

[Visitar la WEB](#)[Recibir BOLETÍN ELECTRÓNICO](#)

13/2024

2 de febrero de 2024

*Alejandro Fernández de Bobadilla Ferrer **

La batalla por la computación cuántica como llave para la victoria en la carrera espacial del siglo XXI

La batalla por la computación cuántica como llave para la victoria en la carrera espacial del siglo XXI

Resumen:

En el contexto de una nueva carrera espacial, con intereses tanto astropolíticos como astroeconómicos, la computación cuántica ha despertado un gran interés en la comunidad científica y empresarial debido a su capacidad para procesar grandes cantidades de información y resolver problemas que actualmente están fuera del alcance de los ordenadores clásicos. Por ello, la computación cuántica puede ser una herramienta valiosa para el diseño de nuevos materiales y compuestos, la optimización de rutas y trayectorias de vuelo, la simulación de sistemas complejos y la decodificación de señales extraterrestres, pero, sobre todo, puede resultar fundamental para ejercer el mando y control de las futuras fuerzas espaciales.

Para liderar la próxima fase de la carrera espacial, tanto gobiernos como empresas, así como gobiernos en colaboración con empresas, de todo el mundo, están invirtiendo en investigación y desarrollo de tecnologías cuánticas. China, por ejemplo, ha establecido el objetivo de convertirse en el líder mundial en computación cuántica para 2030, y compañías como IBM, Google, Alibaba, Baidu, el Instituto de Tecnología de Massachusetts y la Universidad de Ciencia y Tecnología de China compiten por liderar la investigación y el desarrollo de estas tecnologías.

Palabras clave:

Carrera espacial, astropolítica, astroeconomía, militarización, computación cuántica.

***NOTA:** Las ideas contenidas en los *Documentos de Opinión* son responsabilidad de sus autores, sin que reflejen necesariamente el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.

The battle for quantum computing as a key to victory in the 21st century space race

Abstract:

In the context of a new space race, with both astropolitical and astroeconomic interests, quantum computing has aroused great interest in the scientific and business community due to its ability to process large amounts of information and solve problems that are currently beyond the reach of classical computers. Thus, quantum computing can be a valuable tool for the design of new materials and composites, the optimization of flight paths and trajectories, the simulation of complex systems and the decoding of extraterrestrial signals, but, above all, it may prove fundamental for exercising command and control of the future Space Forces.

To lead the next phase of the space race, governments and companies, as well as governments in partnership with companies, around the world, are investing in research and development of quantum technologies. China, for example, has set a goal of becoming the world leader in quantum computing by 2030, and companies such as IBM, Google, Alibaba, Baidu, the Massachusetts Institute of Technology and the University of Science and Technology of China are competing to lead the research and development of these technologies.

Keywords:

Space Race; Astropolitics; Astroeconomics; Militarization; Quantum computing.

Cómo citar este documento:

FERNÁNDEZ DE BOBADILLA FERRER, Alejandro. *La batalla por la computación cuántica como llave para la victoria en la carrera espacial del siglo XXI*. Documento de Opinión IEEE 13/2024.

https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2024/DIEEEO13_2024_ALEFER_Batalla.pdf y/o [enlace bie³](#) (consultado día/mes/año)

Introducción

La carrera espacial acaecida durante la Guerra Fría trasladó el campo de batalla de la tierra al espacio, dando origen a la astropolítica, una nueva rama de relaciones internacionales. En el siglo XXI, surge un nuevo concepto denominado astroeconomía, que estimula la inversión empresarial en un sector espacial dominado por los gobiernos desde mediados del siglo pasado.

En esta nueva fase de la carrera espacial, los actores, ya sean gobiernos, empresas o alianzas entre ambos, compiten, no solo por el prestigio, sino por los recursos ofrecidos por nuestro satélite, planetas cercanos e incluso asteroides, y China ha obtenido una ventaja inicial gracias a su firme compromiso de ocupar su «yi xi zhi di^{1 2}».

No obstante, Estados Unidos (EE. UU.), consciente de que su progreso espacial se había desacelerado tras la primera carrera espacial, ha recuperado impulso, esta vez, en colaboración con empresas privadas. Esto le permite competir con Pekín por unos recursos espaciales que pertenecen a toda la humanidad.

Ambas potencias han establecido fuerzas espaciales con el propósito de militarizar el espacio. Para lograrlo, se hace necesario un sistema de comunicaciones terrestres fiable, rápido, robusto y seguro que permita un correcto mando y control. La distribución de clave cuántica podría suponer una alternativa para cubrir esta necesidad gracias al entrelazamiento cuántico, una capacidad que podría brindar la llave de la victoria, cuyo logro depende, en gran medida, del apoyo del sector privado en el ámbito espacial y cuántico.

¿Cómo hemos llegado hasta aquí?

Desde el lanzamiento del Sputnik en 1957, hasta la llegada de la Chandrayaan 3 al polo sur lunar en julio de este año, la exploración del espacio ha pasado por varias etapas. En la actualidad, el aumento de la demanda por situar nuevos dispositivos en órbita, y el renovado interés por la explotación de los recursos espaciales han impulsado a las

¹ «Yi xi zhi di» en chino quiere decir «un sitio en la mesa».

² KULACKI, Gregory. *A Place for One's Mat: China's Space Program, 1956 – 2003*. Cambridge, American Academy of Arts and Sciences, 2009.

principales potencias mundiales a invertir significativamente en sus programas espaciales, empeño en el que Pekín nunca cejó buscando reducir la brecha de capacidad con otras naciones líderes y que le ha permitido un progreso constante en esta área³.

En esta nueva carrera espacial, los Estados han apostado por la colaboración estrecha con el sector empresarial privado y por el desarrollo de estrategias militares, un enfoque bajo el prisma del realismo ofensivo para el que se han basado en las teorías astropolíticas, surgidas durante la primera carrera espacial que les permitan asegurar su dominio.

La astropolítica como impulsor de la carrera espacial

Con anterioridad al lanzamiento del Sputnik I, que supuso el pistoletazo de salida de una carrera espacial que no finalizó hasta que, en 1969, Neil Armstrong descendió del módulo lunar «Eagle» y posó su pie sobre la Luna, la geopolítica se enfocaba en los espacios de poder tradicionales: tierra, mar y aire, en los que los actores con suficiente influencia proyectaban y ejercían su poder.

