del dominio espacial.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Casos internacionales y regionales: respuestas a las amenazas espaciales

Dada la naturaleza global del dominio espacial, diversas naciones y regiones enfrentan las amenazas espaciales con estrategias adaptadas a sus capacidades y realidades, configurando un entorno estratégico relevante para Colombia.

Estados Unidos lidera la presencia y dependencia espacial, guiado por el United States Space Priorities Framework (2021). A través de la Fuerza y el Comando Espacial, invierte en sistemas de vigilancia como Space Fence y SBSS, y en 2022 impulsó una moratoria sobre pruebas ASAT para reducir desechos orbitales. Además, desarrolla tecnologías de respuesta rápida y satélites de respaldo, fortaleciendo la cooperación con aliados bajo una estrategia que combina diplomacia, disuasión y resiliencia, en el marco del derecho a la autodefensa espacial (Fiore, 2023).

China ha consolidado un programa espacial robusto con fines civiles y militares, reforzando capacidades de negación de acceso y área denegada (A2/AD) en órbita baja. Sus arsenales incluyen misiles ASAT, láseres cegadores y satélites maniobrables (serie Shijian), mientras que la constelación BeiDou garantiza autonomía en navegación militar, complementada con satélites de comunicaciones seguras. Su doctrina de “defensa activa” combina diplomacia y desarrollo militar espacial acelerado, buscando desafiar la supremacía estadounidense (Fiore, 2023).

Rusia, con recursos más limitados, mantiene una sólida tradición espacial, demostrando capacidades ASAT y guerra electrónica mediante interferencias GNSS y de comunicaciones en Siria y Ucrania. Satélites inspectores como Cosmos 2542 y 2543 han realizado maniobras cercanas a satélites estadounidenses, evidenciando operaciones de espionaje o ataque co-orbital. Busca autonomía con GLONASS y cooperación con China, aunque enfrenta desafíos tecnológicos. Doctrinalmente, Rusia considera el espacio un frente de batalla legítimo y prioriza medidas técnico-militares en respuesta estratégica.

Europa, aliada dentro de la OTAN, impulsa su autonomía estratégica mediante la Brújula

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Estratégica y una militarización progresiva. Francia lidera con su Comando del Espacio y una estrategia de defensa que contempla acciones activas, mientras la Agencia Espacial Europea apoya la vigilancia espacial. La Unión Europea promueve normas responsables en foros internacionales y adapta su postura a amenazas híbridas con ejercicios de resiliencia.

En América Latina, aunque la capacidad militar espacial es incipiente, crece la conciencia y cooperación regional vía la Agencia Latinoamericana y Caribeña del Espacio (ALCE) y participación en ejercicios multilaterales. Brasil y Argentina destacan por su desarrollo espacial y militar emergente.

Colombia, miembro de la UNOOSA y con la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), ha avanzado en telecomunicaciones, navegación y observación mediante satélites propios y servicios comerciales. La Fuerza Aeroespacial Colombiana integra el componente espacial en su estrategia 2042, fortaleciendo defensa y cooperación internacional. Aunque no enfrenta amenazas militares directas, su dependencia tecnológica y vulnerabilidad ante fenómenos como el clima espacial exigen reforzar la vigilancia, diversificar fuentes y participar activamente en normativas internacionales. Este panorama reafirma que la seguridad espacial es un desafío global que requiere estrategias nacionales sólidas y cooperación multilateral para garantizar un entorno espacial seguro y estable.

Implicaciones técnicas: vulnerabilidad de infraestructuras críticas

Las amenazas espaciales afectan directamente las infraestructuras críticas por su dependencia de servicios satelitales. Aunque gran parte del tráfico mundial usa fibra óptica, los satélites son esenciales para comunicaciones militares, zonas remotas y respaldo de redes. El ciberataque a Viasat en 2022 demostró el impacto simultáneo en usuarios civiles y militares (Kazi et al., 2025). En Colombia, la dependencia de enlaces satelitales en regiones rurales y la sincronización GPS en sistemas financieros evidencian la vulnerabilidad ante interferencias o spoofing, que podrían

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

comprometer operaciones estratégicas y servicios esenciales.

En navegación y transporte, los sistemas GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) sostienen la aviación, navegación marítima, logística terrestre y la seguridad pública. Su interrupción por clima espacial o Jamming podría desencadenar caos: desvíos o cancelaciones masivas de vuelos, colisiones marítimas, congestión en transporte y retrasos en emergencias. Miles de interferencias GNSS se han documentado en zonas de conflicto (Pultarova, 2025), resaltando la criticidad multisectorial de estas señales (ITU, 2025).

El sector energético es vulnerable a tormentas geomagnéticas que inducen corrientes dañinas para transformadores, provocando apagones como el de Quebec en 1989. Sistemas renovables dependen de enlaces satelitales seguros para su control (SCADA); la desconexión causada por el ataque a VIASAT afectó la vigilancia de turbinas eólicas en Alemania (Kazi et al., 2025). Además, las redes eléctricas requieren sincronización GPS para estabilidad operativa, y desajustes pueden causar fallas graves. Esto subraya la interrelación crítica entre seguridad espacial y energética nacional.

