
TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS: POTENCIALES EFECTOS EN LA ESTRATEGIA

♦ R E S U M E N ♦

Las tecnologías cuánticas en desarrollo (computación, sensores y comunicaciones) son claves en la competencia entre EE.UU. y China por lograr la supremacía mundial. Ofrecen enormes capacidades potenciales para la seguridad y la defensa, como asimismo nuevas amenazas, aspectos que deberían ser consideradas como prioridades de investigación y desarrollo futuras.

Palabras clave: Estrategia, defensa, seguridad, tecnologías, cuánticas.

QUANTUM TECHNOLOGIES: POTENTIAL IMPLICATIONS ON STRATEGY

♦ A B S T R A C T ♦

Developing quantum technologies, such as computing, sensors, and communications, is crucial in the strategic competition between the United States and China for global supremacy. These technologies offer enormous potential capabilities for security, defense, and new threats, which should be prioritized in future research and development initiatives.

Keywords: Strategy, defense, security, technologies, quantum.



GUSTAVO JORDÁN ASTABURUAGA

Vicealmirante

Magister en Ciencias Navales y Marítimas (AGN)

(gustavojordan1955@gmail.com)

Viña del Mar, Chile.

Desde hace siglos las estrategias militares han estado evolucionando constantemente, pese a que sus principios se mantienen constantes. Esto se debe a que nuevas tecnologías han permitido cambiar sus procedimientos, logrando, en ocasiones, capacidades resolutorias, tal como ocurrió con las armas nucleares en la Segunda Guerra Mundial.

Las tecnologías cuánticas tienen el potencial de generar avances disruptivos en ciertas áreas existiendo un cierto consenso en que, una vez que logren madurar, tendrán efectos relevantes en las estrategias militares, iniciando una nueva era en las guerras futuras.

La inteligencia artificial y las tecnologías cuánticas han estado en el centro de la competencia tecnológica entre Estados Unidos y China. Son hoy prioridades de seguridad nacional de ambos países. En el desarrollo de nuevos sensores cuánticos los avances han sido parejos, en las comunicaciones China ha logrado el liderazgo, y en computación cuántica, el área de mayor impacto potencial, Estados Unidos ha mantenido la delantera (The Economist, 2024).

En la última década se han invertido cerca de US \$ 42.000 millones de dólares en estas investigaciones científicas (Chou, 2025), y de acuerdo con un estudio de mercado, las tecnologías cuánticas podrían llegar a crear un valor económico de alrededor de US \$ 2 trillones (2.000.000.000.000 dólares) en la próxima década (McKinsey Report, 2024).

Algunos antecedentes de la física cuántica

La física clásica explica el comportamiento de los objetos más grandes que un átomo, pero no lo que ocurre dentro del mismo. Entre 1900 y 1930 el estudio de estos fenómenos a nivel atómico originó la rama de la ciencia que hoy conocemos como "física cuántica", lográndose determinar que tienen sus propios principios, entre

"Los cambios más significativos en la guerra en las próximas décadas se podrían derivar de los rápidos progresos de la inteligencia artificial y de la computación cuántica"

General M. Milley

ellos la "superposición", que establece que una partícula subatómica puede estar en diferentes estados a la vez; el "entrelazamiento", que es aquella propiedad en que dos partículas, estando tan separadas como se desee, pueden estar correlacionadas de forma que al interactuar con una la otra se entera de esta interacción; y el "teletransporte", que utiliza el "entrelazamiento" para enviar información de un lugar a otro del espacio físico sin necesidad de viajar a través de él.

Esta rama de la física ha generado dos revoluciones, la primera ocurrió en la Segunda Guerra Mundial y tuvo como consecuencias el desarrollo de la energía nuclear, las armas atómicas, el láser, los transistores y la creación de los computadores digitales, junto con otras diversas aplicaciones comerciales. La segunda, en pleno desarrollo en la actualidad, tiene el potencial de revolucionar a la inteligencia artificial, las estrategias y operaciones militares, la seguridad de las comunicaciones y la economía, junto con resolver algunos de los más complejos problemas existentes.

Principales tecnologías en desarrollo en la segunda revolución cuántica

"Los computadores cuánticos podrán algún día desarrollar cálculos en minutos, lo que tomaría a los

supercomputadores actuales billones de años en obtener resultados”, The Economist, 2024.

