

12 de enero de 2026

David Garcia-Retuerta

La cadena de valor de la inteligencia artificial: estrategias de autonomía para España

Resumen:

En la era de la inteligencia artificial (IA), el poder tecnológico y económico de las naciones está cada vez más ligado a su control sobre las cadenas de valor digitales. La IA no es un producto aislado, sino el resultado de una compleja integración de insumos y procesos que abarcan *desde la minería hasta el despliegue de servicios* en manos de usuarios finales. Esta cadena de suministro de IA –o *stack* de IA– comprende varias capas interdependientes: componentes físicos (minerales y chips), infraestructura digital, insumos intangibles (datos, algoritmos, capital humano) y aplicaciones que llegan al tejido socioeconómico. Cada capa podría generar “cuellos de botella”, causando vulnerabilidades para el resto del mundo. En particular, examinar la posición de España en cada etapa permite identificar fortalezas aprovechables, así como dependencias.

Palabras clave:

Inteligencia artificial (IA), Cadena de valor digital, Soberanía tecnológica,
Semiconductores, Datos, Capital humano

***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 Artificial Intelligence Value Chain: Autonomy Strategies for Spain

Abstract:

In the age of artificial intelligence, the technological and economic power of nations is increasingly tied to their control over digital value chains. AI is not an isolated product, but the result of a complex integration of inputs and processes that span from mining to the deployment of services in the hands of end users. This AI supply chain – or AI stack – consists of several interdependent layers: physical components (minerals and chips), digital infrastructure, intangibles inputs (datasets, algorithms, human capital), and applications that permeate the socioeconomic fabric. Each layer could be affected by bottlenecks, creating vulnerabilities for the rest of the world. In particular, examining Spain's position at each stage allows for the identification of exploitable strengths as well as dependencies.

Keywords:

Artificial intelligence (AI), Digital value chain, Technological sovereignty, Semiconductors, Data, Human capital

Cómo citar este documento:

García Retuerta, Oscar; García-Retuerta, David. *La cadena de valor de la inteligencia artificial: estrategias de autonomía para España*. Documento de Opinión IEEE 03/2026. [enlace web IEEE](#) y/o [enlace bie³](#) (consultado día/mes/año)

El concepto de cadena de suministros de la inteligencia artificial describe el conjunto de capas interdependientes que hacen posible su funcionamiento, desde la extracción de recursos minerales hasta las aplicaciones finales. Esta estructura incluye seis niveles (materias primas, semiconductores, infraestructura de computación y energía, datos, capital humano y adopción tecnológica) que conforman un sistema integrado en el que cada etapa depende de la anterior, de modo que un bloqueo en cualquiera de ellas puede alterar toda la cadena de valor¹. Para reforzar los eslabones más vulnerables, la Unión Europea ha desplegado un marco normativo e industrial de gran alcance. El European Chips Act prevé una inversión de 43.000 millones de euros con el propósito de duplicar la cuota europea de producción mundial de semiconductores hasta alcanzar el 20 % en 2030, fortaleciendo así la autonomía estratégica europea².

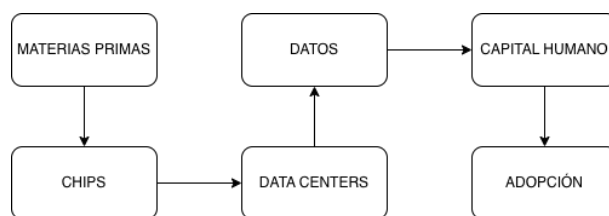


Figura 1: Cadena de la IA (elaboración propia)

En sintonía con esta iniciativa, España lanzó en 2022 el *PERTE de Microelectrónica y Semiconductores*, dotado con 12.250 millones de euros hasta 2027, orientado al desarrollo de capacidades industriales y formativas a lo largo de toda la cadena del chip³. Complementariamente, la Critical Raw Materials Act busca garantizar el suministro de minerales esenciales para la transición digital y verde mediante metas de producción, refinado y diversificación de proveedores, reduciendo la dependencia estructural de China, que domina más del 90 % del refinado de tierras raras⁴. Finalmente, la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial y la creación de la Agencia Española de Supervisión de la IA (AESIA) completan el marco institucional de gobernanza, talento y datos, consolidando una visión integral en la que la soberanía tecnológica y la resiliencia digital dependen de una cadena integrada que conecta el subsuelo con la nube, los materiales con el software y la innovación con la sociedad⁵.

¹Comisión Europea. *Reglamento (UE) 2023/1781 – European Chips Act*. Bruselas, 2023.

²Comisión Europea. *Critical Raw Materials Act – Proposal*. Bruselas, 2023.

³Gobierno de España. *PERTE de Microelectrónica y Semiconductores*. Madrid, 2022.

⁴Gobierno de España. *Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial*. Madrid, 2020.

⁵Gobierno de España. *Real Decreto de creación de la Agencia Española de Supervisión de la Inteligencia Artificial (AESIA)*. Madrid, 2022.