En defensa y seguridad, satélites sustentan sistemas C4ISR, inteligencia, vigilancia y mando y control, ataques ASAT, cibernéticos o electrónicos podrían “cegar” y “ensordecer” a las Fuerzas Armadas, afectando la guerra en red. La defensa antimisiles depende de sensores orbitales, cuya neutralización crearía vulnerabilidades estratégicas. También las fuerzas de seguridad interior utilizan GPS y comunicaciones satelitales, evidenciando que un fallo espacial generalizado impactaría toda la cadena de seguridad estatal.

Sectores financieros, telecomunicaciones y otros sistemas críticos dependen de señales satelitales para sincronización temporal, mientras que los satélites meteorológicos son vitales para alertas tempranas. Agricultura, logística y monitoreo ambiental reflejan igualmente esta dependencia. Por ello, se requiere fortalecer la resiliencia mediante respaldos terrestres, protección

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

ante ciberataques y radiación, y planes de contingencia. Organismos como la OTAN y la Unión

Europea recomiendan identificar vulnerabilidades y garantizar la continuidad de infraestructuras críticas (ITU, 2025).

Afectaciones a los intereses nacionales: implicaciones de las amenazas espaciales en la seguridad y defensa del Estado

Las amenazas espaciales comprometen directamente los intereses vitales de Colombia, desde la soberanía y la defensa hasta el desarrollo socioeconómico y tecnológico. La creciente dependencia de servicios satelitales expone al Estado a vulnerabilidades que afectan la seguridad multidimensional y la resiliencia nacional. Este capítulo analiza cómo dichas amenazas impactan infraestructuras críticas y capacidades estratégicas, resaltando la necesidad de integrar el componente espacial en la doctrina de seguridad y defensa del país.

Intereses nacionales afectados por amenazas espaciales

Los intereses nacionales de Colombia, soberanía, seguridad, desarrollo y protección de infraestructuras críticas, pueden verse comprometidos por amenazas espaciales. La pérdida de satélites de observación o comunicaciones afectaría la vigilancia y el control fronterizo, mientras que la defensa depende de servicios espaciales para comunicaciones, navegación e inteligencia. Además, los sistemas GNSS son vitales para transporte, finanzas y energía, cuya falla tendría efectos desestabilizadores. La gestión de desastres y la respuesta humanitaria también requieren servicios satelitales confiables (Steer, 2025).

Amenazas espaciales y su impacto en capacidades críticas

Los fenómenos de clima espacial amenazan la infraestructura tecnológica y la seguridad de los Estados al afectar satélites y redes eléctricas. Fulguraciones, eyecciones de masa coronal y tormentas geomagnéticas pueden dañar componentes electrónicos e interrumpir comunicaciones, afectando especialmente a países como Colombia, dependientes de estos servicios (Eastwood et al., 2017). Eventos severos, como el apagón de Quebec en 1989, evidencian su impacto, lo que exige fortalecer la resiliencia tecnológica con blindaje electromagnético, redundancia y planes de

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

contingencia.

Por otra parte, la acumulación de residuos orbitales plantea un desafío inmediato que amenaza la sostenibilidad del acceso al espacio. Con millones de fragmentos en órbita, incluidos unos 27,000 monitoreados continuamente, el riesgo de colisiones capaces de inutilizar satélites esenciales y desencadenar el síndrome de Kessler es significativo, limitando la autonomía tecnológica de Colombia e impulsando la necesidad de una gobernanza internacional efectiva basada en tratados de mitigación y tecnologías de remoción activa, en las que Colombia debe participar activamente (Imburgia, 2011).

Los ciberataques espaciales se han convertido en amenazas serias, como lo evidenció el incidente con la red VIASAT en 2022, que interrumpió operaciones militares y servicios críticos en Europa y Ucrania (Waterman, 2024). Este contexto exige el fortalecimiento de la ciberseguridad satelital con cifrado avanzado, autenticación robusta y arquitecturas de confianza cero para mitigar riesgos de control remoto hostil.

La militarización y proliferación de armas antisatélite (ASAT) por potencias espaciales agravan el entorno orbital, generando escombros peligrosos y promoviendo una carrera armamentista que incrementa la inestabilidad (Imburgia, 2011; Ministère des Armées, 2019). Colombia debe fortalecer su conciencia situacional espacial y apoyar iniciativas diplomáticas que promuevan la paz y seguridad en el espacio exterior.

Las interferencias deliberadas a los sistemas GNSS impactan directamente la aviación, la infraestructura eléctrica y la operatividad militar (ITU, 2025; Steer, 2025). Colombia debe priorizar la diversificación de métodos de navegación, la resiliencia tecnológica y la cooperación internacional, asegurando la continuidad y seguridad de los servicios estratégicos satelitales.

Implicaciones para la seguridad multidimensional de Colombia

Considerando las amenazas espaciales descritas, las implicaciones para la seguridad nacional de

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Colombia abarcan diversas dimensiones, reflejando un enfoque multidimensional que integra defensa militar, seguridad pública, económica y ciberseguridad.

En la dimensión militar, la dependencia de activos espaciales es crítica para el mando, control, comunicaciones, navegación y vigilancia. La pérdida o degradación de estos servicios afectaría operaciones en zonas remotas, marítimas y selvas, dejando a las fuerzas armadas “sordas, ciegas y mudas” ante un adversario. Por ello, es esencial contemplar escenarios de espacio degradado, fomentando entrenamiento y equipamiento alternativo, como brújulas y comunicaciones por HF, para garantizar la continuidad operativa.