En la actualidad se están desarrollando paralelamente los computadores, los sensores y las comunicaciones cuánticas, áreas que analizaremos a continuación.

● Computación cuántica:

“En la próxima década se invertirá más dinero en computación que en petróleo”, Wall Street Journal, 2025.

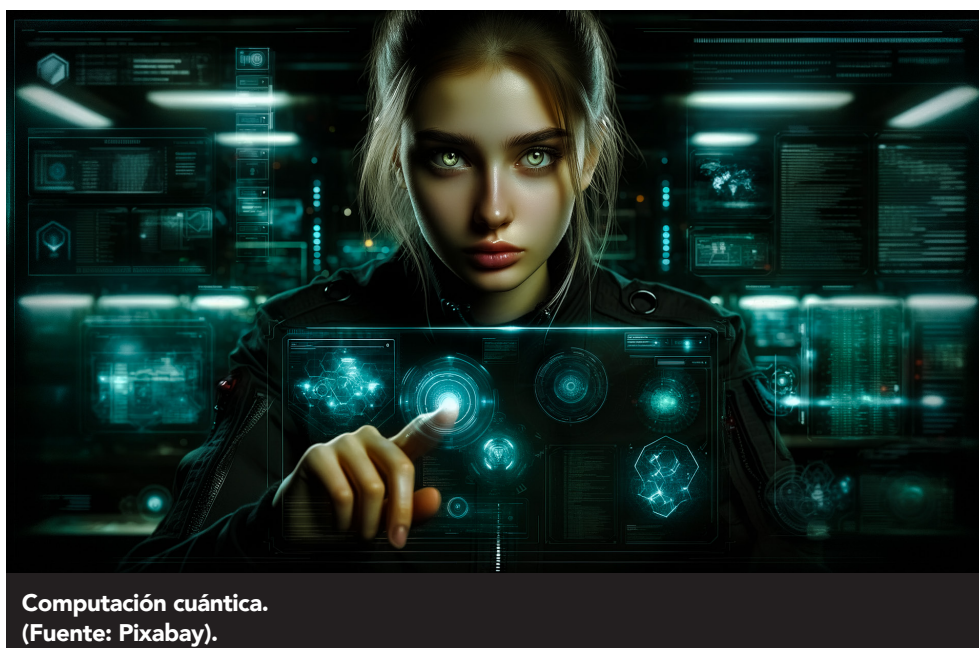
La computación cuántica surgió de las ideas planteadas por el científico Richard Feynman en 1981 (premio Nobel de física) de utilizar las propiedades de la física cuántica para efectuar cálculos computacionales.

En el año 2019 un computador cuántico experimental de Google (Sycamore) logró resolver un problema matemático en 200 segundos, lo que le habría tomado 10.000 años en resolver al computador digital más poderoso de la época. Al año siguiente, científicos chinos informaron haber desarrollado un computador cuántico con 100.000.000.000 más capacidades que un supercomputador digital (Kaku, 2023).

Los principios de funcionamiento de los computadores cuánticos son muy diferentes a los de la computación digital. Su unidad base de potencia computacional es el “qubit” (en vez de los “bits”, que son binarios), los cuales pueden asumir varios valores al mismo tiempo, permitiendo efectuar múltiples cálculos simultáneamente, lo que se traduce en una capacidad computacional muy superior y exponencial. Se espera que los computadores cuánticos futuros sean billones de veces más rápidos que los computadores digitales. Un computador cuántico de 100 “qubits” es capaz de efectuar más de un billón de billones de billones de cálculos simultáneos (Srivastaba, 2024).

Su mayor ventaja es que poseen una gigantesca capacidad computacional, superando con creces a los más poderosos supercomputadores digitales existentes para resolver ciertos problemas, consumiendo una pequeña parte de la energía eléctrica de aquellos.

En 1994 el científico Peter Shor advirtió que los futuros computadores cuánticos podrían ser capaces de



Computación cuántica.
(Fuente: Pixabay).

Tecnologías cuánticas: Potenciales efectos en la estrategia

G. Jordán

quebrar las claves criptográficas digitales existentes en general, y aquellas que estuvieran basadas en la factorización de grandes números, en particular. Para lograr esto se requeriría de una capacidad de computación cuántica del orden de 40.000 veces la lograda hasta la fecha, lo que podría ocurrir en la próxima década (Chou, 2025).