Materias primas: la base mineral de la IA

Las tecnologías de inteligencia artificial suelen percibirse como un ámbito puramente digital, pero comienza en la geología. Los chips que conforman la infraestructura material de la IA dependen de un conjunto reducido de minerales críticos: silicio ultrapuro, galio, germanio, tierras raras, cobre, litio, cobalto y grafito. Sin ellos no puede existir la cadena tecnológica que sostiene la economía digital.

El caso de las tierras raras resume la magnitud del desafío. China produjo en 2024 alrededor de 270.000 toneladas de óxidos de tierras raras (casi siete de cada diez toneladas extraídas en el mundo) y mantiene un control aún mayor en las etapas de refinado y separación. En los últimos años, Pekín ha reforzado su política de control al establecer licencias sobre el galio, el germanio y productos de grafito, evidenciando cómo los minerales se han convertido en instrumentos de influencia geoeconómica⁶.

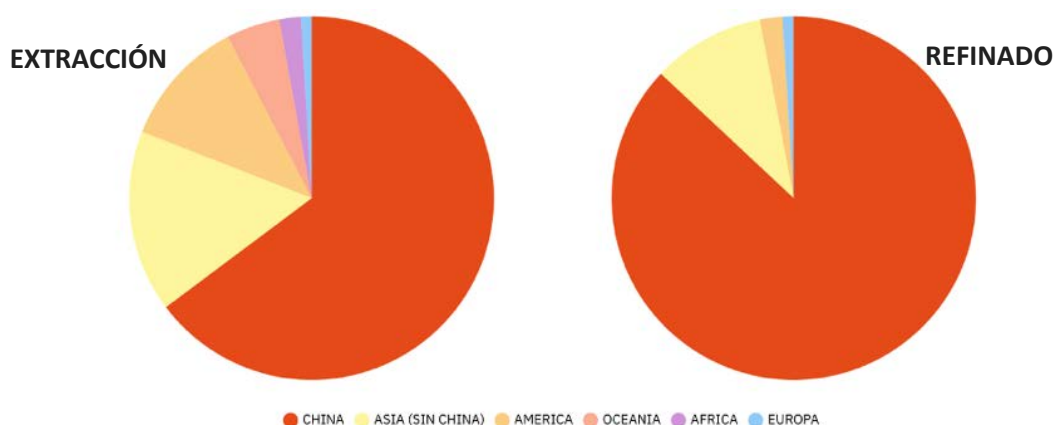


Figura 2: Extracción y refinado de tierras raras (elaboración propia)

Esa concentración no es solo nacional sino también territorial: buena parte del suministro mundial procede de un único distrito, Bayan Obo, en Mongolia Interior. Este yacimiento de hierro, niobio y tierras raras ha financiado durante décadas la extracción de estos minerales como subproducto del hierro. Históricamente, hasta la mitad del suministro global provenía de este enclave, un caso paradigmático de “punto único de fallo”. Paradas técnicas, tensiones ambientales o restricciones locales pueden alterar de forma inmediata la cadena global, un riesgo que se replica en otras materias críticas⁷.

⁶ World Trade Organization (WTO). *China – Measures Related to the Exportation of Rare Earths, Tungsten and Molybdenum (DS431/DS432/DS433)*. Ginebra, 2014.

⁷ NASA Earth Observatory. *Rare Earth in Bayan Obo*. Washington D. C., 2012.

El patrón se repite en el caso del silicio de alta pureza, esencial para las obleas de silicio y crisoles utilizados en la microelectrónica. En 2024, el huracán Helene detuvo temporalmente la producción en Spruce Pine (Carolina del Norte), el principal proveedor mundial. Esto nos recuerda que la resiliencia del entramado tecnológico puede quebrarse por eventos naturales ajenos al sector⁸.

El valor económico de estas materias no refleja su verdadero peso estratégico. El mercado mundial de tierras raras es reducido (las exportaciones chinas alcanzaron en 2024 solo 489 millones de dólares⁹), pero su valor estratégico es desproporcionado, pues influye en cadenas industriales de alto valor añadido.

Ante esta fragilidad, Estados Unidos y la Unión Europea han adoptado estrategias convergentes para reducir la dependencia de China mediante la diversificación de proveedores, la creación de reservas estratégicas, el reciclaje y la búsqueda de materiales sustitutos. Sin embargo, el margen de maniobra es limitado: desarrollar una mina desde su descubrimiento hasta su producción comercial requiere más de 16 años, lo que dificulta corregir los desequilibrios a corto plazo.

España mantiene una alta dependencia exterior en el primer eslabón de la cadena de la inteligencia artificial, sin explotaciones activas de tierras raras ni producciones relevantes de galio o germanio. El marco estratégico nacional busca reducir esta vulnerabilidad mediante exploración doméstica, reaprovechamiento de residuos y desarrollo de procesado dentro de la UE ¹⁰ ¹¹. Proyectos como el de Matamulas, descartado por motivos ambientales, o los de Barruecopardo y Valtreixal, centrados en tungsteno y estaño-wolframio, junto con la refinería de San Cibrao, muestran tanto el potencial como las limitaciones de una política industrial aún incipiente¹² ¹³ ¹⁴. En última instancia, la base mineral de la IA sigue siendo el cimiento invisible pero decisivo de toda la cadena

⁸ Associated Press (AP). *Hurricane Helene Disrupts Quartz Production in North Carolina*. Nueva York, 2024.