En cuanto a la seguridad pública e infraestructura crítica, una falla prolongada de sistemas espaciales impactaría a la Policía, servicios de emergencia y telecomunicaciones gubernamentales, pudiendo generar caos social y desinformación. Además, sistemas de monitoreo remoto, como oleoductos y redes eléctricas, estarían en riesgo, lo que incrementa la vulnerabilidad industrial y ambiental. Incluso amenazas naturales, como el clima espacial, pueden desencadenar emergencias civiles donde las Fuerzas Armadas deben apoyar la defensa civil, siendo necesario integrar protocolos específicos en planes de protección.

Respecto a la inteligencia y vigilancia territorial, Colombia requiere de capacidades satelitales (imágenes ópticas, radar, comunicaciones cifradas) para detectar actividades ilegales en su extenso y diverso territorio. La disminución o pérdida de estas capacidades crearía lagunas operativas y comprometería la seguridad. Mantener estos “ojos y oídos en el cielo” es tan esencial como la protección física de fronteras y cuarteles.

Finalmente, en la dimensión económica y tecnológica, el espacio es fundamental para telecomunicaciones, pronósticos meteorológicos, seguimiento ambiental y sincronización financiera. Un evento espacial adverso interrumpiría la economía, afectaría la logística y la seguridad alimentaria. Además, para desarrollar una industria aeroespacial competitiva, Colombia

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

necesita un entorno espacial estable. Conflictos o accidentes orbitales que limiten el acceso moderno al espacio afectarían el desarrollo científico, tecnológico y la autonomía nacional a largo plazo.

Riesgos de la dependencia de activos y servicios espaciales extranjeros

Colombia, como otras naciones sin potencias espaciales propias, depende de sistemas gestionados por países o empresas extranjeras. Aunque esta dependencia permite acceder a servicios esenciales como GPS, imágenes satelitales y comunicaciones globales, también implica riesgos estratégicos. En crisis internacionales, los proveedores podrían restringir el acceso o degradar señales críticas, como el GPS, afectando la seguridad y la gestión nacional (Steer, 2025). Esta vulnerabilidad evidencia los límites de depender exclusivamente de activos externos.

Además, la dependencia podría ser explotada políticamente: la suspensión de servicios satelitales, tales como imágenes de alta resolución o comunicaciones militares, puede convertirse en un instrumento de presión diplomática. La falta de autonomía espacial debilita la posición internacional de Colombia, a diferencia de países como Israel o Brasil, que han desarrollado satélites propios para reforzar su soberanía (Steer, 2025). La cobertura y priorización de infraestructuras foráneas puede no alinearse con las necesidades nacionales, generando vacíos en vigilancia o respuestas lentas ante amenazas locales (Steer, 2025).

A esto se suma la incapacidad de proteger o restaurar servicios en caso de ciberataques o daños físicos a satélites foráneos, comprometiendo la soberanía operacional y obligando a confiar en la gestión de terceros. Por lo tanto, es imperativo mitigar estos riesgos mediante el desarrollo de capacidades nacionales modestas como la serie FACSAT, la diversificación de proveedores y sistemas GNSS, la formalización de acuerdos internacionales de acceso prioritario en emergencias y el fortalecimiento de respaldos terrestres. Reconocer esta dualidad y adoptar estrategias de gestión de la dependencia fortalecerá la seguridad nacional y la resiliencia frente a escenarios

Integración del componente espacial en la doctrina de seguridad nacional

Ante la creciente relevancia estratégica del espacio, muchos países lo han incorporado en sus doctrinas de seguridad. Colombia se encuentra en un punto clave para integrar este dominio como componente operativo junto a los ámbitos terrestre, marítimo, aéreo y cibernético. Esto requiere desarrollar conceptos, formación y estructuras para proteger activos espaciales propios y aliados (NATO, 2020). Aunque no posee satélites militares mayores, la gestión de nanosatélites FACSAT y la dependencia tecnológica exigen tácticas y procesos adaptados.

La seguridad nacional, entendida de forma multidimensional, debe integrar el espacio en inteligencia, protección de infraestructuras y ciberdefensa. La transformación de la Fuerza Aérea en Fuerza Aeroespacial (Ley 2302 de 2023) y la creación de una Agencia Nacional de Seguridad Digital y Asuntos Espaciales reflejan este avance (Rincón et al., 2024; Suárez Bernal, 2023). Es esencial formar capital humano especializado y fortalecer la cooperación internacional e intercambio de información espacial, alineándose con estándares globales (Ministère des Armées, 2019) para anticipar y mitigar amenazas estratégicas.

Ejemplos de buenas prácticas y marcos doctrinarios de otros Estados

Varios países han desarrollado estrategias y doctrinas integrales para enfrentar las amenazas espaciales y proteger sus intereses nacionales, proporcionando valiosas lecciones para Colombia en la formulación de su respuesta estratégica.

Estados Unidos ha institucionalizado la defensa espacial, creando en 2019 la Fuerza Espacial (US Space Force) y el Comando Espacial, apoyados por una estrategia centrada en construir una ventaja militar integral en el espacio (U.S. DoD, 2020). La inversión en satélites resilientes, redundancias y capacidades ofensivas, junto con la colaboración estrecha con el sector comercial, destaca como una buena práctica para garantizar la seguridad espacial.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Francia, líder europeo en seguridad espacial, publicó en 2019 su Estrategia de Defensa Espacial, que enfatiza fortalecer capacidades militares, mejorar la conciencia situacional y desarrollar defensa activa para proteger satélites, incluyendo contramedidas proporcionales según el derecho de legítima defensa (Ministère des Armées, 2019). Su combinación de transparencia diplomática y firmeza militar ofrece un modelo equilibrado entre paz y preparación bélica.