Sin embargo, el potencial de empleo de los computadores cuánticos es mucho más amplio que la criptografía. Su aplicación más efectiva podría ser en aplicaciones de inteligencia artificial, desarrollo de nuevos productos químicos y materiales, simulaciones y optimizaciones de problemas militares muy complejos, de seguridad y otros de múltiples variables simultáneas, junto con poseer una gran capacidad de procesamiento de datos.

Por otra parte, los supercomputadores digitales actuales han seguido aumentando sus capacidades, pero numerosos científicos estiman que están llegando al límite de su desarrollo potencial y tienen limitaciones para ejecutar algunos algoritmos que requieren evaluar numerosas variables en forma simultánea.

Los nuevos desarrollos de inteligencia artificial requieren una creciente capacidad computacional para entrenar sus algoritmos. De hecho, esta demanda se ha estado duplicando cada 100 días en los últimos años. De mantenerse esta tendencia, la demanda computacional para estos efectos será el año 2030 superior a 1.000.000 de veces la actual. Tomando en cuenta estos factores, el Presidente Trump, junto con suprimir varias restricciones para el desarrollo de la inteligencia artificial en Estados Unidos, anunció el programa "Stargate", que es una inversión privada para construir numerosos data centers por un valor inicial de US \$ 100.000 millones de dólares (que podría llegar a ser de hasta US \$ 500.000 millones en 4 años), para aumentar la capacidad computacional

norteamericana y ganar la carrera de la inteligencia artificial a China (New York Times, enero-2025).

Por su parte, los computadores cuánticos tienen actualmente varias debilidades. Entre las más destacadas se encuentran que son muy inestables, generan muchos errores, requieren operar a temperaturas cercanas al cero absoluto y son muy sensibles a las interferencias del entorno. Sin embargo, durante el año 2024 se lograron importantes avances en la corrección de sus errores y se espera que a corto plazo puedan aumentar rápidamente sus capacidades teniendo este factor bajo control (Brooksarchive, 2024).

El aumento sostenido del número de "qubits" ha incrementado exponencialmente su potencia computacional en los últimos años. Para su operación se requieren nuevos softwares, pero ya existen más de 60 que pueden ser utilizados en estos computadores disponibles en más de 20 data centers existentes en diversos países occidentales (Chou, 2025).

El computador cuántico más capaz existente a fines del 2024 era de la empresa Google (denominado "Willow") y lograba resolver un problema en menos de 5 minutos, lo que le tomaría al supercomputador digital 10 elevado a 25 años (Weisseberger, 2024).

Pese a estos avances, la realidad al mes de julio del 2024 era que "la computación cuántica no proveía ventajas tangibles prácticas sobre la computación digital clásica, ya sea en el ámbito comercial o en sus aplicaciones científicas", siendo todavía una tecnología experimental en desarrollo (Bobier, 2024).

● Sensores cuánticos:

Los sensores cuánticos explotan las características cuánticas de la luz y de los átomos para medir con

una precisión increíble algunas magnitudes físicas como frecuencia, tiempo, gravedad, temperatura, presión, rotación, aceleración, cambios magnéticos y eléctricos.

Algunos de sus empleos prácticos actuales son los relojes que logran una precisión de 1 segundo en 10.000 millones de años y los magnetómetros atómicos que se utilizan en la búsqueda de nuevos minerales. En este ámbito se están desarrollando los sistemas de navegación cuánticos que podrían reemplazar en el futuro a los sistemas de navegación inerciales mejorando su precisión en hasta 100 veces, logrando independizarse de los sistemas de navegación por GPS (y equivalentes).

Los desarrollos de sensores cuánticos están enfocados a corto plazo a satisfacer necesidades de las industrias del petróleo, aeroespacial y de los sectores de la defensa y seguridad, áreas que podrían experimentar cambios disruptivos a contar del 2030 (McKinsey Report, 2024).