⁹ Reuters. China's rare earth exports in 2024 climb as home demand limited. Pekín, 2025.

¹⁰ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). *I Plan de Acción 2025–2029 para la Gestión Sostenible de las Materias Primas Minerales (Borrador)*. Madrid, 2025.

¹¹ EUR-Lex. *Reglamento (UE) 2024/1252 sobre Materias Primas Fundamentales*. Bruselas, 2024.

¹² Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM). *Informe sobre la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Matamulas*. Toledo, 2017.

¹³ Saloro S. L. U. *Barruecopardo – MRE JORC Technical Report 2023*. Salamanca, 2023.

¹⁴ Junta de Castilla y León (JCyL). *Proyecto Minero Valtreixal (Estaño y Wolframio)*. Valladolid, s. f.

tecnológica y un factor de poder geoeconómico que condicionará la autonomía y el ritmo de la revolución algorítmica.

Semiconductores: un dominio concentrado

La segunda capa de la cadena está formada por los semiconductores, los componentes que hacen posible el funcionamiento de los centros de datos. Constituyen, en la práctica, el “cerebro físico” de la IA. Desde 2023, la demanda de chips, en particular los aceleradores de IA como GPU, se ha disparado hasta provocar tensiones de oferta, retrasos de entrega y encarecimientos generalizados. Este fenómeno, centrado en productos de NVIDIA y sustentado por un virtual monopolio del software de computación con CUDA, ha revelado la extrema sensibilidad del ecosistema de IA ^{15 16}.

La cadena del chip es una de las más complejas e interdependientes del sistema tecnológico global. En la fase de diseño, las herramientas de automatización electrónica (EDA) más avanzadas son dominadas por proveedores con sede en Estados Unidos y la Unión Europea, lo que ha permitido a Washington convertir esa posición en un instrumento de control exportador. Los principales diseñadores concentran el liderazgo en arquitecturas de aceleración de IA, consolidando la hegemonía del diseño en Silicon Valley y reforzando la dependencia de todo el ecosistema mundial respecto a las reglas norteamericanas.

Sin embargo, el eslabón más crítico se sitúa en la fabricación avanzada. La mayor parte de la producción por debajo de los 7 nanómetros (especialmente de 5 y 3 nm) se concentra en Taiwán (TSMC) y Corea del Sur (Samsung). Se estima que cerca del 90 % de la capacidad mundial se localiza en Taiwán. Una crisis geopolítica, un bloqueo comercial o incluso un desastre natural podría paralizar el suministro de chips de última generación y, con ello, ralentizar el progreso de la IA mundial¹⁷.

¹⁵ Semiconductor Industry Association. *Strengthening Global Semiconductor Supply Chain*. Washington D. C., 2021.

¹⁶ Government Accountability Office. *Implementation of October 2022 Rules on Semiconductors*. Washington D. C., 2024.

¹⁷ Council on Foreign Relations (CFR). *Onshoring Semiconductor Production: National Security vs. Economic Efficiency*. Nueva York, 2024.

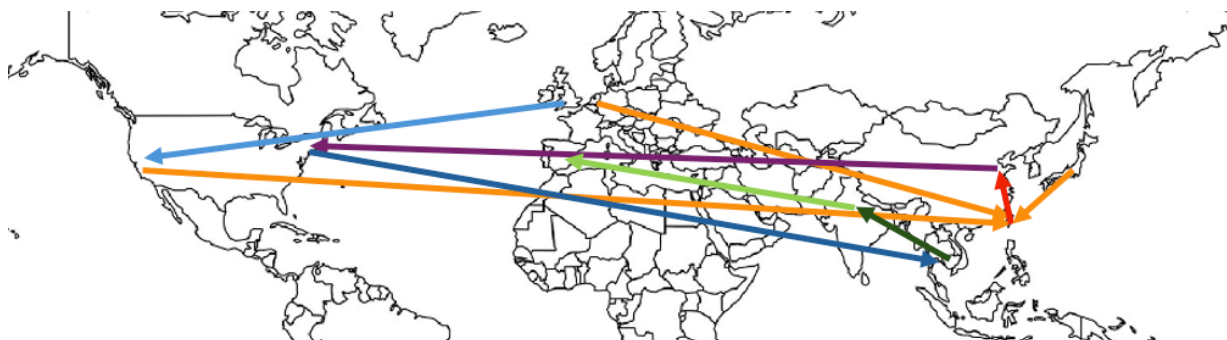


Figura 3: Recorrido de chip M2 de Apple (elaboración propia)

La producción depende, a su vez, de equipos y materiales ultraprecisos con mercados muy reducidos. La litografía ultravioleta extrema (EUV), indispensable para fabricar chips por debajo de 7 nm, es prácticamente monopolio de la neerlandesa ASML, sometida a regímenes de control que restringen exportaciones a China¹⁸.

El encapsulado y la prueba (última etapa del proceso) añaden otra dependencia geográfica. Empresas como ASE (Taiwán), Amkor (EE. UU.) y JCET (China) concentran la mayor parte de la capacidad de ensamblaje. Las técnicas más avanzadas de empaquetado se encuentran también ancladas en esa región, lo que implica que la mayoría de los chips occidentales viajan a Asia para completarse y retornan después integrados en productos finales¹⁹.

