



# ALGORITMOS VERDES

10 retos para el  
desarrollo de la  
Inteligencia Artificial  
sostenible

DigitalES. Mayo 2022

digitalés\_

# 10 retos

- 1.- Precisar la sostenibilidad de un algoritmo de Inteligencia Artificial
- 2.- Recopilar casos de uso probados y elaborar un catálogo de buenas prácticas
- 3.- Fomentar el debate sobre el plano ambiental del desarrollo tecnológico
- 4.- Diseñar mecanismos en las empresas para garantizar una IA responsable
- 5.- Encontrar y formar al talento que vele por la IA sostenible
- 6.- Reforzar la sostenibilidad como criterio de valoración en la contratación pública
- 7.- Sandboxes regulatorios
- 8.- Colaboración público-privada
- 9.- Ayudas e incentivos fiscales
- 10.- Inversión en plataformas españolas de supercomputación compartidas

Green  
*in* AI

Green AI

Green  
*by* AI

El Plan Nacional de Algoritmos Verdes se enmarca dentro de la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial (ENIA) del Gobierno para el impulso de aplicaciones de IA sostenibles. Cabe distinguir entre 'Green in AI' y 'Green by AI', es decir, aplicaciones eco-diseñadas y aplicaciones que generan un impacto sostenible. Este documento tiene como objetivo exponer las propuestas de las empresas que forman parte de DigitalES, para convertir España en un exponente de un desarrollo tecnológico que combata la crisis climática.

Documento elaborado por las líneas de trabajo de Digitalización sostenible y Transformación Digital de DigitalES. Agradecimientos: Axion, Fujitsu, IBM, Kyndryl, Lexmark, Sopra Steria, Telefónica y Vodafone.

Fotografías: Unsplash.com

# Introducción

La Inteligencia Artificial está involucrada en un elevado volumen de tareas de nuestra vida cotidiana. La previsión meteorológica, la navegación por GPS o las búsquedas por Internet se apoyan en grandes motores de Inteligencia Artificial. España ha liderado el llamado 'humanismo digital', entendido como un debate sobre el impacto social del desarrollo digital. Desde DigitalES, urgimos a incorporar en esa conversación la vertiente medioambiental.

Desde el entrenamiento de los algoritmos al procesamiento de los datos, la IA consume una cantidad de energía insostenible a largo plazo. Este impacto medioambiental puede y debe moderarse a través de una mirada integral y, por supuesto, de la adopción de herramientas tecnológicas, de fuentes de energía limpias y de técnicas de parametrización 'verde' que coadyuven en la eficiencia energética global. En este documento se aportan propuestas para adelantarnos a la próxima gran revolución tecnológica: la revolución de los algoritmos verdes, o "Green AI".

Junto con los Algoritmos Verdes, el concepto de "green by design" y la

gran demanda de recursos ha propiciado un escenario que exige que la Inteligencia Artificial sea diseñada bajo directrices de inclusión y respeto por el planeta. Actualmente, el uso de soluciones TIC supone un entre un 5 y un 9% del consumo de electricidad en todo el mundo, y podría llegar al 20% en 2030, según el informe "The role of Artificial Intelligence in the European Green Deal" <sup>1</sup>(Parlamento Europeo, mayo de 2021).

Ante esta realidad, **la "Green AI" plantea que, para conseguir un menor consumo energético, impera alcanzar un equilibrio entre el volumen de datos necesario para entrenar los modelos, la cantidad de tiempo para entrenarlos y el número de interacciones para optimizar sus parámetros.** Esto permitiría el desarrollo de tecnologías altamente eficientes que provean de mecanismos de planificación, detección y monitorización para impulsar el desarrollo sostenible y mejorar la toma de decisiones. Al mismo tiempo, es importante priorizar las fuentes de energía renovables en la creación y aplicación de estos modelos.