Sin embargo, la llegada al espacio ultraterrestre amplió los límites de la geopolítica, haciendo que los países y actores competiesen por ejercer su dominio, no solo en el espacio aéreo sobre el cual ejercen su soberanía, sino también en el espacio exterior a la Tierra, lo que propició la apertura de un nuevo frente en las relaciones internacionales.

No obstante, no fue hasta 1981, cuando George Stine^{4 5} acuñó el término de «astropolítica» para, de alguna manera, elevar la contienda terrestre entre las dos grandes potencias al espacio, y definió además una serie de «áreas militares» espaciales en torno a la Tierra.

Unos años más tarde, en 1989, John Collins^{6 7} fue más allá definiendo «regiones militares» conforme a las teorías de los «pozos de gravedad» de Robert Richardson^{8 9}

³ NOUWENS, Veerle y STICKINGS, Ali. «The Celestial Empire looks to the West», *RUSI Commentary*. 2018.

⁴ George Stine fue uno de los fundadores del aeromodelismo y un experto en ciencia y tecnología.

⁵ CASTRO, Ignacio José. *La astropolítica en un mundo pospandémico*. Documento Análisis del IEEE, 2020.

⁶ John Collins era un veterano de combate muy respetado y un especialista de alto nivel en defensa nacional.

⁷ CASTRO, Ignacio José. *La astropolítica en un mundo pospandémico*. Documento Análisis del IEEE, 2020.

⁸ Robert Richardson fue un astrónomo estadounidense nacido en Kokomo, Indiana. También publicó ciencia ficción con el seudónimo de Philip Latham.

⁹ CASTRO, Ignacio José. *La astropolítica en un mundo pospandémico*. Documento Análisis del IEEE, 2020.

en una clara analogía a las tesis de Halford Mackinder^{10 11}, afirmando que «Quien rigiese el espacio circunsterrestre, dominaría el planeta Tierra; quien rigiese la Luna dominaría el espacio circunsterrestre; y quien rigiese sobre los puntos L-4 y L-5¹² dominaría el sistema Tierra-Luna».

En la disputa por el dominio espacial, los puntos de Lagrange desempeñan un papel fundamental. De entre ellos, los puntos L4 y L5 son especialmente importantes debido a la mayor estabilidad que ofrecen, lo que permite que un dispositivo ubicado en estos puntos tenga una posición privilegiada para controlar el tráfico entre la Luna y la Tierra con un bajo consumo energético¹³.

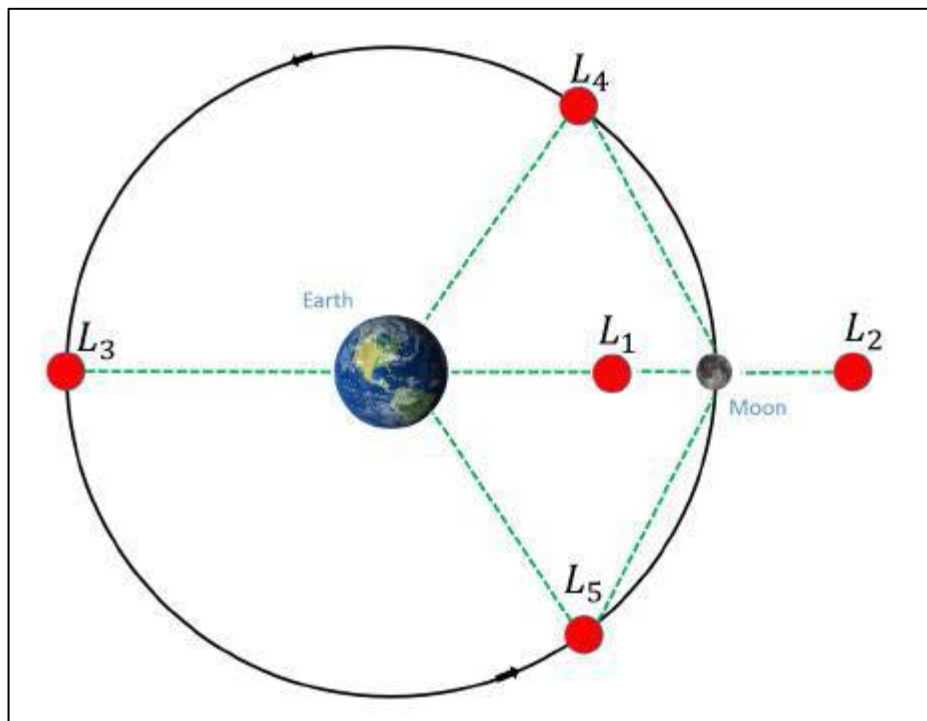


Figura 1. Puntos de Lagrange entre la Tierra y la Luna¹⁴

¹⁰ Halford Mackinder fue un geopolítico y geógrafo inglés.

¹¹ CASTRO, Ignacio José. *La astropolítica en un mundo pospandémico*. Documento Análisis del IEEE, 2020.

¹² Puntos de Lagrange en el sistema Tierra-Luna. Llamado así en honor a Joseph Louis Lagrange, el astrónomo francés que sugirió la existencia de estos puntos alrededor de 1800.

¹³ GARGIONI, Gustavo, ALEXANDRE, David, PETERSON, Marco y SCHROEDER, Kevin. «Multiple Asteroid Retrieval Mission from Lunar Orbital Platform-Gateway Using Reusable Spacecrafts», *IEEE Aerospace Conference*. Big Sky, MT, USA, 2019.

¹⁴ GARGIONI, Gustavo, ALEXANDRE, David, PETERSON, Marco y SCHROEDER, Kevin. «Multiple Asteroid Retrieval Mission from Lunar Orbital Platform-Gateway Using Reusable Spacecrafts», *IEEE Aerospace Conference*. Big Sky, MT, USA, 2019.

En 2002, Everett Dolman¹⁵ ¹⁶ combinó ambas teorías y las adaptó al siglo XXI, considerando en su teoría que el espacio se asemejaría a los océanos de Mackinder, y que las regiones espaciales se debían clasificar según su situación respecto a nuestro planeta, por lo que, según él: «Quien domine la órbita próxima terrestre domina su espacio, quien domine su espacio domina la Tierra y quien domine esta domina el destino de la humanidad», la definición más aceptada de lo que supone elevar la geopolítica terrestre al espacio.