Las lecciones de la pandemia de 2020–2021 siguen marcando la estrategia industrial. El parón de fábricas, el auge del teletrabajo y el aumento de la demanda de electrónica de consumo provocaron una escasez sin precedentes. Sectores como el automovilístico perdieron hasta 9 millones de vehículos y más de 200.000 millones de dólares en ingresos, evidenciando que sin reservas estratégicas ni contratos a largo plazo, la prioridad de producción recae en los clientes con mayor poder de compra: las grandes tecnológicas²⁰.

A raíz de estas tensiones, las políticas industriales se han reactivado. En Estados Unidos, la *CHIPS and Science Act* destina 52.700 millones de dólares para reindustrializar la producción de semiconductores, reanclar fábricas y atraer inversiones de TSMC,

¹⁸ ASML. *Annual Report 2025*. Veldhoven, 2025.

¹⁹ BIS. *Advanced Packaging and Assembly Trends in Asia*. Washington D. C., 2023.

²⁰ S&P Global Mobility. *The Semiconductor Shortage Is (Mostly) Over for the Auto Industry*. Londres, 2023.

Samsung o Intel. En la Unión Europea, el *European Chips Act* (Reglamento 2023/1781) fija la meta de alcanzar el 20 % de la fabricación global en 2030 ^{1 21}.

España mantiene una posición rezagada en la cadena de valor de los semiconductores, sin fábricas de obleas a escala industrial y con una fuerte dependencia de importaciones para su industria tecnológica y de defensa. El PERTE Chip, con 12.250 millones de euros hasta 2027, busca revertir esta situación impulsando diseño, formación y encapsulado, aunque la cancelación de la planta de Broadcom en 2025 supuso un revés simbólico³. Factores como el talento científico, la energía renovable competitiva y la buena logística ofrecen potencial, pero la falta de un “tractor” nacional y de capacidades intermedias limita su autonomía.

Infraestructura de computación y energía: el cimiento digital

La tercera capa del *stack* de inteligencia artificial está conformada por la infraestructura de computación, el entramado físico y energético que sostiene el funcionamiento de los sistemas de IA. Si los semiconductores son el “cerebro”, la infraestructura representa el “organismo” que los alberga y la “sangre” energética que los mantiene activos. Esta capa abarca los centros de datos, las redes de comunicación, la disponibilidad eléctrica y las capacidades de cómputo^{22 23}.

Durante la última década, las empresas han tomado el liderazgo en la computación en la nube, que constituye hoy la base material de la IA comercial. Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure y Google Cloud concentran cerca de dos tercios del mercado mundial de servicios *cloud*, proporcionando la capacidad de cómputo que usan tanto corporaciones como gobiernos y centros de investigación. Este oligopolio crea una concentración tecnológica y estratégica: pocas organizaciones fuera de estas compañías pueden construir infraestructuras comparables²⁴.

La energía eléctrica es otro eje crítico. La IA es intensiva en consumo y se calcula que los centros de datos ya absorben cerca del 2 % de la electricidad mundial. El

²¹ Casa Blanca (EE. UU.). *Fact Sheet: CHIPS and Science Act of 2022*. Washington D. C., 2022.

²² World Economic Forum. *AI Infrastructure and Global Cloud Report*. Ginebra, 2024

²³ Instituto Español de Estudios Estratégicos. *La inteligencia artificial en la geopolítica y los conflictos*. Cuadernos de Estrategia n.º 226, Ministerio de Defensa, 2024

²⁴ European Union. *State of the Digital Decade Report 2024*. Bruselas, 2024

entrenamiento de un modelo de gran escala puede demandar cientos de megavatios-hora, por lo que las zonas con energía barata, estable y, preferiblemente, renovable, se vuelven destinos para nuevas instalaciones. Al mismo tiempo, la presión ambiental y las limitaciones de red han llevado a gobiernos como los de Irlanda o los Países Bajos a frenar la expansión de centros de datos por su impacto en la demanda eléctrica y el consumo de agua para refrigeración²⁵.

La conectividad completa esta capa: las redes de fibra óptica y los cables submarinos que transportan los datos son las arterias del sistema. Un puñado de empresas, las mismas que dominan la nube, también financian y poseen gran parte de los cables transoceánicos, lo que refuerza su control vertical de la infraestructura. La desigualdad digital en conectividad, por tanto, se traduce directamente en una desigualdad de acceso a la inteligencia artificial²⁶.