---

1

<https://www.europarl.europa.eu/RegData/etu>

[des/STUD/2021/662906/IPOL\\_STU\(2021\)662906\\_EN.pdf#page=12](des/STUD/2021/662906/IPOL_STU(2021)662906_EN.pdf#page=12)

## La oportunidad para España

España tiene la oportunidad de abanderar la transición global hacia la "Green AI", proponiendo esquemas y modelos técnicos de actuación que sirvan de guía a las organizaciones responsables del desarrollo, implementación y uso de algoritmos. **Anticiparnos a los objetivos internacionales para la contención del cambio climático, a través de la innovación y de la digitalización, será la clave para que España pueda ser un país líder en las próximas décadas.**

En este contexto, el Gobierno prevé desarrollar un Programa Nacional de Algoritmos Verdes, que será liderado por la Secretaría de Estado de Digitalización e IA (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital). Este proyecto se enmarca en la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial (ENIA), que contará con una inversión pública de 600 millones durante el período 2021-2023.

La ENIA contribuirá a mejorar la competitividad del tejido productivo español en el plano europeo y global, a través de un impulso del uso de tecnologías avanzadas de procesamiento de datos y de modelización de algoritmos. La ENIA tiene una fuerte orientación hacia la sostenibilidad medioambiental, haciéndose eco de los retos planteados por el Libro Blanco sobre

Inteligencia Artificial publicado en febrero de 2020 por la Comisión Europea, donde se cita explícitamente la sostenibilidad medioambiental como reto del futuro inmediato de Europa. En este contexto, el Gobierno español está alineando la estrategia nacional de IA con el Pacto Verde Europeo.

A su vez, la estrategia España Digital 2025 fija cuatro objetivos específicos en relación con la Inteligencia Artificial, entre los que destaca impulsar la Inteligencia Artificial como motor de innovación y crecimiento económico social, inclusivo y sostenible. Todas iniciativas están recogidas dentro del Plan Nacional de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la Economía Española, donde se constata que la Transición energética y transformación digital van de la mano y constituyen las dos grandes palancas para la recuperación económica post-COVID.

El desafío, en definitiva, es incentivar un desarrollo tecnológico que repercuta en una mejor eficiencia para el conjunto de los sectores productivos en España. **En pleno siglo XXI, la competitividad "real" de nuestra economía exige una mirada común a la sostenibilidad financiera, social y ambiental.**



# 1



## Precisar la sostenibilidad de un algoritmo de Inteligencia Artificial

Dentro del conjunto de posibilidades sobre las cuales se puede desarrollar una Inteligencia Artificial más respetuosa con el medio ambiente, es importante enmarcar dos escenarios que englobarían las líneas de trabajo a seguir: en primer lugar, los algoritmos que, en sí mismos, son más sostenibles. En segundo lugar, los algoritmos que, en su uso, contribuyen a la sostenibilidad de sus usuarios.

## Green *in* AI

No se puede hablar de la sostenibilidad de la IA como algo intrínseco al sistema, ya que la IA por sí sola no es "sostenible". Para realizar una aproximación al enfoque de sostenibilidad, se debe trabajar sobre la eficiencia de todos los factores y componentes que intervienen en la IA.

El consumo de energía se produce por la utilización de recursos en sus distintas fases de su ciclo, con distintas intensidades en el consumo de cómputo. Como es lógico, existen técnicas de IA que necesitan más capacidad de procesamiento que otras, por ejemplo, el Machine Learning o el Deep Learning. En cualquier caso, **el primer paso para que la IA sea lo más eficiente posible es que el software y el hardware se complementen**. Un código que es eficiente, pero se apoya en un hardware obsoleto o que realiza un gran consumo no puede alcanzar el objetivo de ser sostenible. De la misma forma, resulta crucial que las infraestructuras en las que se apoya la Inteligencia Artificial estén diseñadas, mantenidas y operadas desde un punto de vista de la eficiencia energética.

Se presentan varias iniciativas que refuerzan esta tendencia, como desarrollar códigos más eficientes desde el punto de vista energético

que reduzcan al mínimo el consumo eléctrico de los equipos de TIC durante su ejecución: "Aunque el software no consume energía directamente, sí influye en gran medida en la eficiencia energética del hardware de TIC en el que se ejecuta. Sin embargo, una gran parte del código de software no tiene en cuenta el consumo de energía, y **existen posibilidades para optimizar el software, reducir el volumen de datos procesados y transmitidos, y, en última instancia, reducir el consumo de energía del hardware**"<sup>2</sup>.

Por otra parte, podemos reducir al mínimo la demanda de tráfico de datos y **limitar la obsolescencia de los dispositivos de TIC** existentes.