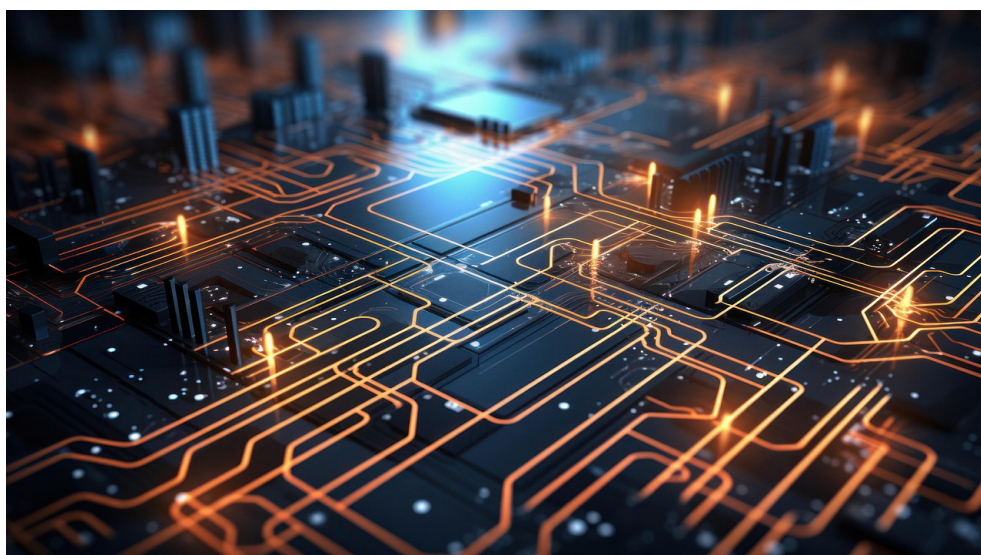
Según un informe del Congreso norteamericano, varios sensores

cuánticos están a corto tiempo de entrar en servicio (Sayler, 2024). Algunos podrían facilitar la detección de submarinos sumergidos, aviones o drones "invisibles", emisiones electrónicas en una amplia gama de frecuencias y la existencia de túneles subterráneos, entre otras capacidades. También existirá la posibilidad de instalarlos en satélites.

● Comunicaciones "post cuánticas":

La criptografía digital es un aspecto central de la seguridad de las comunicaciones modernas, abarcando las claves de acceso a las bases de datos de la defensa, de la seguridad, de los sistemas de control de la infraestructura crítica, de las transacciones de sistema financiero y empresarial. Es imposible predecir cuándo los computadores cuánticos podrían lograr quebrar las claves criptográficas digitales actuales, sin embargo, un reporte del Congreso de EE.UU. indica que esto podría lograrse en la próxima década (Sayler, 2024).

Algunas organizaciones criminales y otros adversarios saben que algún día será posible quebrar las claves



Sensores cuánticos.
(Fuente: Pixabay).

criptográficas de las comunicaciones, por lo que pueden estar efectuando el proceso de "almacenar ahora (información encriptada) para cosecharla (decodificarla) después" (Hydari, 2022).

En la actualidad más del 80% de la información que circula por internet está encriptada digitalmente, por lo que la explotación de las denominadas "fuentes abiertas" por parte de los sistemas de inteligencia de algunos países se ha convertido, también, en un desafío criptográfico (The Economist, 2024).

Después de varios años de pruebas, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías norteamericano aprobó en agosto del 2024 tres algoritmos "post cuánticos" (teóricamente imposibles de descifrar con computadores cuánticos) para ser implementados en las comunicaciones. Estados Unidos ya inició el cambio de las claves de sus comunicaciones a estándares "post cuánticos" y la Agencia de Seguridad Nacional norteamericana estimó que esta transición se completará cerca del año 2035 (Sayler, 2024).

Otra alternativa para proveer seguridad a las comunicaciones es distribuir claves cuánticas junto con la transmisión de la información digital (en inglés *Quantum Key Distribution, QKD*), detectando cualquier intromisión externa a estos enlaces.

Tecnologías cuánticas en Chile

El 2024 fueron convocados por el ministerio de Ciencia y Tecnología representantes de las universidades de Santiago, Católica de Santiago, de Chile, Santa María y de Concepción, del ministerio del Interior, del *Milenium Institute for Research in Optics*, y de la empresa Secure Quantum Chile, para proponer medidas para potenciar la investigación y desarrollo de las tecnologías cuánticas en Chile.