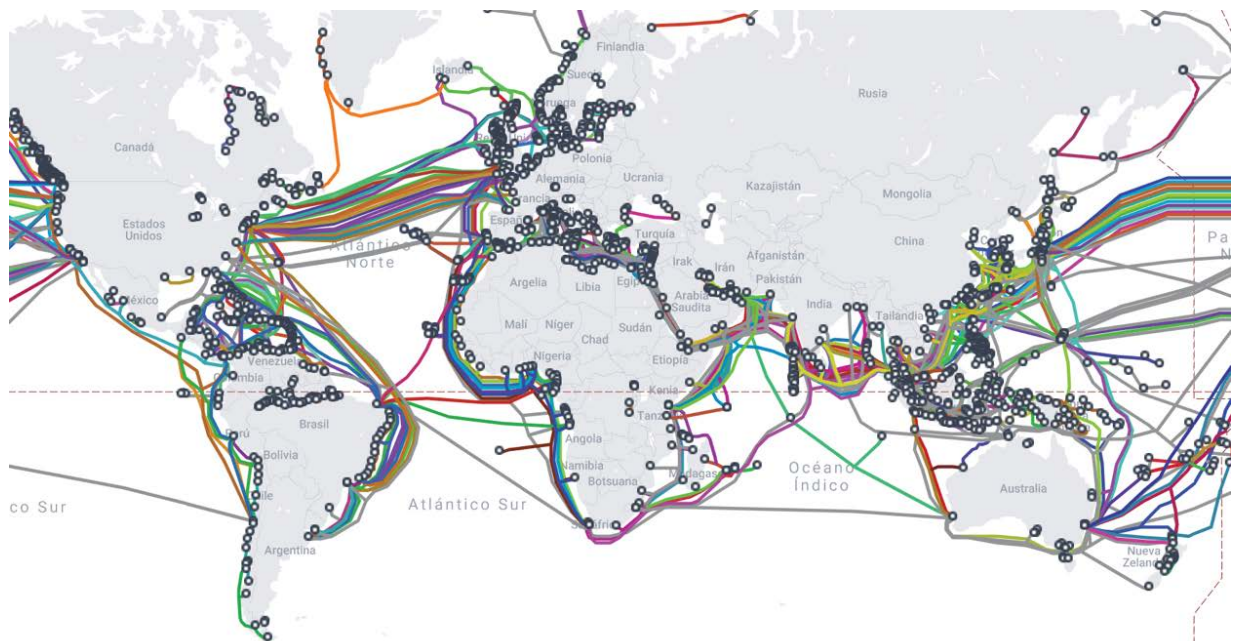


Figura 4: Cables submarinos (actualización octubre de 2025) (Fuente: <https://www.submarinecablemap.com/>)

España presenta una posición intermedia pero estratégica en la capa de infraestructura computacional y energética para la inteligencia artificial: aunque depende tecnológicamente de proveedores extranjeros, ha logrado atraer inversiones significativas de los grandes actores mundiales del *cloud*. AWS inauguró en 2022 su

²⁵ International Energy Agency. *Data Centres and Energy Demand Outlook 2024*. París, 2024

²⁶ TeleGeography. *Global Submarine Cable Map 2024*. Washington D. C., 2024

región en Aragón, mientras que Microsoft Azure y Google Cloud establecen centros en Madrid, lo que refuerza la conectividad local y la capacidad de procesamiento nacional, aunque bajo propiedad foránea. En el ámbito de la supercomputación europea, destacan infraestructuras de vanguardia como JUPITER, LUMI y LEONARDO, entre las más potentes del mundo. En este contexto, España consolida su papel como referencia gracias al Barcelona Supercomputing Center y su sistema MareNostrum 5, ubicado en territorio nacional y situado también entre los quince superordenadores más potentes del planeta. En materia energética, el país dispone de una matriz cada vez más renovable que favorece el despliegue de centros de datos sostenibles, si bien persisten desafíos de refrigeración y disponibilidad hídrica en algunas regiones. Su posición geográfica refuerza esta ventaja: los cables submarinos MAREA, Grace Hopper, 2Africa y EllaLink convierten la península ibérica en un hub digital entre Europa, América y África, lo que amplía su potencial como nodo de tránsito y almacenamiento de datos. En conjunto, España combina fortalezas como la energía limpia, buena conectividad y supercomputación puntera con debilidades como la propiedad extranjera y dependencia tecnológica, por lo que podría consolidarse como nodo europeo de computación verde, capaz de atraer inversión sin renunciar a su autonomía digital²³.

Datos: el valor de la información

La cuarta capa, la de los datos, constituye el elemento que alimenta los modelos y algoritmos, el verdadero “combustible” de la IA. Su relevancia radica en la disponibilidad, accesibilidad y calidad de los grandes volúmenes de información. Estados Unidos y China dominan esta esfera a través de conglomerados que actúan como auténticos oligopolios de información: Google, Meta, Amazon, Microsoft y Apple, junto con sus contrapartes chinas Alibaba, Tencent, Baidu o ByteDance, acumulan y controlan la mayor parte de los datos generados por los usuarios del planeta. Estas empresas concentran información de búsquedas, consumo, interacciones sociales y biometría, construyendo un ecosistema cerrado donde los datos privados alimentan sus propios modelos de IA, inaccesibles para el resto de actores^{27 28}.