Desde un punto de vista técnico del diseño de algoritmos, el desarrollo de un código eficiente no está ligado exclusivamente a la IA, sino a cualquier desarrollo de IT; debe ser transversal en toda la industria. Se trata de conseguir un máximo rendimiento para los diferentes casos de uso, utilizando la menor capacidad de procesamiento posible.

En el camino hacia la sostenibilidad, uno de los principales focos es el **diseño de infraestructuras eficientes energéticamente**. En este sentido, un ejemplo del trabajo

---

<sup>2</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32021D2054>

que llevan a cabo nuestros asociados es el trabajo para poner en marcha un **data center sostenible**.

## Green by AI

Los algoritmos verdes tienen la capacidad de incrementar la sostenibilidad de otras actividades, lo que se denomina como "Green by AI". Las soluciones de agricultura sostenible, por ejemplo, permiten reducir sensiblemente el gasto de agua y fertilizantes. Un algoritmo es capaz de predecir o de identificar de forma temprana un incendio, un acto de vandalismo o cualquier otra eventualidad. Aplicada a la industria, la IA es sinónimo de productividad.



En el ámbito urbano, una gestión inteligente del tráfico consigue evitar atascos y optimizar el transporte urbano, con el consiguiente ahorro en emisiones contaminantes. Y, por supuesto, el propio sector energético tiene el desafío de establecer redes energéticas más eficientes.

### ¿Qué es la IA Verde?

Si bien no hay una definición específica de lo que es la IA Verde en la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial (ENIA), el Programa Nacional de Algoritmos Verdes destacar lo siguiente:

La IA y las tecnologías de análisis de datos tienen el potencial de acelerar el análisis de gran volumen de datos, permitiendo entender mejor los desafíos medioambientales y proporcionarles soluciones. Esto proporcionará mecanismos para mejorar planificación medioambiental, la toma de decisiones y la monitorización de amenazas medioambientales. Específicamente, la IA podría ayudar a reducir el consumo de energía y recursos, a promover la descarbonización y a impulsar la economía circular.

Ante esta dualidad en la definición de lo que sería el desarrollo de una IA sostenible ambientalmente (Green in AI vs Green by AI), creemos que definir un conjunto de **indicadores**, medibles y accesibles para las empresas y sociedad que permitan valorar el grado de sostenibilidad de un algoritmo será crucial para el fomento de estas soluciones.

En esta línea, podemos partir de los siguientes ocho principios sobre la ingeniería de software sostenible dirigidos a cualquier persona con la capacidad de construir o desarrollar código, softwares y aplicaciones<sup>3</sup>:



## 8 principios de la ingeniería de software sostenible

1. **CARBONO:** Construir aplicaciones que sean carbono-eficientes eficiencia energética del hardware
2. **ELECTRICIDAD:** Desarrollar aplicaciones que sean eficientes energéticamente
3. **INTENSIDAD DE CARBONO:** Consumir energía con la mínima intensidad de carbono
4. **CARBONO INCORPORADO:** Construir aplicaciones que sean hardware-eficientes
5. **PROPORCIONALIDAD ENERGÉTICA:** Maximizar la
6. **NETWORKING:** Reducir la cantidad de datos y la distancia que debe viajar a través de la red (network)
7. **DESPLAZAMIENTO DE LA DEMANDA:** Desplazar las cargas de trabajo en base a la intensidad de carbono o disponibilidad de energías renovables
8. **MEDICIÓN Y OPTIMIZACIÓN:** Centrarse en las optimizaciones paso a paso que aumentan la eficiencia global del carbono

<sup>3</sup> [Principles of Green Software Engineering](#) • [Principles of Green Software Engineering](#)

# 2

## Recopilar casos de uso probados y elaborar un catálogo de buenas prácticas



### Paso 1

#### La Administración como catalizadora

Es importante que desde las administraciones se genere un repositorio que incluya ejemplos de diseño y aplicación que ilustren a todo el tejido empresarial. La innovación en este campo debe servir como base de futuros desarrollos tecnológicos. Contar con campañas de difusión que pongan en valor los resultados obtenidos servirán para poder visibilizar el potencial del uso de la Inteligencia Artificial como vector de la sostenibilidad ambiental.

El reto consiste en las dificultades de generar los primeros casos de uso de tecnologías jóvenes. Como en toda adopción tecnológica en sus primeros estadios, el coste de las herramientas y su escasez suponen una barrera de acceso que ralentiza su avance.