La astroeconomía como impulsora de la nueva carrera espacial

Tras unos años, en los que el ascenso de Washington como potencia hegemónica de un mundo unipolar había propiciado que los grandes estrategias mundiales hubiesen dejado de lado las teorías astropolíticas, la confirmación de la existencia de agua¹⁷; de Helio-3¹⁸, y de tierras raras¹⁹, unido a la reducción de la barrera tecnológica y de costes, ha impulsado una nueva carrera espacial en busca del beneficio económico que se ha denominado astroeconomía.

En esta carrera espacial del siglo XXI, o 2.0, han sido China y EE. UU. los primeros en recoger un dorsal y presentar su candidatura a estar en lo alto del cajón cuando finalice, el primero guiado por la ambición de convertirse en la primera potencia espacial, y el segundo por tratar de mantener su hegemonía terrestre y espacial, esta vez buscando abaratar costes mediante sinergias con un sector privado interesado en la obtención de rédito comercial.

El surgimiento del sector privado espacial

El sector privado chino ha sufrido un enorme crecimiento desde que, en 2014, Pekín se decidiese por su impulso en una clara apuesta por emular a su rival occidental, y sus

¹⁵ Everett Dolman es catedrático de Estrategia en la Fuerza Aérea de Estados Unidos y profesor de Estrategia Espacial en la Escuela de Estudios Internacionales Avanzados de la Universidad Johns Hopkins.

¹⁶ CASTRO, Ignacio José. *La astropolítica en un mundo pospandémico*. Documento Análisis del IEEE, 2020.

¹⁷ Imprescindible para la vida.

¹⁸ Un isótopo poco común del helio que podría utilizarse para implementar innovaciones en el sector energético, tales como la fusión nuclear.

¹⁹ Necesarias para el desarrollo de tecnologías emergentes y componentes militares en la Luna.

empresas han logrado avances muy significativos: vehículos de lanzamiento, constelaciones satelitales y sistemas que permiten el desarrollo de la minería espacial.

El sector privado estadounidense ha mostrado interés en diversas actividades comerciales relacionadas con el espacio, como el lanzamiento de cohetes, la minería espacial²⁰, la colonización²¹ y el turismo espacial a la Luna y a Marte.

Actualmente, varias compañías han iniciado su incursión en el comercio del espacio ultraterrestre, destacándose entre ellas las empresas estadounidenses SpaceX, Blue Origin, Shackleton Energy Company, Bigelow Aerospace, la compañía inglesa Virgin Galactic o las chinas LinkSpace, LandSpace, i-Space, Spacety, Origin Space o Galactic Energy, todas ellas buscando una colaboración con el Estado, imprescindible para alcanzar los objetivos de ambos.

La militarización del espacio ultraterrestre

Los progresos tecnológicos y la evolución de los programas espaciales han vuelto a poner al espacio ultraterrestre en el centro de la agenda geopolítica. La transformación del paradigma en las relaciones internacionales y la promoción del multilateralismo se reflejan en el ámbito espacial, donde han surgido nuevos actores y potencias que han alterado el equilibrio de poder. La cada vez mayor interdependencia entre la seguridad en el espacio y la estabilidad global hace que la geopolítica espacial sea crucial para garantizar la seguridad en todo el mundo.

Washington mantiene su liderazgo en la militarización del espacio ultraterrestre como parte de su estrategia para preservar el actual orden internacional. El logro de este objetivo requiere un importante desarrollo tecnológico y una fuerte inversión, por lo que el gobierno estadounidense impulsa programas de investigación conjuntos con agencias espaciales de Estados aliados, así como proyectos industriales en colaboración con empresas norteamericanas que se asocian con la NASA en distintos proyectos espaciales, y, en el año 2019, creó su Fuerza Espacial²².

²⁰ Que abarca la búsqueda, extracción y transporte de recursos.

²¹ Mediante el establecimiento de asentamientos humanos.

²² UNITED WORLD INTERNATIONAL. «New Heartland: What is behind the US' new space rush?», *United World International*. 2020.

Para seguir liderando la exploración espacial, la NASA considera clave el fortalecimiento y desarrollo de sus programas en colaboración con la industria nacional, lo que garantiza la ventaja tecnológica de EE. UU. frente a sus competidores.

En 2018, Dolman, en relación con el establecimiento de la Fuerza Espacial estadounidense, una decisión de Washington muy criticada por Pekín, declaró: «Históricamente, a medida que los bienes comunes se vuelven comercialmente importantes, no son los militares los que presionan por su presencia allí, son los intereses creados que desean protección los que lo atraen», y consideró que el espacio entre la Tierra y la Luna podría significar la nueva «tierra corazón» de Mackinder²³.

Por otro lado, el papel de China como actor que ha iniciado una pugna con EE. UU. por la hegemonía mundial, y, por ende, en el espacio, es complicado de analizar debido a la dificultad de distinguir entre sus objetivos militares y civiles. El país tiene un fuerte control militar en el ámbito espacial, con objetivos de seguridad y defensa en una región con una actividad en constante aumento, y solo las limitaciones tecnológicas impiden que su presencia sea aún mayor.

La evaluación de las estrategias de seguridad de los principales actores en el ámbito espacial revela una atmósfera de desconfianza y recelo, típica de una competencia constante por alcanzar una posición de ventaja.

Al igual que en otros espacios comunes, la competencia por la supremacía en el espacio está dando lugar a amenazas y desafíos que, si no se identifican y abordan adecuadamente, podrían desencadenar un conflicto a nivel mundial.

Según la corriente de pensamiento del realismo ofensivo, las dos potencias que luchan por el hegemon tenderán a aumentar sus capacidades en este espacio común mediante inversión en I+D+i para asegurar su supervivencia, una relación competitiva de suma cero.

Everett Dolman²⁴ y Federico Aznar²⁵ son autores destacados en el análisis de estrategias en esta nueva carrera espacial. Ambos subrayan la necesidad de control militar efectivo,

²³ DAVID, Leonard. «Will the US Military Space Force's Reach Extend to the Moon?», *Space Insider*. 2018.

²⁴ DOLMAN, Everett. *Astropolitik: The Classical Geopolitics in the Space Age*. Londres, Frank Cass Publishers, 2002.

²⁵ AZNAR, Federico. *El espacio exterior, una nueva dimensión de la seguridad*. Documento Opinión del IEEE, 2021.

lo que lleva a una competencia similar a la del pasado, esta vez con una colaboración público-privada.