Otros países europeos y de la OTAN, como Alemania, Reino Unido, Italia y España, han creado comandos espaciales y doctrinas conjuntas. La OTAN estableció un Centro Espacial en Alemania y reconoce que ataques al espacio pueden activar el Artículo 5, subrayando la importancia de la cooperación multilateral para enfrentar desafíos comunes (NATO, 2020).

Rusia y China integran el espacio como un terreno crítico para la negación de acceso y superioridad estratégica mediante armas antisatélite y Jamming.

Estos enfoques refuerzan la necesidad de que Colombia considere el espacio como un frente de posible conflicto, incluso como actor indirecto. A nivel global, iniciativas diplomáticas como la resolución de la ONU de 2022 promueven normas responsables y transparencia para reducir amenazas. La coalición Combined Space Operations (CSpO) ejemplifica la eficacia de la cooperación entre naciones avanzadas en seguridad espacial. Aunque Colombia no forma parte aún de estos grupos, puede fortalecer su seguridad mediante alianzas bilaterales con países como Brasil y EE. UU., facilitando el intercambio de datos y fortaleciendo su conciencia situacional espacial.

Recomendaciones estratégicas para fortalecer el poder espacial colombiano frente a amenazas del entorno espacial

Las recomendaciones se basan en la revisión documental sistemática y el análisis de doctrinas y políticas espaciales internacionales. Siguiendo a Hernández Sampieri (2014), integran fundamentos teóricos, evidencia empírica y proyecciones estratégicas para fortalecer el poder espacial colombiano frente a las amenazas del entorno. Ante el creciente panorama de riesgos, se propone un conjunto de acciones doctrinales, técnicas y normativas que consoliden una capacidad espacial nacional dual (civil-militar), resiliente y proactiva.

Implementar un sistema nacional de conciencia situacional espacial/Conocimiento del Dominio Espacial (SSA/SDA)

Construir capacidades nacionales en Space Situational Awareness (SSA) / Space Domain Awareness (SDA) es prioritario para identificar, rastrear y catalogar objetos orbitales (satélites, fragmentos, desechos) y monitorear amenazas en tiempo real. La implementación de esta capacidad implica:

- Inversión en sensores de vigilancia espacial, radares de seguimiento orbital y telescopios ópticos instalados en territorio colombiano, adaptados a las necesidades geográficas y a las rutas habituales de satélites y basura espacial.
- Acceso y compartición de datos de redes internacionales de seguimiento (como la U.S. Space Surveillance Network o la Space Data Association), bien sea por acuerdos bilaterales o asociaciones multilaterales.
- Despliegue de centros de procesamiento y análisis que integren alertas de clima espacial, informes sobre “conjunctions” (aproximaciones riesgosas entre objetos) y posibles actividades hostiles.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Desarrollo de capacidades de alerta temprana para tormentas solares y eventos de clima espacial, permitiendo preparativos en tierra o maniobras evasivas orbitales.

Estas acciones fortalecerán la capacidad de Colombia para proteger activos propios, anticipar riesgos y contribuir a la reducción de la “niebla de guerra” orbital, en línea con mejores prácticas internacionales (NATO, 2020; U.S. Space Force, 2020).

Aumentar la resiliencia de infraestructuras y servicios espaciales

La resiliencia tecnológica es esencial para asegurar la continuidad de servicios fundamentales ante amenazas naturales o antropogénicas. Las líneas de acción recomendadas incluyen:

- Diversificación tecnológica, promover el uso de receptores multi-constelación (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) en defensa, transporte y servicios críticos, reduciendo la vulnerabilidad ante la inhabilitación de un sistema individual (Steer, 2025).
- Implementación de sistemas redundantes, incorporar métodos alternativos de navegación (navegación inercial, radiofaros) y fortalecer las infraestructuras terrestres y espaciales con métodos de respaldo eléctricos y protección ante pulsos electromagnéticos.
- Robustecer la ciberseguridad, proteger centros de control y estaciones terrenas con sistemas de cifrado, autenticación multifactor y segmentación de redes, emplear tecnologías Anti-Jamming y Anti-Spoofing en comunicaciones y GNSS.
- Modularidad y arquitectura distribuida, migrar a constelaciones de pequeños satélites interoperables en vez de contar solo con satélites individuales grandes, lo que ofrece mayor tolerancia ante fallos o ataques (Barbeschi & Rohland, 2025).
- Estrategia de continuidad operativa, prever la adquisición, lanzamiento y operación rápida de satélites de reemplazo, además del recurso a soluciones comerciales temporales como imágenes de proveedores globales.

Toda nueva infraestructura espacial debe diseñarse para seguir funcionando durante situaciones de

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

crisis, reduciendo al máximo las posibles vulnerabilidades que puedan ser aprovechadas por actores hostiles o por efectos del clima espacial (Eastwood et al., 2017).