Recientemente, se ha activado un foco de atención en el consumo energético que genera el uso de sistemas de Inteligencia Artificial. Por ello, es importante poner en valor los esfuerzos y avances que desarrolla el sector TIC, no sólo para mitigar el consumo generado, sino para servir de catalizador y mejorar la eficiencia de sistemas que permitan un ahorro en el uso de recursos, entre otras posibilidades.

Ejemplos como el catálogo de Buenas Prácticas en Economía Circular<sup>4</sup>, que publica el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, pueden servir de base

para la creación de un archivo que recoja las múltiples soluciones y posibilidades de los sistemas de Inteligencia Artificial como solución para proteger el medio ambiente.



## Paso 2

### Test en entornos locales

Además de la introducción de buenas prácticas en el desarrollo de Inteligencia Artificial, es importante la realización de **test a pequeña escala que nos permitan conocer el impacto real que tendrá el algoritmo**. De esta manera, para evitar consumos innecesarios, tratamos de asegurar la robustez del algoritmo mediante un testeo en un entorno local. Dicho de otra manera, los algoritmos son puestos a prueba y validados en equipos sencillos antes de ser desplegados en la nube, donde el volumen de datos y el coste-consumo asociado son de mayor magnitud.

Igualmente, para la realización de estos test, una forma de alinearse

con las buenas prácticas es trabajar con muestras de datos representativas del volumen total de información. De esta manera, las muestras son manejables y requieren menor tiempo y consumo para su procesado.

Por otra parte, **es importante definir responsables tanto internos como externos de auditar el grado de sostenibilidad de los algoritmos operativos y futuros a través de procedimiento de evaluación y testing del software asociado**. La generación de un cuadro de mando reportable será decisiva a la hora de hacer una evaluación periódica de los sistemas.

---

<sup>4</sup> [Buenas Prácticas de Economía Circular \(miteco.gob.es\)](https://miteco.gob.es)

## Propuestas de la industria

Para obtener el objetivo de diseñar los algoritmos de manera sostenible desde el inicio, hemos identificado una serie de buenas prácticas que nos acercan al objetivo de conseguir Algoritmos Verdes:



**Mecanismos y herramientas de medición:** Arquitectos y científicos del dato no disponen hoy en día de una "calculadora" que mida el consumo energético de un servicio en concreto. Si dispusieran de esta calculadora, podrían medir el consumo energético y por lo tanto emisión de CO2 para identificar áreas de mejora.

**Herramientas de mitigación** (ej. La precisión): Incorporar hardware ya previamente diseñado para la mitigación de emisión de CO2.

### Uso de Edge Computing, ya que:

- Dejas de centralizar los datos en un supercomputador para su tratamiento, lo que conlleva un alto consumo de CPUs, etc, sino que distribuyes este tratamiento de los datos en nodos más pequeños de Edge con consumos de CPU más bajos.
- Si los datos se procesan más cerca de los dispositivos finales, el tráfico que debe recorrer todo el camino hacia el nodo central será mínimo.

- No se necesita que los datos lleguen al nodo central para tomar una decisión (por ejemplo, si se tiene un sistema de eficiencia energética que toma decisiones para apagar dispositivos que no están en uso), esta decisión se toma en el edge, por lo que los tiempos se reducen.

**Simplicidad:** Siguiendo el principio de “la navaja de Occam” (Occam’s razor), se da prioridad a las soluciones simples frente a aquellas más complejas. Así, se evalúa en primer lugar algoritmos más ligeros, computacionalmente, frente a técnicas más complejas y sofisticadas que están asociadas a un mayor consumo (como, por ejemplo, las basadas en deep learning).

**Optimización del contacto:** Se estima el número óptimo de contactos salientes que han de llevarse a cabo en una campaña o comunicación alimentada por un modelo. De esta forma, eliminamos contactos innecesarios que conllevan un exceso de coste y consumo.

**Reutilización:** La etapa más costosa desde el punto de vista computacional de un proyecto de ML (machine learning) es la preparación de los datos de entrada al modelo, en la que se analizan múltiples fuentes de datos. Para optimizar esta fase, se puede universalizar esta etapa, de forma que la preparación de datos sea común a todos nuestros modelos y se realice una única vez para todos ellos. Como resultado, se reduce sustancialmente la carga computacional y el consumo de un proyecto o modelo.