El control del espacio ultraterrestre se ha vuelto crucial en la competición por el poder, donde se entrelazan cuestiones geopolíticas y de seguridad²⁶. Además, la militarización del espacio es cada vez más evidente²⁷.

La necesidad de nuevas capacidades

Sin embargo, la militarización del espacio no se limita únicamente al desarrollo de la industria de defensa y armamento, sino que también implica una transformación en la forma en que se abordan los asuntos militares.

Durante los últimos años, Pekín, instigada por la publicación de información clasificada por Edward Snowden que detallaba las capacidades de inteligencia de Washington, ha acelerado agresivamente su ritmo de investigación cuántica²⁸. En 2016, el presidente Xi Jinping estableció una estrategia nacional para que China se volviese tecnológicamente autosuficiente, cuyo principal objetivo era superar a EE. UU. en capacidad cuántica, convertirse en el líder mundial de alta tecnología, y ser capaz de comunicarse de manera segura en el espacio²⁹.

Esta estrategia es parte de un esfuerzo a largo plazo de China para constituirse como líder mundial en tecnología cuántica, una pretensión que ya le ha hecho adelantar a Washington en el registro de patentes en comunicaciones cuánticas y criptografía³⁰.

²⁶ NUCERA, Gianfranco. «International Geopolitics and Space Regulation», *Planetary Science*. 2019.

²⁷ DOLMAN, Everett. *Astropolitik: The Classical Geopolitics in the Space Age*. Londres, Frank Cass Publishers, 2002.

²⁸ STEFANICK, Tom. «The state of U. S.-China quantum data security competition», *Brookings Tech Stream*. 2020.

²⁹ SMITH-GOODSON, Paul. «Quantum USA Vs. Quantum China: The World's Most Important Technology Race», *Forbes*. 2019.

³⁰ GILES, Martin. «The US and China are in a quantum arms race that will transform warfare», *Massachusetts Institute of Technology Review*. 2019.

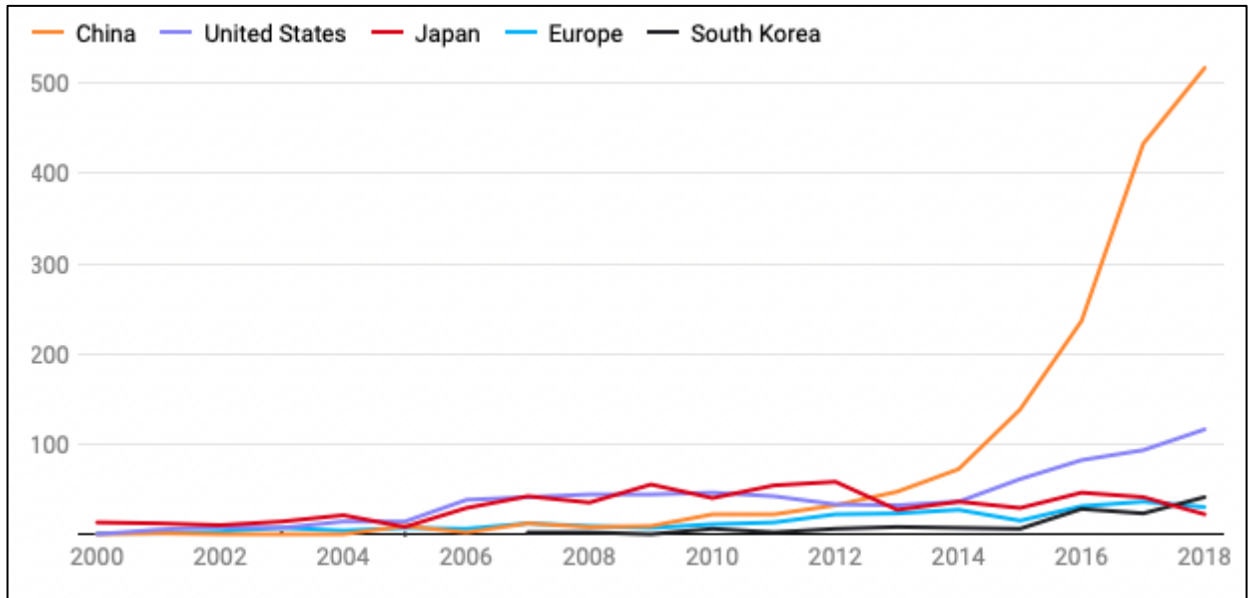


Figura 2. Número de patentes registradas por año en comunicaciones cuánticas y criptografía por país³¹

No obstante, la paradoja que se ha generado es que la batalla cuántica se está librando en los laboratorios de investigación, donde los cerebros y los científicos son más valiosos que las armas y los soldados, y para la que los Estados cuentan con las sinergias que ofrece un sector privado muy implicado en el desarrollo de esta tecnología, un combate para el que la financiación de la investigación es un factor crítico.

La tecnología cuántica se ha convertido en una herramienta clave en este escenario. Los satélites cuánticos pueden proporcionar comunicaciones seguras y eficientes a largas distancias, con aplicaciones cruciales en el mando y control espacial³².

China lidera la competición cuántica con el lanzamiento del satélite Micius en 2016³³, lo que ha desencadenado una nueva carrera espacial con importantes implicaciones políticas y militares³⁴ gracias a la financiación gubernamental y privada que ha impulsado el desarrollo cuántico³⁵.

³¹ GILES, Martin. «The US and China are in a quantum arms race that will transform warfare», *Massachusetts Institute of Technology Review*. 2019.

³² HERMAN, Arthur. «The Quantum Space Race Is Here», *Forbes*. 2022.

³³ Llamado así en honor a un antiguo filósofo chino, se lanzó el 16 de agosto desde el Centro de Lanzamiento de Satélites de Jiuquan en el desierto de Gobi con la tarea de establecer una línea de comunicación segura y una red de distribución de claves cuánticas mientras realizaba una serie de experimentos de entrelazamiento cuántico en el espacio.

³⁴ ŠILJAK, Harun. «China's quantum satellite enables first totally secure long-range messages», *The Conversation*. 2020.

³⁵ MINERBI, Nir. «Is Quantum the New Space Race?», *Coruzant Technologies*. 2021.