²⁷ World Economic Forum. *Global Data Platforms and AI Value Chains Report*. Ginebra, 2024

²⁸ European Parliament. *Regulation (EU) 2016/679 – General Data Protection Regulation (GDPR)*. Bruselas, 2018

La asimetría regional acentúa esta brecha. Estados Unidos y China poseen las poblaciones digitales más extensas y homogéneas, lo que les permite generar conjuntos de datos masivos y variados. Europa, en cambio, aunque cuenta con una base de usuarios considerable, se ve lastrada por la fragmentación lingüística y regulatoria, así como por la falta de plataformas propias de alcance global. Al mismo tiempo, Estados Unidos y China han aprovechado vacíos regulatorios para consolidar sus ecosistemas de datos y entrenar modelos en idiomas predominantes, generando así una ventaja estructural y un sesgo idiomático en la IA, más precisa en inglés o chino que en lenguas europeas menos representadas²⁷.

Sin embargo, en los últimos años se observa una remercantilización del acceso a datos. Plataformas que antes ofrecían interfaces abiertas, como Twitter o Reddit, han restringido o monetizado su uso, transformando los datos que antes eran considerados bienes comunes digitales en activos comerciales. Este cierre responde al valor económico que las IA extraen del contenido generado por usuarios, reforzando el carácter estratégico del control sobre la información. En síntesis, la capa de datos refleja el equilibrio inestable entre protección y explotación, entre soberanía y concentración: mientras las potencias tecnológicas consolidan su dominio mediante acumulación, Europa apuesta por una gobernanza regulada y cooperativa que busca preservar la autonomía sin sacrificar los derechos digitales²⁴.

España refleja en la capa de datos y plataformas digitales la posición general de la Unión Europea: depende de infraestructuras y servicios extranjeros. Carece de grandes plataformas tecnológicas nacionales, por lo que los datos de usuarios y empresas suelen residir en servidores extranjeros, aunque su idioma es una fortaleza estratégica: el español, con más de 500 millones de hablantes, es útil para posicionar al país como referente en IA en español²⁹.

Investigación, algoritmos y talento: el capital intelectual

El quinto escalón, el del conocimiento y la capacidad de innovación, constituye el núcleo intelectual y científico de todo el ecosistema. Comprende la investigación en algoritmos,

²⁹ Banco de España. *Adoption of Artificial Intelligence in Spanish Firms: An Initial Analysis*. Boletín Económico, 25/T2, 2025

el desarrollo de modelos, la generación de propiedad intelectual (patentes y software) y, sobre todo, el capital humano especializado. Este nivel define qué actores crean la próxima generación tecnológica y con qué grado de autonomía. Su carácter intangible no lo hace menos estratégico: concentra poder estructural, ya que quien domina la innovación dicta los estándares y ritmos del progreso³⁰.

Estados Unidos mantiene la primacía histórica en el desarrollo de la IA desde la conferencia de Dartmouth (1956). Instituciones como MIT, Stanford, Berkeley o Carnegie Mellon, junto con laboratorios empresariales (IBM, Google, OpenAI, Microsoft), han marcado el avance. China, sin embargo, ha escalado de forma vertiginosa: en 2020 ya superaba a EE. UU. en número de publicaciones científicas anuales sobre IA, aunque su impacto medido por citas seguía siendo inferior^{31 32}. Mientras que Europa conserva una base académica sólida, pero con menor capacidad de transferencia industrial. Persisten patrones de *fuga de cerebros* hacia EE. UU. y el Reino Unido, donde los investigadores encuentran financiación tanto pública como privada y condiciones más competitivas.

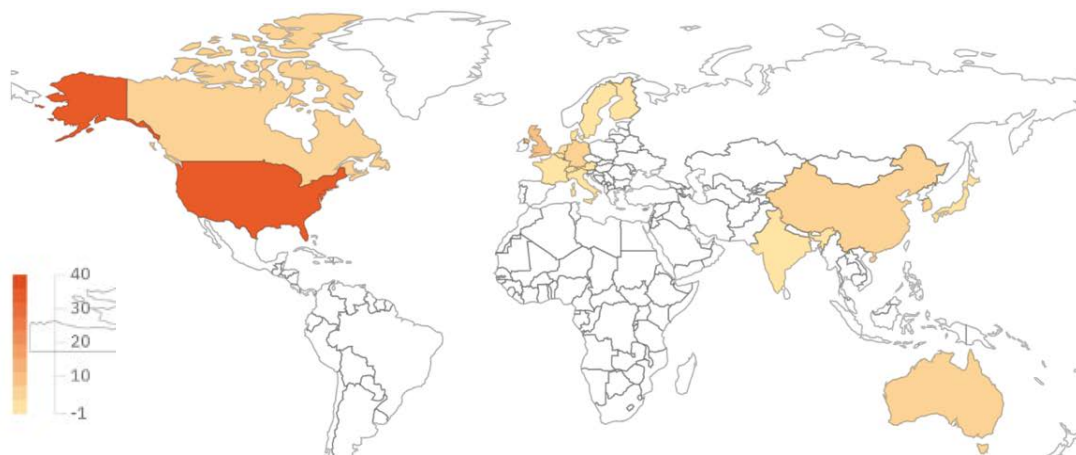


Figura 5: Países con universidades en el Top 100 en IA (elaboración propia)

Otro punto de asimetría es la dimensión financiera. En 2023, las *startups* de IA en EE. UU. captaron cerca de 68 000 millones \$, frente a 8 000 millones \$ en toda la Unión Europea³³. Este desequilibrio impide que empresas europeas escalen con rapidez y se

³⁰ European Commission. *White Paper on Artificial Intelligence: A European approach to excellence and trust*. Brussels, 2020

³¹ Carnegie Endowment for International Peace. *The EU's AI Power Play: Between Deregulation and Innovation*. Washington D. C., 2025.