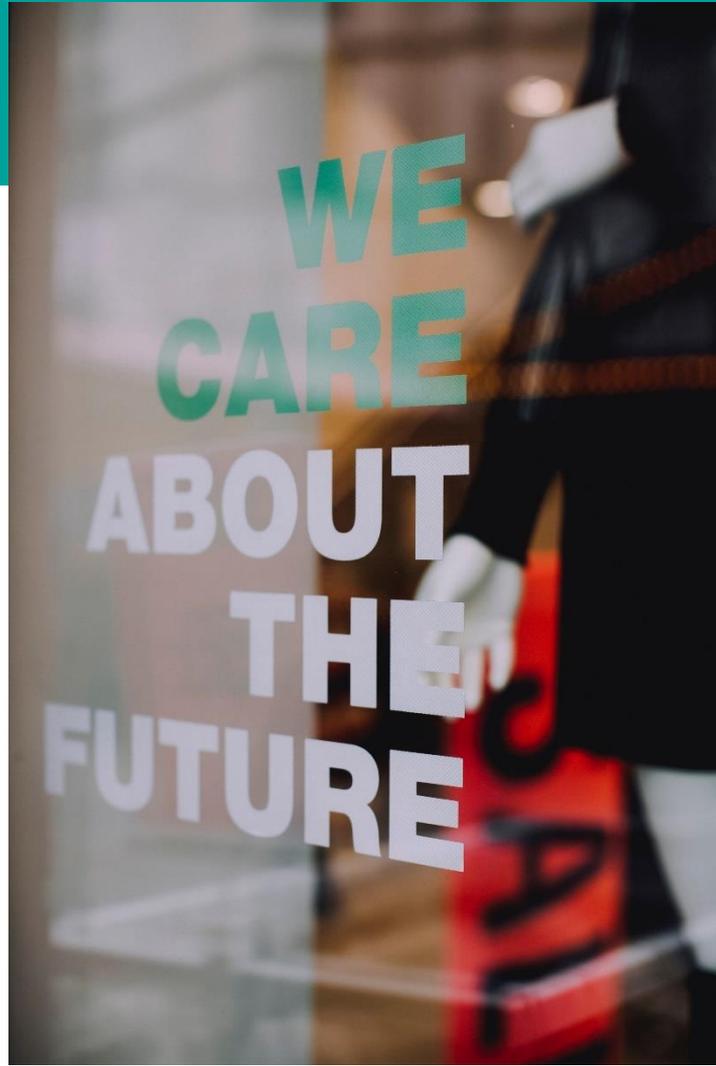


### Propuestas para un data center sostenible:

- Desarrollo de servidores eficientes
- Refrigeración por inmersión líquida
- Uso de software para medir y optimizar el consumo energético de los centros de datos. Un ejemplo de cómo una parte de la infraestructura que permite desarrollar la IA puede hacer uso de la propia IA para ser más eficiente
- Solución de blockchain para la trazabilidad del tipo de energía que se consume
- Optimización de aplicaciones para su puesta en marcha en sistemas de computación en paralelo

# 3

## Fomentar el debate sobre el plano ambiental del desarrollo tecnológico



Si no se habla de ello, no existe. A pesar de que la crisis climática ocupa una parte creciente de la agenda política y social internacional, en lo que respecta al desarrollo tecnológico el foco se encuentra más en el ámbito del impacto social. Desde DigitalES, abogamos por incorporar el plano ambiental como una parte más de esa conversación, donde la sostenibilidad económica, social y medioambiental constituyen tres fundamentos interconectados e interdependientes entre sí.



Digital Future Society es una iniciativa impulsada por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital del gobierno de España y Mobile World Capital Barcelona para fomentar el debate sobre el humanismo digital.

## De la “IA ética” a la “IA responsable”

En 2019, la Comisión Europea publicó unas *Directrices éticas para una IA de confianza*<sup>5</sup>. Estas Directrices sentaron las bases sobre las cuales se han desarrollado las propuestas de regulación siguientes, habiendo dejado clara la intención de que dichas recomendaciones sean aplicables más allá de Europa y fomenten un debate global sobre esta cuestión.