En septiembre de ese año esta comisión formuló 15 propuestas, entre ellas la creación de una Comisión Nacional de Tecnologías Cuánticas, desarrollar la colaboración con el sector privado y promocionar a Chile como líder regional



Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), Estados Unidos.
(Fuente: Wikimedia Commons).

de estas tecnologías. Adicionalmente, se propuso crear una Estrategia Nacional de Tecnologías Cuánticas, nuevos laboratorios, ofrecer fondos concursables para su investigación, fomentar el desarrollo soluciones en base a estas tecnologías, crear un centro de innovación cuántica y apoyar la creación de "startups" relacionadas.

Ente el 2013 y 2016 la Universidad de Concepción había logrado transmitir informaciones digitales con distribución de claves cuánticas a una distancia de 48 kilómetros. En la actualidad 10 universidades chilenas poseen laboratorios de física cuántica y la Universidad de la Frontera cuenta con un computador cuántico de 2 "qubits" desde el año 2024.

Esta comisión estimó que Chile tenía una oportunidad única para posicionarse como una potencia en esas materias ya que tenía más de 30 años de investigación en el ámbito de la física cuántica (Albarrán, 2024).

Consideraciones finales

Lastecnologíascuánticastieneneelpotencial de iniciar una nueva era, revolucionando a

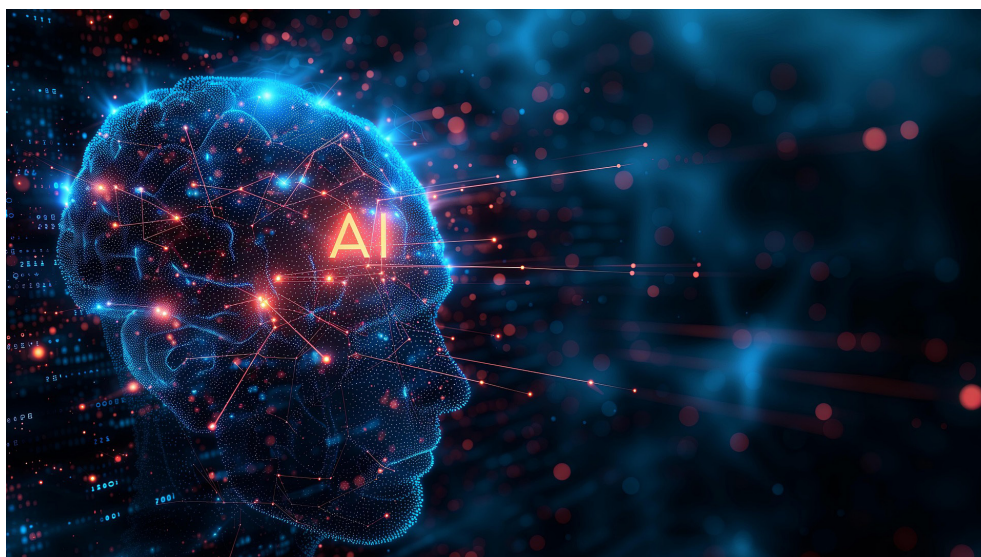
todas las estrategias militares aplicadas en los diferentes dominios de la guerra.

La competencia por lograr la supremacía cuántica y la inteligencia artificial entre China y Estados Unidos está en pleno desarrollo.

No es posible predecir cuándo se masificarán las diferentes tecnologías cuánticas, pero sí que sus efectos podrían ser altamente disruptivos y afectarán a defensa, seguridad y, en forma más amplia, al desarrollo de los países.

De concretarse las expectativas de los científicos respecto de los computadores cuánticos, pese a sus deficiencias actuales, estos ofrecerán capacidades computacionales exponencialmente superiores a las actuales, pero antes de que esto ocurra se requerirá que mejoren su confiabilidad, aumenten su potencia, disminuyan sus errores y se constituyan en alternativas costo/efectivas económicamente.

Los futuros sensores cuánticos tienen el potencial de revolucionar la vigilancia del campo de batalla, conformando un panorama operacional común más completo y preciso fusionando la



Inteligencia Artificial.
(Fuente: Pixabay).

información de inteligencia obtenida por todos los medios, incluyendo los sensores submarinos, de superficie, aéreos, espaciales, de guerra electrónica y cibernética.

A mediano plazo se prevé que convivirán los supercomputadores digitales con los computadores cuánticos debido a que tienen capacidades complementarias.