³² European Union. *State of the Digital Decade Report 2024*. Brussels: EU, 2024.

³³ Reuters. *AI startup investment data 2023: Global distribution*. Londres, 2024.

traduce en adquisiciones tempranas por parte de conglomerados estadounidenses, casos emblemáticos son *DeepMind* (Reino Unido, adquirida por Google en 2014) o *Vision Factory* (España, adquirida por Apple).

Los especialistas más cualificados se agrupan en torno a las grandes corporaciones con abundantes recursos computacionales y capacidad de ofrecer remuneraciones elevadas. Google AI, Microsoft Research, Meta AI, Amazon AI, OpenAI, DeepMind o NVIDIA Research monopolizan a los principales doctores en IA, desplazando a las universidades como polo de innovación³⁴.

La carrera por las patentes de IA se intensificó en la última década, dominada por corporaciones estadounidenses y chinas. Si bien el paradigma de las publicaciones científicas ha favorecido la rápida difusión de innovaciones, la tendencia a patentar algoritmos de optimización o arquitecturas propietarias podría derivar en un “cercamiento legal” del conocimiento. La Unión Europea, consciente de ello, promueve estándares abiertos y licencias libres como estrategia de soberanía tecnológica³⁵.

España ocupa una posición intermedia en el ámbito de la investigación y el talento en inteligencia artificial. Dispone de una base académica sólida, con grupos destacados en universidades como la Politécnica de Cataluña, la Universidad Carlos III de Madrid o la Pompeu Fabra de Barcelona, que aportan alrededor del 5 % de las publicaciones europeas en IA²³. Sin embargo, su impacto científico global es limitado y la fuga de talento hacia polos internacionales reduce su masa crítica: cerca del 10 % de los titulados en másteres de IA trabajan en el extranjero²⁸. A nivel empresarial, España cuenta con un ecosistema de *startups* dinámico (como Sherpa.ai o Satlantis), pero pocas escalan globalmente por la escasa financiación de riesgo doméstica^{36 37}. De cara al futuro, el país necesita incrementar la inversión, retener talento y especializarse en áreas donde posee ventajas competitivas, como la IA en español o las aplicaciones a turismo y

³⁴ OpenAI. *Model access policy change announcement*. San Francisco, 2023

³⁵ World Intellectual Property Organization (WIPO). *AI Patents Landscape Report 2024*. Ginebra, 2024

³⁶ Datos.gob.es. *The State of Innovation and Digital Transformation in Spain*. Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial, 2024.

³⁷ European Commission. *Use of Artificial Intelligence in Enterprises – Statistics Explained*. Luxemburgo, 2025.

ciudades inteligentes, para pasar de ser un seguidor con potencial a un verdadero generador de tecnología.

Adopción y mercado: del laboratorio al usuario

La difusión de la inteligencia artificial constituye la etapa del impacto socioeconómico. En ella, la cuestión no es tanto disponer de infraestructura digital, sino lograr su integración efectiva en empresas, administraciones públicas y vida cotidiana. En Europa, aunque la tendencia es ascendente, persisten brechas estructurales que reflejan diferencias de tamaño empresarial, tejido productivo y capacidades humanas³⁸.

China y Estados Unidos lideran la adopción empresarial (58 % y 50 % de las empresas respectivamente), mientras Europa se mantiene alrededor del 30 %, con mayor avance en países nórdicos que en el sur³². España, pese a sus programas de digitalización, mantiene rezagos en capital humano y en el uso intensivo de IA por parte de pymes.

Por sectores, las tecnologías de la información y las finanzas encabezan la adopción. En contraste, la construcción, la agricultura y el pequeño comercio avanzan lentamente, ampliando la brecha digital interna^{32 39}. En el ámbito público, la implantación varía entre países y áreas, combinando avances en servicios digitales con cautelas normativas frente a los riesgos éticos y de transparencia^{40 41}.

A nivel ciudadano, la irrupción de las IA generativas en 2023 (con ChatGPT y sus equivalentes) marcó un hito en la interacción directa entre personas y sistemas inteligentes, ampliando el uso educativo, creativo y laboral de la tecnología. Sin embargo, también incrementó la preocupación social por los sesgos, la privacidad y la fiabilidad. En este punto, la alfabetización digital y la gobernanza ética emergen como requisitos para consolidar la aceptación pública y maximizar el retorno económico y social de la IA²⁴.