Estas directrices son: (1) acción y supervisión humanas, (2) solidez y seguridad técnica, (3) privacidad y gobernanza de datos, (4)

transparencia, (5) diversidad, no discriminación y equidad, **(6) bienestar ambiental y social** y (7) responsabilidad.

Desde DigitalES, creemos que estos principios marcados por la Comisión Europea deben ser los cimientos sobre los que construir el edificio de la tecnología en general y el de la Inteligencia Artificial en particular. Los desarrolladores de algoritmos y las empresas involucradas en este proceso deben velar por el cumplimiento de los principios éticos definidos por la Comisión Europea

---

<sup>5</sup> <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

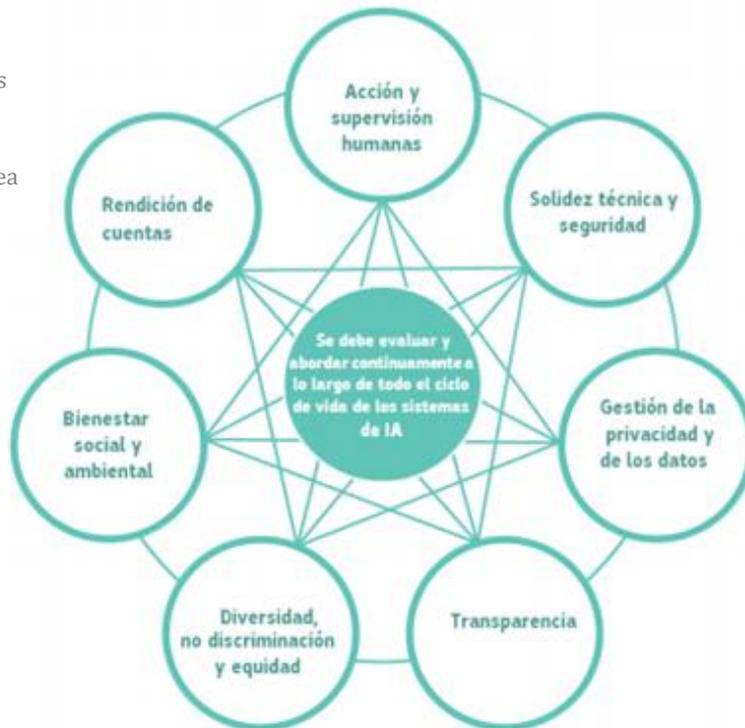
con el propósito de conseguir una Inteligencia Artificial justa, inclusiva y de calidad, que contribuya a la sostenibilidad de triple hélice a la que nos hemos referido antes: económica, social y medioambiental.

Y es que la ética aplicada a la IA no trata solo de las consecuencias no intencionadas de los sesgos en la extracción patrones o del

establecimiento de relaciones de causalidad injustificadas con impacto en las personas y la sociedad. Esta se pregunta también de manera activa por los costes medioambientales ocultos, como el servicio o la eliminación y sobre cómo ayuda o dificulta esta tecnología a la lucha mundial contra el cambio climático y la degradación del medio ambiente.

Gráfico 1.

Directrices éticas para una IA de confianza. Comisión Europea



Existe, por tanto, una relación directa entre los conceptos de ética y sostenibilidad. **No podemos concebir que un algoritmo sea completamente ético si no incorpora la sostenibilidad a su desarrollo y objetivo.** Con todo, observamos que el término "IA ética" se asocia en muchas ocasiones de manera exclusiva al impacto de estos

sistemas sobre las personas y la sociedad. En este contexto, la Comisión Europea se refiere a "IA confiable" o "de confianza", que no obstante continúa poniendo el acento en lo social. Por eso, **desde DigitalES sugerimos emplear el término "IA responsable"**, que responde mejor a la visión holística que requiere este debate.