La necesidad de mando y control. La capacidad cuántica

La capacidad de mando y control es fundamental para dirigir operaciones militares y lograr objetivos estratégicos y tácticos. Esto implica una estructura jerárquica clara y comunicación eficaz entre niveles de mando, permitiendo decisiones rápidas en situaciones complejas.

La capacidad cuántica, que involucra procesar y transmitir información de manera más segura que los sistemas clásicos mediante partículas subatómicas como los fotones, es crucial para la seguridad y defensa. La criptografía cuántica y sistemas de comunicación resultantes son altamente seguros, impulsando la competencia entre superpotencias en la carrera espacial.

Tanto inversores públicos como privados juegan un papel importante en esta batalla cuántica. Las empresas buscan crecimiento a través del desarrollo cuántico, mientras los gobiernos invierten fondos públicos en centros de colaboración y apoyo a la comercialización de tecnologías innovadoras para no quedarse atrás.

La «espeluznante acción a distancia»

El entrelazamiento cuántico, que implica colocar objetos en el limbo de la superposición cuántica, permite el intercambio seguro de información entre partículas a pesar de la distancia. Estas partículas, a menudo fotones de luz, actúan como sobres que transportan información cuántica³⁶.

Aunque objetos entrelazados estén separados, sus estados cuánticos permanecen conectados, determinando instantáneamente el estado del otro objeto cuando uno es medido o perturbado, un efecto llamado «acción a distancia»³⁷.

Los fotones de luz son ideales para información cuántica, ya que son manipulables y viajan rápidamente. El entrelazamiento cuántico entre fotones puede ser valioso en comunicaciones cuánticas seguras, como en el protocolo de distribución de clave cuántica (QKD, por sus siglas en inglés)³⁸.

³⁶ OBERHAUS, Daniel. «NASA's Plan to Turn the ISS Into a Quantum Laser Lab», *Wired*. 2020.

³⁷ POPKIN, Gabriel. «China's quantum satellite achieves «spooky action» at record distance», *Science.org*. 2017.

³⁸ *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*. ONU, 1967.

Cadenas largas de fotones entrelazados pueden formar «claves cuánticas» para asegurar comunicaciones, detectando intentos de espionaje³⁹. Sin embargo, los esquemas QKD enfrentan desafíos para comunicaciones a larga distancia debido a las pérdidas de luz por absorción y dispersión⁴⁰.

El canal óptico del espacio libre, que conecta satélites de órbita baja con la Tierra, es crucial debido a su baja absorción y dispersión⁴¹. El satélite Micius, lanzado por Pekín en 2016, estableció comunicaciones seguras y realizó experimentos de entrelazamiento cuántico⁴².

Los experimentos de Micius buscaban mejorar la comunicación segura entre espacio y Tierra, siendo esencial para sensores y sistemas de ataque⁴³. En junio de 2020, se transmitió una clave secreta entre un satélite y estaciones terrestres a 1.200 km, demostrando el potencial de las comunicaciones cuánticas⁴⁴.

El éxito de Micius motivó a investigadores a avanzar hacia una red cuántica mundial y resalta el futuro brillante de las comunicaciones cuánticas vía satélite⁴⁵.

Además, en agosto de 2022, el laboratorio espacial chino en la estación Tiangong-2⁴⁶ transmitió claves cuánticas a estaciones terrestres, reforzando la idea de una internet cuántica segura⁴⁷.

Los enlaces seguros a larga distancia podrían dar forma a una Internet cuántica segura y los satélites de comunicaciones cuánticas podrían convertirse en centros de control en el espacio⁴⁸. Esta tecnología podría transformar las comunicaciones y la exploración espacial⁴⁹.

³⁹ POPKIN, Gabriel. «China's quantum satellite achieves «spooky action» at record distance», *Science.org*. 2017.

⁴⁰ *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*. ONU, 1967.

⁴¹ *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*. ONU, 1967.

⁴² BROAD, William. «China Reports Progress in Ultra-Secure Satellite Transmission», *New York Times*. 2020.

⁴³ RASKA, Michael. «China's Quantum Satellite Experiments: strategic and Military Implications», *RSIS Commentary*, número 223, septiembre.

⁴⁴ RABIE, Passant. «Quantum communication takes a major leap with satellite-based experiment», *Space.com*. 2020.

⁴⁵ *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*. ONU, 1967.

⁴⁶ Tiangong en chino quiere decir «palacio celestial».

⁴⁷ HERMAN, Arthur. «The Quantum Space Race Is Here», *Forbes*. 2022.

⁴⁸ ŠILJAK, Harun. «China's quantum satellite enables first totally secure long-range messages», *The Conversation*. 2020.

⁴⁹ HERMAN, Arthur. «The Quantum Space Race Is Here», *Forbes*. 2022.

La capacidad de Mando y Control

Los sensores cuánticos, que aprovechan el estado fragilidad de las partículas cuánticas, ofrecen prometedoras aplicaciones en el espacio. A pesar de la inestabilidad cuántica en otros campos, los sensores cuánticos pueden ser ultrarresistentes gracias a la sensibilidad de las partículas cuánticas a perturbaciones⁵⁰.

En misiones espaciales, la distancia entre centros de mando y unidades en el espacio dificulta la comunicación eficiente, por lo que la tecnología cuántica podría acelerar esta comunicación y permitir el envío rápido de fotos y vídeos de alta definición, mejorando la exploración espacial y la interacción con astronautas⁵¹.

Los sensores cuánticos podrían revolucionar la navegación espacial al medir aceleración y rotación, permitiendo la navegación sin depender de GPS o satélites. Esto es crucial en misiones de larga duración o en lugares sin acceso telemétrico constante, como la cara oculta de la Luna⁵².

La detección remota de objetos mediante sensores cuánticos de gravedad y campos magnéticos en el espacio⁵³ podría ser vital en el despliegue de fuerzas en el espacio.

La carrera espacial cuántica

Aunque la primera red QKD de la historia fue creada por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa de Washington en 2003, las diferentes administraciones y la Agencia de Seguridad Nacional se habían mostrado indiferentes ante las posibilidades de la comunicación basada en el entrelazamiento y la QKD, incluso sugiriendo que el interés chino por la tecnología había sido una pérdida de tiempo y dinero⁵⁴. Sin embargo, el efecto de lanzamiento del satélite chino Micius en 2016 se ha comparado con el del Sputnik en la carrera espacial del siglo XX⁵⁵.

⁵⁰ LEPRINCE-RINGUET, Daphne. «Quantum sensors could soon be heading into space», *ZDNET*. 2021.