³⁸European Union. *State of the Digital Decade Report 2024*. Brussels: EU, 2024

³⁹European Commission. *Artificial Intelligence Act – Proposal*. Brussels, 2023

⁴⁰Carnegie Endowment for International Peace. *The EU's AI Power Play: Between Deregulation and Innovation*. Washington, D.C., 2025

⁴¹Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. *Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial*. Gobierno de España, 2020

Conclusiones

La inteligencia artificial se ha convertido en una de las fuerzas más transformadoras del mundo. Las grandes potencias tecnológicas compiten por dominarla, conscientes de que quien controle los eslabones de la cadena tendrá una ventaja económica, militar y política. En este contexto, España se encuentra la siguiente posición: integrada en la economía europea y occidental, pero aún dependiente de terceros en los eslabones clave de la cadena de valor de la IA. Esa dependencia, sin embargo, no implica una condena. España cuenta con recursos, talento y un entorno político favorable que pueden servir de base para reforzar su autonomía tecnológica. El primer punto débil está en las materias primas críticas. A nivel mundial, China domina el mercado de los minerales necesarios para fabricar componentes tecnológicos, desde tierras raras hasta galio y cobalto. Estados Unidos y la Unión Europea tratan de reducir esa dependencia diversificando sus fuentes y creando reservas estratégicas. En el caso de España, la situación es delicada: no produce a gran escala estos materiales, pero posee recursos potenciales que podrían ser explotados con los criterios ambientales oportunos. Una estrategia nacional de materias primas críticas, alineada con la europea, permitiría identificar recursos, facilitar proyectos de extracción y fomentar el reciclaje de metales estratégicos. Además de reducir la vulnerabilidad, esta política generaría empleo y reactivaría sectores industriales ligados a la transición energética.

El segundo eslabón, el de los semiconductores, refleja una competencia global intensa. La fabricación de chips se concentra en Asia, principalmente en Taiwán y Corea del Sur, lo que convierte a Europa en un continente dependiente. La Unión Europea intenta corregir este desequilibrio con su “Ley Europea de Chips”, pero el camino será largo. España, que no cuenta con fábricas, debe apostar por especializarse en áreas donde pueda ser competitiva. El proyecto PERTE Chip, ya en marcha, debe completarse con políticas para atraer inversiones extranjeras, crear centros de diseño nacionales y promover empresas que, aunque fabriquen fuera, diseñen chips en territorio español.

En el ámbito de la infraestructura tecnológica, la carrera mundial por el control de la computación y la energía es igual de estratégica. Los grandes centros de datos y la supercomputación son esenciales para entrenar sistemas de inteligencia artificial, y su operación requiere un enorme consumo eléctrico.

Aquí España parte con una ventaja notable: dispone de abundantes energías renovables, una red moderna de interconexiones y centros de supercomputación reconocidos, como el de Barcelona. Aprovechar esta posición exige garantizar que la energía se mantenga barata y asegurar la soberanía sobre infraestructuras críticas, es decir, que los datos y los sistemas que las operan estén bajo control nacional.

Otro frente clave en la competencia global es el control y uso de los datos. Las grandes plataformas tecnológicas de Estados Unidos y China acumulan una cantidad inmensa de información que les permite entrenar modelos de IA avanzados, mientras que Europa busca establecer un modelo de gobernanza más equilibrado y ético. Compartir información de forma segura y organizada entre empresas, universidades y administraciones permitiría desarrollar soluciones de IA adaptadas al país. Además, promover el uso de datos abiertos y clarificar las normas sobre recolección y reutilización de información ayudaría a las empresas a innovar sin temor a sanciones.

El desarrollo del conocimiento y del talento es, en última instancia, el motor que define quién lidera la revolución de la inteligencia artificial. En el mundo, las potencias invierten enormes recursos en atraer a los mejores científicos. España, pese a tener centros de investigación de calidad, necesita reforzar su ecosistema de innovación. Incrementar la inversión en investigación y establecer programas de retorno de talento serían pasos esenciales. Facilitar la colaboración entre universidades, empresas y administraciones, así como ofrecer condiciones atractivas para que los investigadores españoles en el extranjero puedan regresar, son medidas necesarias para evitar la fuga de cerebros. Además, España podría destacar en ámbitos donde ya tiene fortalezas, como la alta calidad de vida que se tiene gracias al clima y la cultura española.

El último eslabón de esta cadena es la adopción generalizada de la tecnología. En muchos países, la IA se ha integrado en las pequeñas y medianas empresas y en la gestión pública, aumentando la productividad y mejorando los servicios. En España, este proceso aún es desigual. Facilitar la digitalización de las pymes mediante asesoramiento, incentivos y formación es crucial para que los beneficios de la IA no se concentren solo en grandes corporaciones. Programas de capacitación para trabajadores, ayudas para implantar soluciones de automatización y la inclusión de cláusulas que premien el uso de IA en contratos públicos permitirían extender su uso de manera responsable.

Asimismo, un observatorio que evalúe su impacto en el empleo ayudaría a adaptar las políticas laborales a los nuevos retos tecnológicos.

En conjunto, los desafíos que afronta España reflejan una tendencia global: el paso de una economía basada en la importación de tecnología a otra que busca producirla, controlarla y adaptarla a sus necesidades. La autonomía tecnológica no implica aislamiento, sino la capacidad de decidir con quién cooperar y en qué condiciones. España debe aprovechar su integración europea, su potencial energético y su capital humano para transformar las debilidades actuales en oportunidades de desarrollo.

Oscar García Retuerta
Analista de Inteligencia

David García Retuerta
Doctor en Ingeniería Informática