Fomentar autonomía tecnológica y desarrollo de capacidades espaciales duales

Reducir la dependencia de sistemas espaciales extranjeros es vital. Para ello se recomienda:

- Consolidar la Agencia Espacial Colombiana, otorgándole autonomía legal, mandato claro y recursos suficientes para liderar programas espaciales sustentables a largo plazo (León & Mogollón, 2022).
- Impulsar el despliegue de satélites nacionales de observación y de comunicaciones duales, con utilidad civil y militar, priorizando aplicaciones para vigilancia ambiental, fronteriza, gestión de desastres y telecomunicaciones seguras.
- Generar y retener talento humano, fortalecer la formación en ingeniería espacial, ciencias aeroespaciales, derecho espacial y ciberseguridad en alianza con universidades, sector defensa y socios internacionales.
- Incentivar la industria local: promover la transferencia tecnológica con partners extranjeros y el desarrollo de subcomponentes nacionales para futuros sistemas orbitales (Silva Rueda et al., 2021).

Disponer de capacidades espaciales autónomas aumenta la soberanía tecnológica, el peso geopolítico y la libertad de acción en crisis, disminuyendo los riesgos de desconexión forzada por terceros.

Fomentar autonomía tecnológica y desarrollo de capacidades espaciales duales

La doctrina nacional debe evolucionar para reconocer el espacio como dominio operativo de la defensa multidimensional. Se recomienda:

- Integrar la dimensión espacial en los documentos estratégicos, planes de defensa y entrenamiento militar. La Fuerza Aeroespacial Colombiana debe liderar la actualización

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

doctrinal incluyendo Space Power y Space Weather como factores clave (Álvarez & Correcha, 2022).

- Crear una unidad o comando espacial dedicado dentro de las Fuerzas Militares, responsable de operar activos nacionales, coordinar la vigilancia y articular respuestas integradas en ciberespacio y espacio ultraterrestre.
- Incorporar medidas activas de resiliencia en satélites, como capacidad de maniobra evasiva, resistencia a interferencia y protocolos automáticos ante ciberataques.
- Realizar ejercicios y simulaciones, entrenar a fuerzas militares y civiles en respuesta a la degradación o pérdida de servicios GNSS, comunicaciones o imágenes satelitales, para construir capacidad de reacción ágil ante incidentes orbitales o de clima espacial.

Una postura clara de defensa activa y disuasión, alineada con la tradición de uso pacífico del espacio, ayuda a mitigar amenazas y evita sorpresas estratégicas.

Potenciar la cooperación internacional y regional

Debido a la naturaleza global del dominio espacial, la cooperación multilateral y bilateral es esencial para maximizar capacidades y reducir vulnerabilidad. Las prioridades son:

- Participar en la Agencia Latinoamericana y Caribeña del Espacio (ALCE) y proyectos conjuntos de vigilancia orbital y gestión de desastres, impulsando la integración de soluciones regionales.
- Fortalecer la colaboración con potencias espaciales y agencias internacionales (NASA, ESA, U.S. Space Force, etc.), mediante acuerdos de intercambio de información, alertamiento temprano y protocolos conjuntos de respuesta ante crisis.
- Integrarse a redes globales de alerta temprana sobre clima espacial, conjunciones peligrosas y amenazas cibernéticas contra activos satelitales.
- Asumir liderazgo diplomático para promover la adopción de normas internacionales sobre

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

conductas responsables, limitación de pruebas ASAT destructivas y mitigación de basura espacial en foros como la ONU y COPUOS (Ruiz Pedroza & Gómez, 2022).

Las alianzas permiten acceder a recursos y conocimientos complementarios, y fortalecen la posición de Colombia en la gobernanza espacial global.

Actualizar el marco normativo, institucional y doctrinario en materia espacial

Las reformas legales y doctrinales son necesarias para adecuar el entorno nacional a los retos contemporáneos:

- Promulgar una Ley Espacial Colombiana integral que defina competencias, establecería un régimen para actividades espaciales nacionales, coordine la protección de activos críticos y sancione las interferencias ilícitas que afecten intereses de seguridad y desarrollo (León & Mogollón, 2022).
- Asegurar la continuidad y revisión periódica de la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional y del CONPES 3983, operacionalizando estos lineamientos en planes de acción institucionales e intersectoriales, trascendiendo periodos gubernamentales.
- Actualizar y capacitar permanentemente en doctrina espacial a oficiales militares, operadores civiles y técnicos, integrando contenidos de derecho espacial, geopolítica del espacio y gestión de riesgos de clima espacial en programas educativos y de formación de la seguridad y defensa (ESDEG, 2021).
- Promover cultura de seguridad espacial en operadores de infraestructuras críticas y en la sociedad, aumentando la conciencia sobre cómo responder a amenazas espaciales (Jamming GNSS, apagones satelitales, clima espacial extremo).

El marco normativo-doctrinario actualizado brindará legitimidad y claridad institucional para que Colombia desarrolle, proteja y use el espacio en beneficio de su seguridad, defensa y desarrollo sustentable.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

El fortalecimiento del poder espacial colombiano exige inversiones continuas y coordinadas, alianzas inteligentes, actualización doctrinal y legal, desarrollo de talento, y cooperación internacional permanente. Solo así Colombia podrá mitigar riesgos, garantizar la continuidad de sus servicios esenciales, reducir la vulnerabilidad ante actores hostiles y fenómenos naturales, y posicionarse estratégicamente en el “quinto dominio” de la seguridad global.