⁵¹ HUGHES-CASTLEBERRY, Kenna. «Quantum Computing In Space: Could it Be The Answer?», *The Quantum Insider*. 2021.

⁵² LEPRINCE-RINGUET, Daphne. «Quantum sensors could soon be heading into space», *ZDNET*. 2021.

⁵³ LEPRINCE-RINGUET, Daphne. «Quantum sensors could soon be heading into space», *ZDNET*. 2021.

⁵⁴ HERMAN, Arthur. «The Quantum Space Race Is Here», *Forbes*. 2022.

⁵⁵ ŠILJAK, Harun. «China's quantum satellite enables first totally secure long-range messages», *The Conversation*. 2020.

EE. UU. despertó ante la posibilidad del liderazgo de China en tecnologías cuánticas cuando Pekín demostró su capacidad en comunicaciones cuánticas por satélite en 2016. En respuesta, el entonces presidente Trump lanzó, en 2018, una Iniciativa Cuántica Nacional de 1.200 millones de dólares. Mientras tanto, y quizás lo más importante, las grandes empresas tecnológicas como IBM y Google comenzaron a verter enormes sumas en su propia investigación cuántica⁵⁶.

El director de Tecnología de la Casa Blanca afirmó que «... [la] Administración está realizando una inversión sin precedentes para reforzar el liderazgo estadounidense en IA y tecnología cuántica para garantizar que la nación se beneficie de estas tecnologías emergentes»⁵⁷. El presidente chino, Xi Jinping, pidió a la nación que hiciera lo necesario para comercializar la tecnología cuántica con el fin de «garantizar la seguridad de las cadenas industriales y de suministro y mejorar la capacidad de China de responder a los riesgos y desafíos internacionales con ciencia y tecnología»⁵⁸.

Lo que impulsa a Pekín y Washington es el temor de que quedarse atrás en la computación cuántica plantee riesgos de ciberseguridad, tecnológicos y económicos. Ambos poseen las capacidades cuánticas más avanzadas del mundo y afirman haber alcanzado la «supremacía cuántica», es decir, la capacidad de resolver problemas matemáticos que a los ordenadores clásicos les llevaría millones de años⁵⁹.

Todos los países compiten por tomar la delantera en la carrera hacia el futuro cuántico del mundo, y han aprendido por las malas desde la Revolución Industrial que las tecnologías de uso general, como la computación cuántica, son fundamentales para la competitividad⁶⁰.

El 14.º Plan Quinquenal de China (2021-2025) prioriza el desarrollo de la computación y las comunicaciones cuánticas para 2030. En total, entre 2019 y 2021 Pekín invirtió nada menos que 11.000 millones de dólares, Europa 5.000 millones, EE. UU. 3.000 millones

⁵⁶ PANNIER, Alice. «Can Europe compete in the quantum 'space race'?, *TechCrunch*. 2021.

⁵⁷ MINERBI, Nir. «Is Quantum the New Space Race?», *Coruzant Technologies*. 2021.

⁵⁸ MINERBI, Nir. «Is Quantum the New Space Race?», *Coruzant Technologies*. 2021.

⁵⁹ PANNIER, Alice. «Can Europe compete in the quantum 'space race'?, *TechCrunch*. 2021.

⁶⁰ CANDELON, François, COURTAUX, Maxime, NAHAS, Gabriel y BOBIER, Jean-François. «Here's what it will take to win the quantum computing arms race», *Fortune*. 2022.

y el Reino Unido alrededor de 1.800 millones, todo ello para convertirse en las superpotencias cuánticas del mañana⁶¹.

En 2019, Washington aprobó la Ley de Iniciativa Cuántica Nacional, que estableció los planes del país para crear rápidamente capacidades de computación cuántica, y en 2021, se unió al Reino Unido y Australia para desarrollar aplicaciones militares de las tecnologías digitales, especialmente las tecnologías de computación cuántica⁶².

Además, la administración Biden firmó en agosto de 2022 la ley CHIPS and Science Act de 2022, que asigna más de 153 millones de dólares anuales a la informática y las redes cuánticas, algo que demuestra, no solo que China va a entrar en la carrera de los satélites cuánticos, sino que no lo va a hacer por su cuenta⁶³.

El plan de la NASA para construir un enlace cuántico por satélite se denomina «Marconi 2.0⁶⁴». La idea principal de Marconi 2.0 es establecer un enlace cuántico espacial entre Europa y Norteamérica para mediados o finales de la década de 2020, aunque aún se están discutiendo los detalles. Marconi 2.0 no es un proyecto específico, sino un conjunto de ellos⁶⁵.

No obstante, la diferencia entre las carreras espaciales y la batalla cuántica es que, en teoría, cualquier país podría emplear, por ejemplo, el satélite Micius para proporcionar fotones entrelazados que aseguren sus comunicaciones. Por ello, este satélite es un recurso estratégico que, con toda probabilidad, otros países querrán replicar⁶⁶.

El apoyo empresarial

En esta batalla cuántica, el dinero de los gobiernos es solo una parte del cuadro. Miles de millones se invierten de fuentes privadas. Las empresas ven en el desarrollo cuántico una oportunidad de crecimiento espectacular, y los gobiernos creen que sus países no pueden quedarse atrás: empresas de capital riesgo, mercados públicos y fondos internos

⁶¹ CANDELON, François, COURTAUX, Maxime, NAHAS, Gabriel y BOBIER, Jean-François. «Here's what it will take to win the quantum computing arms race», *Fortune*. 2022.

⁶² CANDELON, François, COURTAUX, Maxime, NAHAS, Gabriel y BOBIER, Jean-François. «Here's what it will take to win the quantum computing arms race», *Fortune*. 2022.

⁶³ HERMAN, Arthur. «The Quantum Space Race Is Here», *Forbes*. 2022.

⁶⁴ En honor al inventor italiano Guglielmo Marconi, que fue el primero en lograr una transmisión de radio a larga distancia.

⁶⁵ OBERHAUS, Daniel. «NASA's Plan to Turn the ISS Into a Quantum Laser Lab», *Wired*. 2020.