La demanda exponencial existente de aumentar la capacidad computacional para entrenar los nuevos modelos de inteligencia artificial podría constituirse en un incentivo relevante para acelerar el desarrollo de la computación cuántica.

La amenaza de "almacenar ahora para cosechar después" es tan grave como quebrar las claves criptográficas de las comunicaciones, lo que

podría afectar gravemente a la seguridad estatal y privada – en sus más variadas dimensiones – y a la defensa nacional.

Varias universidades chilenas poseen laboratorios de física cuántica y llevan más de 20 años investigando estos fenómenos, por lo que Chile tiene una buena base intelectual y científica y el potencial de convertirse en una potencia regional en esta área, junto con facilitar la adopción de estas tecnologías en la seguridad, defensa, economía y áreas de desarrollo social.

El estudio e implementación de las claves "post cuánticas" y otras medidas para asegurar la inviolabilidad de las comunicaciones digitales, el acceso a las bases de datos y de control de la infraestructura crítica, deberían ser una prioridad de investigación y desarrollo futuros.



LISTA DE REFERENCIAS

1. Akhter, K. (2023). Prospects and challenges of quantum technology in future warfare. *International Journal of Novel Research and Development*, 8(5). India.
2. Albarrán, F., et al. (2024). Recomendaciones y desafíos para el fortalecimiento del ecosistema cuántico en Chile. Ministerio de Tecnología. <https://www.mintecnologia.cl> (si aplica)
3. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2019). Tecnologías cuánticas: Una oportunidad transversal e interdisciplinar para la transformación digital y el impacto social. BID.
4. Bobier, J., et al. (2024, julio 18). The long-term forecast for quantum computing still looks bright. BCG Publications.
5. Brooksarchive, M. (2024, enero 4). Quantum computing is taking on its biggest challenge: Noise. MIT Technology Review.
6. Brose, C. (2019, mayo-junio). The new revolution in military affairs. *Foreign Affairs Magazine*.
7. Choi, D. (2023, septiembre 6). Quantum technologies on future warfare. Expedition with MCUP.
8. Chou, C., et al. (2025, enero-febrero). The race to lead the quantum future: How next computing revolution will transform the global economy and upend the national security. *Foreign Affairs*, (1).
9. Fundación Innovación Bankinter. (2023). Quantum computing e IA: La revolución silenciosa. Future Trends Forum. España.
10. Hidayi, J. (2022, noviembre 18). You can't afford to ignore quantum computing: Encryption needs to be updated to protect sensitive data. *The Economist*.
11. Homeland Security. (2024, noviembre). Quantum technologies and Homeland Security. U.S.A.
12. Kaku, M. (2023). Quantum supremacy: How the quantum computer revolution will change everything. Doubleday Books.
13. Kang, C., & Metz, C. (2025, enero 21). Trump announces \$100 billion artificial intelligence initiative.
14. Keesling, A. (2023, noviembre 10). The future of computing is hybrid: Why quantum computers will work alongside classical systems. *Forbes*.
15. McGregor, J. (2023, noviembre 28). Quantum computing is coming faster than you think. *Forbes*.
16. McKinsey Report. (2024, abril 24). Steady progress in approaching the quantum advantage.
17. NATO. (2023). Quantum technologies and the Science for Peace and Security Programme.
18. Pliz, K., et al. (2025). AI's power requirements under exponential growth (Research Report). RAND Corporation.
19. Sayler, K. (2024, noviembre 4). Defence primer: Quantum technology. Congressional Research Service.
20. Selby, L. (2021, mayo). Chief of Naval Research talks about quantum, lasers, basic research and STEM education. *U.S. Naval Proceedings*.
21. Scharre, P. (2023). Four battlegrounds: Power in the age of artificial intelligence. W. W. Norton & Company.
22. Srivastava, A. K. (2024, agosto). Preparing for quantum warfare. Sinergy. India.
23. The Economist. (2024, agosto 21). The world needs codes quantum computers can't break: America's standards agency thinks it has identified three.
24. The Wall Street Journal. (2025, enero 31). Is the market for computing power the next big thing?
25. Van Amerongen, M. (2021, junio 3). Quantum technologies in defence and security. *NATO Review*.
26. Weissberger, A. (2024, diciembre 10). Google's new quantum computer chip Willow infinitely outpaces the world's fastest supercomputers.