Conclusiones

El análisis de esta investigación permitió entender el creciente papel del dominio espacial como eje central de las capacidades estatales modernas. Se identificaron las principales vulnerabilidades y desafíos que enfrenta Colombia en el entorno espacial, junto con las oportunidades para consolidar un poder espacial propio que fortalezca su seguridad y defensa nacional. A continuación, se presentan las conclusiones específicas correspondientes a cada objetivo planteado:

El espacio pasó de ser un ámbito científico a un dominio estratégico esencial para el funcionamiento estatal, con impacto en telecomunicaciones, defensa, agricultura, logística y finanzas. Colombia depende de sistemas satelitales extranjeros, lo que aumenta su vulnerabilidad ante tormentas solares, ciberataques y guerra electrónica. Fortalecer la resiliencia nacional exige respaldos terrestres, protección tecnológica y preparación ante contingencias. Organismos como la OTAN, la Unión Europea y la Unión Internacional de Telecomunicaciones recomiendan identificar vulnerabilidades y planes de contingencia. En este contexto, Colombia debe consolidar un poder espacial propio mediante una doctrina civil-militar que reconozca el espacio como dominio operativo clave para su seguridad y defensa.

Las amenazas de origen humano, como desechos orbitales, armas antisatélite, ciberataques e interferencias, evidencian una competencia estratégica y alta dependencia tecnológica global. El aumento de objetos en órbita ha vuelto el espacio un dominio frágil, donde un solo incidente puede generar cascadas de fragmentos peligrosos. Su estabilidad es vital para infraestructuras críticas como comunicaciones, transporte, energía y defensa. Para Colombia, con dos satélites en órbita, estas amenazas exigen incluir la interrupción espacial en su planificación de seguridad y defensa, fortaleciendo la resiliencia tecnológica, la cooperación internacional y la capacidad autónoma de

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia
vigilancia y respuesta.

Las amenazas espaciales, tanto naturales como antropogénicas, constituyen un desafío estratégico creciente para la seguridad y defensa de Colombia. Estos riesgos impactan directamente intereses vitales de la nación, desde la soberanía territorial y la operatividad de las Fuerzas Armadas, hasta la protección de infraestructuras críticas, la continuidad económica y la gestión de desastres. En un entorno espacial cada vez más disputado y tecnológicamente avanzado, fenómenos como tormentas solares extremas, residuos orbitales, armas antisatélite y ciberataques convierten al espacio en un dominio operativo con consecuencias directas en tierra, interrumpiendo servicios esenciales. Reconocer la alta dependencia tecnológica externa en sistemas de navegación y comunicaciones satelitales, junto con sus vulnerabilidades, es fundamental para establecer acciones estratégicas coordinadas. Colombia ha avanzado con la inclusión del componente espacial en su doctrina de seguridad nacional, la transformación de la Fuerza Aérea en Fuerza Aeroespacial Colombiana, y la propuesta de una Agencia Nacional de Seguridad Digital y Asuntos Espaciales. No obstante, estos pasos deben traducirse en capacidades operativas concretas, normativas claras, asignación presupuestal y formación especializada. La experiencia internacional demuestra que la seguridad espacial requiere enfoques integrales que combinen desarrollo tecnológico, cooperación internacional, actualización doctrinal y educación estratégica. En este marco, Colombia debe definir una hoja de ruta propia para transitar de la vulnerabilidad a la prevención activa, garantizando una participación soberana y resiliente en el espacio ultraterrestre con una visión de largo plazo y compromiso con la estabilidad global.

Fortalecer el poder espacial de Colombia frente a las amenazas del entorno orbital se erige como una necesidad estratégica indispensable para la seguridad y el desarrollo nacional. La complejidad del entorno espacial actual, caracterizado por riesgos naturales, amenazas tecnológicas y crecientes tensiones geopolíticas, exige una estrategia integral y coordinada del

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Estado. Esta debe abarcar el desarrollo autónomo de capacidades tecnológicas, científicas e industriales; la formación de capital humano especializado en ingeniería, ciencias y estrategia espacial; y la protección activa de infraestructuras espaciales y servicios críticos asociados. Asimismo, es fundamental promover una cooperación internacional inteligente que fortalezca los intereses nacionales sin exacerbar dependencias externas. La transformación institucional es clave, actualizando doctrinas militares, marcos normativos y estructuras operativas para integrar plenamente el componente espacial en la planificación estratégica de defensa y seguridad. Solo mediante esta visión articulada y de largo plazo podrá Colombia superar posturas reactivas y dependientes, y asumir un rol soberano y proactivo en el espacio ultraterrestre. Así consolidará su seguridad multidimensional y potenciará su poder nacional en la nueva frontera del siglo XXI, capitalizando oportunidades espaciales para su desarrollo sostenible y seguro.

A partir de los hallazgos obtenidos, se recomienda que futuras líneas de investigación profundicen en el diseño de una estrategia nacional de seguridad y defensa espacial, abordando aspectos técnicos, jurídicos y operativos que aún requieren desarrollo en Colombia. Sería pertinente explorar con mayor detalle la integración entre ciberseguridad y defensa espacial, el impacto del clima espacial sobre infraestructuras críticas, así como los modelos de cooperación regional latinoamericana para vigilancia y respuesta ante amenazas orbitales. Igualmente, resultaría valioso investigar el potencial industrial y académico del país para desarrollar capacidades espaciales duales, fortaleciendo la soberanía tecnológica y la resiliencia estratégica nacional en el dominio espacial.