⁶⁶ ŠILJAK, Harun. «China's quantum satellite enables first totally secure long-range messages», *The Conversation*. 2020.

de las empresas. Por ejemplo, como parte de la escisión de sus actividades de computación cuántica, Honeywell comprometió 300 millones de dólares para desarrollar sus soluciones cuánticas. IonQ, otro proveedor de hardware, recaudó unos 650 millones de dólares a través de una fusión SPAC (Special Purpose Acquisition Corporation, SPAC por sus siglas en inglés)⁶⁷.

Por ello, las inversiones públicas se dividen en dos grandes categorías:

- La creación de centros de colaboración en los que la industria y el mundo académico puedan colaborar en la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías cuánticas.
- El apoyo directo a la comercialización de tecnologías innovadoras⁶⁸.

Dentro de la primera categoría, podríamos incluir la colaboración entre la NASA y el Instituto de Tecnología de Massachusetts, dentro del proyecto Marconi 2.0, para desarrollar un sistema láser cuántico que ayude a transmitir información desde la ISS. Los fotones entrelazados se enviarían a través del LCRD (demostración de retransmisión de comunicaciones por láser, LCRD por sus siglas en inglés), que conectaría con otro satélite para retransmitir estos fotones entrelazados⁶⁹.

Además, la agencia espacial estadounidense se ha unido al consorcio Fleet Space, que trabaja para enviar nanosatélites y sensores de exploración a la Luna en busca de recursos y generar datos útiles para futuras exploraciones humanas que servirán de base para el programa Artemis⁷⁰ de la NASA⁷¹.

Dentro de la segunda categoría se encontraría el apoyo a empresas como IBM, que presentó la primera máquina de dos cubits en los noventa y exporta ahora su máquina Quantum System One, Google, que afirmó haber alcanzado la supremacía cuántica en 2019 con un procesador cuántico de 53 cubits basado en superconductores⁷² así como en numerosas *start-ups* que están desarrollando aplicaciones informáticas. Estas *start-*

⁶⁷ MINERBI, Nir. «Is Quantum the New Space Race?», *Coruzant Technologies*. 2021.

⁶⁸ MINERBI, Nir. «Is Quantum the New Space Race?», *Coruzant Technologies*. 2021.

⁶⁹ HUGHES-CASTLEBERRY, Kenna. «Quantum Computing In Space: Could it be the Answer?», *The Quantum Insider*. 2021.

⁷⁰ Nuevo programa espacial de la NASA bautizado como Artemisa, en honor a la diosa de la Luna, hermana de Apolo según la mitología griega, que tiene por objeto volver a poner un pie humano en la Luna que, esta vez, será el de una mujer.

⁷¹ LEPRINCE-RINGUET, Daphne. «Quantum sensors could soon be heading into space», *ZDNET*, 2021.

⁷² PANNIER, Alice. «Can Europe compete in the quantum 'space race'?», *TechCrunch*. 2021.

ups atraen casi el 50 % de las inversiones en computación cuántica por parte de fondos de capital riesgo y de capital privado, y cuentan con un apoyo estatal de «solo» 1.100 millones de dólares mediante mecanismos que coordinan eficazmente los esfuerzos de todas sus agencias, como el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, por sus siglas en inglés), la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA, por sus siglas en inglés), la NASA y la Iniciativa Cuántica Nacional (NQI, por sus siglas en inglés)⁷³.

Muy cerca de EE. UU., China, cuyo gobierno ha gastado más en el desarrollo de sistemas cuánticos que ningún otro, ha impulsado la investigación académica y produjo más del 10 % de la investigación mundial en 2021⁷⁴. Menos de un año después de que la máquina cuántica de Google resolviera en minutos un cálculo que habría llevado miles de años a los superordenadores, la Universidad de Ciencia y Tecnología de China había resuelto un problema tres veces más difícil. Pekín no ha generado tantas *startups* como Washington, pero se apoya en sus gigantes digitales, como Alibaba, Baidu y Tencent, para desarrollar aplicaciones cuánticas⁷⁵.

Por detrás de China y EE. UU., la Unión Europea, mediante el programa Quantum Flagship, coordina proyectos de investigación en todo el continente, pero esos esfuerzos aún no están del todo alineados. Varios esfuerzos importantes, como los de Francia y Alemania, corren el riesgo de duplicarse o no aprovechan adecuadamente las sinergias.

Airbus anunció el 31 de mayo de 2022 que ha obtenido un contrato de la Comisión Europea para dirigir un consorcio que estudie la red con tecnología cuántica para Europa.

La Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) ha puesto en marcha un proyecto de colaboración con ArQit, empresa británica líder en el campo de la encriptación cuántica, con el fin de proteger la información en un mundo en el que los ordenadores cuánticos se están convirtiendo en algo habitual⁷⁶.

Además, ArQit anunció recientemente su fusión con una filial de Centricus, una empresa de inversión mundial, para desarrollar satélites de última generación para la distribución

⁷³ CANDELON, François, COURTAUX, Maxime, NAHAS, Gabriel y BOBIER, Jean-François. «Here's what it will take to win the quantum computing arms race», *Fortune*. 2022.

⁷⁴ CANDELON, François, COURTAUX, Maxime, NAHAS, Gabriel y BOBIER, Jean-François. «Here's what it will take to win the quantum computing arms race», *Fortune*. 2022.

⁷⁵ CANDELON, François, COURTAUX, Maxime, NAHAS, Gabriel y BOBIER, Jean-François. «Here's what it will take to win the quantum computing arms race», *Fortune*. 2022.

⁷⁶ ESA. «Quantum communication in space moves ahead», *esa.int*. 2021.

de claves cuánticas —denominados QKDSat— a través de su plataforma de suministro de claves.

Esta misma empresa, que ha anunciado recientemente colaboraciones con el gigante estadounidense de la defensa Northrop Grumman y el gigante británico de las telecomunicaciones British Telecom, pretende lanzar dos satélites de distribución de claves cuánticas este año desde el puerto espacial de Cornualles a bordo del LauncherOne de Virgin Orbit. Los aviones de combate y otras unidades militares, así como los centros de mando y control, podrían compartir comunicaciones de forma más segura a través de una red controlada por el Estado denominado Sistema Cuántico Federado (FQS, por sus siglas en inglés)⁷⁷.

La empresa cuántica australiana Q-CTRL tiene previsto enviar sensores cuánticos ultrasensibles y dispositivos de navegación al espacio para ayudar a las misiones sin tripulación organizadas por el consorcio de la industria espacial Seven Sisters, y cuyo inicio está previsto para este año⁷⁸.