Referencias

- Álvarez, C., Barón, P., & Monroy, V. (2018). *Poder astuto: Estrategia del empleo del poder en el siglo XXI*. Escuela Superior de Guerra.
- Álvarez Calderón, C. A., & Correcha Ramírez, Y. A. (2022). Poder multidominio: visión estratégica de la Fuerza Aérea Colombiana en el siglo XXI. En F. Baquero Valdés (Ed.), *Poder aéreo, espacial y ciberespacial frente a desafíos y amenazas multidimensionales que afectan al Estado colombiano* (pp. 209-249). Escuela Superior de Guerra – Sello Editorial ESDEG.
- Barbeschi, C., & Rohland, L. (2025, June 3). Why we need to address cyber risks to secure space tech. *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/stories/2025/05/securing-space-why-we-need-to-address-cyber-risks-in-orbit/>
- Comisión Colombiana del Espacio. (2011). *Acta No. 11 – XI Reunión Plenaria de la CCE*. Bogotá: CCE.
- Colombia. (2024). Intervención bajo el Punto 9: Clima Espacial (Declaración de la delegación de Colombia ante el Subcomité Científico-Técnico de COPUOS, Viena, 7 de febrero de 2024). UNOOSA. https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2024/Statements/9_Colombia.pdf
- Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA). (s.f.). Space Weather. <https://www.cisa.gov/space-weather>
- Department of Defense. (2020). *Defense Space Strategy Summary*. U.S. Department of Defense.
- Deloitte. (2024). Stellar safeguards: How organizations can protect space assets from cyberthreats. <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/government-public-sector-services/defending-against-cyber-threats-space-systems.html>
- Eastwood, J. P., Biffis, E., Hapgood, M. A., Green, L., Bisi, M. M., Bentley, R. D., ... & Burnett, C. (2017). The economic impact of space weather: Where do we stand? *Risk Analysis*, 37(2), 206–218.
- Elefteriu, G. (2024). *The role of space power in geopolitical competition (GPPR01 Report)*. Council on Geostrategy.
- Escuela Superior de Guerra “Gral. Rafael Reyes Prieto” – Curso de Altos Estudios Militares (ESDEG/CAEM). (2021). *Estrategia de Seguridad Aérea y Espacial Nacional*. ESDEG.
- European Space Agency (ESA). (2025). *ESA Space Environment Report*

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

2025. https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_late_st.pdf
- Fiore, J. A. (2023). Deterrent and defensive applications of orbital antisatellite weapons. *Æther: A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, Special Edition (Winter), 64–73. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AEtherJournal/Journals/Special-Edition_Winter2023/Fiore.pdf
- Fuerza Aérea Colombiana. (2020). *Manual de doctrina básica aérea, espacial y ciberespacial (FAC-0B)*. Jefatura de Educación Aeronáutica.
- Gaetano, F., Oliva, G., Panzieri, S., Romani, C., & Setola, R. (2013). Analysis of severe space weather on critical infrastructures. En *Critical Information Infrastructures Security* (pp. 62–73). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03964-0_6
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Impacto TIC. (2023). Agencia Nacional de Seguridad Digital y Asuntos Espaciales, ¿cuál es su importancia para Colombia? <https://impactotic.co/politicas-tic/agencia-nacional-de-seguridad-digital-y-asuntos-espaciales-proyecto-de-ley/>
- Imburgia, J. S. (2011). Space debris and its threat to national security: A proposal for a binding international agreement to clean up the junk. *Vanderbilt Journal of Transnational Law*, 44(3), 589–641.
- International Telecommunication Union (ITU), International Civil Aviation Organization (ICAO), & International Maritime Organization (IMO). (2025, March 26). UN agencies warn of satellite navigation jamming and spoofing [Declaración conjunta].
- Jacobson, C. (2025, July 16). What’s in NATO’s first-ever commercial space strategy? *Atlantic Council*. <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/new-atlanticist/whats-in-natos-first-ever-commercial-space-strategy/>
- Johnson-Freese, J. (2017). Build on the Outer Space Treaty. *Nature*, 550(7675), 182–184. <https://doi.org/10.1038/550182a>
- Joint Air Power Competence Centre. (2021). *Resiliency in space as a combined challenge for NATO (White Paper)*. JAPCC.
- Kazi, A., Kazi, S., & Bhosale, S. (2025). Invisible battlefields: Analyzing the Viasat attack and its broader implications. *Research and Science in the Military Field*, 59–67. <https://doi.org/10.2478/bsaft-2025-0007>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Klein, J. J. (2004). Corbett in orbit: A maritime model for strategic space theory. *Naval War College Review*, 57(1), 59–74.

Knipp, D. J., et al. (2016). The May 1967 great storm and radio disruption event: Extreme space weather and extraordinary responses. *Space Weather*, 14, 614–633. <https://doi.org/10.1002/2016SW001423>

Larned, R. E. (1994). Space power and the role of space systems in national strategy. *Air & Space Doctrine Symposium*. Air University Press.

León León, G., & Mogollón Buitrago, P. L. (2022). Desafíos para la seguridad del espacio aéreo y ultraterrestre en Colombia. En E. Pastrana Buelvas, S. Reith & F. Cabrera (Eds.), *Poder Nacional de Colombia, Vol. II: La seguridad multidimensional frente a amenazas y desafíos* (pp. 914–925). Konrad Adenauer Stiftung – Escuela Superior de Guerra.

Mariappan, A., & Crassidis, J. L. (2023). Kessler’s syndrome: A challenge to humanity. *Frontiers in Space Technologies*, 4, Article 1309940. <https://doi.org/10.3389/frspt.2023.1309940>

Ministère des Armées. (2019). *France’s defence space strategy* (English version). Ministry of the Armed Forces.

North Atlantic Treaty Organization. (2020). *NATO space policy*. https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_190862.htm

Peeters, W. (2022). Cyberattacks on satellites. London School of Economics and Political Science. <https://www.lse.ac.uk/ideas/projects/space-policy/publications/Cyberattacks-on-Satellites>

Pons Alcoy, J. A. (2021). La OTAN incorpora el espacio ultraterrestre a su defensa. *Revista Española de Derecho Aeronáutico y Espacial*, 1, 251–254.

Prensa FAC. (2024). Colombia y Estados Unidos fortalecen la cooperación espacial y de seguridad (Comunicado de prensa). Fuerza Aeroespacial Colombiana.

Pulkkinen, T. (2007). Space weather: Terrestrial perspective. *Living Reviews in Solar Physics*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2007-1>

Puntarova, T. (2025, April 7). Satellite jamming is a real and growing threat. How can we protect our space infrastructure? *Space.com*. <https://www.space.com/space-exploration/satellites/satellite-jamming-is-a-real-and-growing-threat-how-can-we-protect-our-space-infrastructure>

Rincón Urbina, S. R., Cárdenas García, J. M., Pirazán Villanueva, K. N., & Hanessian, V. (2024). Advancements of the Colombian Air Force space program. *Space Policy*, 71, 101655.

Ruiz Pedroza, L. C., & Gómez Gómez, E. L. (2022). Tecnologías espaciales para la guerra: Una

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- mirada desde el principio del uso pacífico del espacio. En J. H. Conde (Ed.), *Visión Aeroespacial Colombiana* (pp. 125–156). Sello Editorial ESDEG.
- Sanderson Moreno, L. (2023). Los programas espaciales de los Estados Unidos, Rusia y China: ¿militarización creciente? *Documento de Opinión IEEE 47/2023*. Ministerio de Defensa de España.
- Schrijver, C. J., Dobbins, R., Murtagh, W., & Petrinec, S. M. (2014). Assessing the impact of space weather on the electric power grid based on insurance claims for industrial electrical equipment. *arXiv preprint arXiv:1406.7024*. <https://arxiv.org/abs/1406.7024>
- Schrijver, C. J., Kauristie, K., Aylward, A. D., Denardini, C. M., Gibson, S. E., Glover, A., ... & Vilmer, N. (2015). Understanding space weather to shield society: A global road map for 2015–2025 commissioned by COSPAR and ILWS. *arXiv preprint arXiv:1503.06135*. <https://arxiv.org/abs/1503.06135>
- Silva Rueda, C. F., Corredor Gutiérrez, C. G., & Álvarez Calderón, C. E. (2021). Análisis de la política espacial colombiana: una perspectiva de defensa y seguridad. En *El cielo no es el límite: el futuro estelar de Colombia* (Capítulo VIII, pp. 61-...). Escuela Superior de Guerra – Centro de Gravedad.
- Sreeja, V. (2016). Impact and mitigation of space weather effects on GNSS receiver performance. *Geoscience Letters*, 3(24). <https://doi.org/10.1186/s40562-016-0057-0>
- Steer, C. (2025). From GPS to weather forecasts: The hidden ways Australia relies on foreign satellites. *Australian National University*. <https://science.anu.edu.au/news-events/news/gps-weather-forecasts-hidden-ways-australia-relies-foreign-satellites>
- Suárez Bernal, L. (2023, July 31). Agencia Nacional de Seguridad Digital y Asuntos Espaciales, ¿cuál es su importancia para Colombia? *Impacto TIC*.
- 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* (Outer Space Treaty). United Nations Office for Outer Space Affairs.
- United States Space Force. (2020). *Space Capstone Publication: Spacepower (Doctrine for Space Forces)*. USSF.
- Waterman, S. (2024, November 18). A frightening future: Experts outline the growing threat of cyber attacks against space systems. *Via Satellite Magazine*.
- White House Office of Science and Technology Policy (WHOSTP). (2023). Improving space

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

weather forecasting for U.S. safety and security. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/ostp/news-updates/2023/12/20/improving-space-weather-forecasting-for-u-s-safety-and-security/>

Wired. (2022, December 12). La basura espacial y los misiles amenazan a los satélites en órbita. *Wired Ciencia* (Edición en español). <https://es.wired.com/articulos/basura-espacial-y-misiles-amenazan-satelites-en-orbita>

World Economic Forum. (2025, May 26). Why we must protect space technology from cyber risks. <https://es.weforum.org/stories/2025/05/tecnologia-espacial-por-que-debemos-atender-la-ciberseguridad-en-orbita>

Zapata, J., & Ramírez, F. (2021). Conciencia situacional del espacio y seguridad nacional: Retos para Colombia. *Revista de Estudios Estratégicos*, 5(2), 50–67.