Además, Q-CTRL se ha asociado con Advanced Navigation, una empresa de hardware de navegación basado en inteligencia artificial, para desarrollar conjuntamente un sistema de navegación híbrido de técnicas cuánticas y clásicas. Ambas han expresado que la navegación y la temporización de precisión mejoradas por la tecnología cuántica suponen un avance revolucionario en este campo⁷⁹.

En febrero de 2022, la empresa aeroespacial SpeQtral, con sede en Singapur, también anunció que lanzará su primer satélite QKD, SpeQtral-1, en 2024, con la ayuda de la Oficina de Tecnología e Industria Espacial de Singapur y la empresa aeroespacial francesa Thales. Virgin Orbit, que no quiere quedarse atrás en este aspecto, se ha asociado con la empresa británica ArQit para realizar nada menos que cinco lanzamientos de satélites QKD LEO⁸⁰ a partir de 2023. Curiosamente, estos lanzamientos servirían a posibles clientes gubernamentales del FQS de ArQit, que actualmente solo está disponible para los departamentos de defensa de las naciones de los Cinco Ojos⁸¹.

⁷⁷ RAINBOW, Jason. «Governments ally for federated quantum encryption satellite network», *SpaceNews*. 2021.

⁷⁸ LEPRINCE-RINGUET, Daphne. «Quantum sensors could soon be heading into space», *ZDNET*. 2021.

⁷⁹ RAINBOW, Jason. «Governments ally for federated quantum encryption satellite network», *SpaceNews*. 2021.

⁸⁰ Órbita Baja Terrestre (LEO, por sus siglas en inglés).

⁸¹ HERMAN, Arthur. «The Quantum Space Race Is Here», *Forbes*. 2022.

El apoyo del sector privado al público en esta batalla cuántica se ha convertido, de manera inesperada, en el factor determinante que puede decantar la balanza en esta nueva carrera espacial, un efecto «Sputnik⁸²» que podría ser demoledor para el resto de los contrincantes.

Conclusiones

En el marco de la Guerra Fría, las dos principales potencias mundiales llegaron a invertir miles de millones de dólares en la exploración del espacio en un intento de superar la competencia mutua, y el espacio se convirtió en el escenario donde tuvo lugar la contienda más importante de una guerra sin violencia directa: la contienda tecnológica.

La posición global de EE. UU. quedó reforzada por el éxito del Apolo 11, el cual superó todos los logros previos soviéticos. El alunizaje histórico fue presenciado por más de mil millones de personas y abrumó a los estadounidenses con un sentimiento de orgullo y superioridad indiscutible, y propició un entendimiento en este ámbito que ha perdurado hasta nuestros días.

A pesar de ello, la carrera espacial del siglo XX dio lugar a una nueva rama de las relaciones internacionales: la astropolítica, que, utilizando las teorías de los tratadistas geopolíticos más influyentes de finales del siglo XIX y principios del XX, trasladó la contienda al espacio de acuerdo con una doctrina que maximiza la importancia de las situaciones más altas en relación con el adversario.

El hallazgo de agua congelada en la Luna en 2008 ha reavivado el interés por los recursos de nuestro satélite después de un periodo de tranquilidad en este ámbito. La presencia de agua ha hecho posible la supervivencia del ser humano en el espacio, lo que a su vez ha estimulado el interés comercial en la minería espacial debido a la reducción de los costos de los viajes al espacio.

La democratización del espacio, es decir, la reducción de los costes y la tecnología necesaria para acceder a él ha dado lugar a una nueva carrera espacial donde los países no compiten individualmente, sino que establecen alianzas puntuales para explorar el espacio y obtener beneficios económicos. En esta carrera espacial, las sinergias se

⁸² ŠILJAK, Harun. «China's quantum satellite enables first totally secure long-range messages», *The Conversation*. 2020.

crean tanto entre Estados como entre empresas, así como entre Estados y empresas, con el objetivo común de reducir los costos asociados y maximizar los beneficios.

Después de más de medio siglo desde que Washington plantó la primera bandera en la Luna, parece que ha comenzado una nueva carrera espacial por los recursos, que es más lenta y prolongada que la anterior. En esta carrera, China ha tomado la delantera y se ha situado por delante de sus competidores.

La búsqueda de Pekín por lograr un estatus destacado entre las potencias espaciales sentó las bases de un programa espacial que le ha permitido tomar una posición ventajosa en la actual «fiebre del oro» espacial. Ello, junto con el impulso de su sector industrial espacial nacional, puede propiciar que China tenga la capacidad de mantenerse a la cabeza de esta nueva carrera espacial.

Consciente de la ventaja adquirida por Pekín, tanto en la competencia espacial como en el sector económico asociado, EE. UU. ha tomado medidas para recortar distancias mediante el impulso, tanto de su sector espacial estatal, como del privado.

Estas empresas, además de suministrar productos a los gobiernos, compiten comercialmente entre sí y con los propios Estados.

Por ello, el espacio exterior está cada vez más interconectado con los ámbitos terrestres y se encuentra cada vez más congestionado con diversos actores, tanto estatales como no estatales, y residuos espaciales que representan una amenaza para las operaciones en el espacio, por lo que es posible que pueda provocar que las dos principales potencias mundiales compitan por su control militar, convirtiéndolo en un escenario de posible conflicto.

El aumento de la actividad en el espacio, junto con la saturación de su uso y la actual tendencia hacia la competencia y la desconfianza, en lugar del compromiso y la cooperación, ha dado lugar a que el espacio cercano a la Tierra se convierta en un área cada vez más conflictiva. Un resultado visible de esta situación es la creciente militarización del espacio.

Sin embargo, la militarización del espacio no solo implica el desarrollo de la industria de defensa y armamento espacial, sino también una revolución en los asuntos militares. Para establecerse en el espacio, es necesario contar con sistemas de comunicaciones

fiables, rápidos, robustos y seguros que permitan el correcto intercambio de información entre la Tierra y el espacio.

Por ello, en la actual carrera espacial se está librando una batalla cuántica en los laboratorios de investigación, donde los cerebros y los científicos son más importantes que las armas y los soldados. La financiación de la investigación es la munición crítica en esta lucha, en la cual China ha tomado la delantera frente a EE. UU.

*Alejandro Fernández de
Bobadilla Ferrer**

*Capitán de Corbeta, DEM.
Máster Universitario en Estudios de Seguridad Internacional por la UNIR*