# 4



## Diseñar mecanismos en las empresas para garantizar una IA responsable

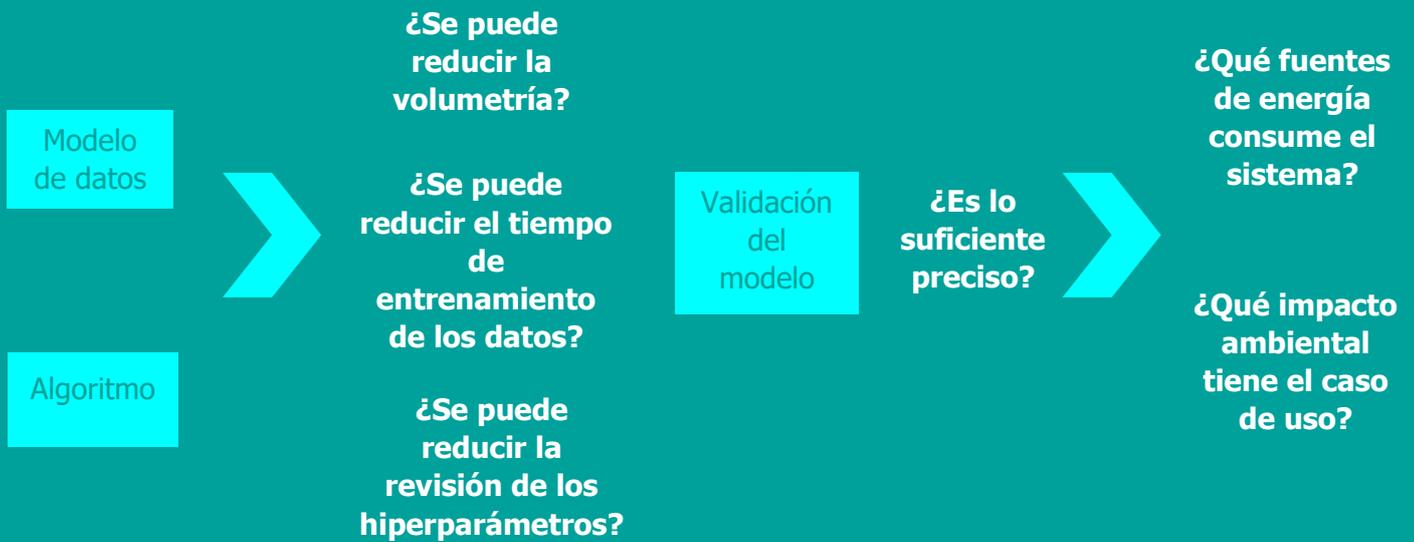
En el propósito de construir un concepto sólido de IA responsable que incorpore íntegramente ética y sostenibilidad, resultará relevante la asignación de responsabilidades para la implantación y gobernanza de estos sistemas. Se trata de establecer los cargos de responsabilidad y mecanismos, a nivel empresarial, que asegurarán un cumplimiento de las siete grandes directrices marcadas por la Comisión Europea (ver epígrafe anterior).

El concepto de Algoritmo Verde no implica necesariamente que éste

haya sido entrenado con energías limpias, haya optimizado el uso de datos o su objetivo sea el de mejorar situaciones medioambientales. Es importante destacar que el concepto incluye la parte ética y, para considerar a un Algoritmo como Verde, debe respetar el conjunto de principios de confiabilidad que define la Comisión Europea en materia de IA. Veámoslo con un ejemplo: es inconcebible el desarrollo de un algoritmo con energías renovables que pueda poner en riesgo la privacidad de los datos.

## Green *in* AI

## Green *by* AI



## Atribución de responsabilidades

Una propuesta sería la constitución de un comité en el que exista una representación de profesionales relacionados con toda la cadena de valor de los algoritmos, desde el desarrollo a la supervisión continua. Nuevamente, insistimos en que los objetivos corporativos de sostenibilidad no pueden estar desligados de los objetivos sociales.

Algunos de nuestros asociados han incluido Comités Asesores Externos sobre ética e IA dentro de su estructura, con el objetivo de discutir regularmente temas relacionados con la ética en el campo de la IA, trabajar bajo un diálogo continuo con las partes interesadas de toda la sociedad o apoyar el uso seguro de la emergente IA. Entre los miembros nominados para integrar estos Comités incluyeron a profesionales con conocimientos especiales en humanidades y ciencias sociales, así como en ética y leyes.

Otra alternativa es la adopción de un responsable de Sostenibilidad corporativo, que asuma la responsabilidad de velar por que los algoritmos implementados por la empresa requieran la menor capacidad de procesamiento posible y, como consecuencia, el menor consumo energético posible, manteniendo un nivel aceptable de robustez y precisión de los algoritmos (Green *in* AI). En una segunda fase, este responsable de Sostenibilidad velará por el uso de fuentes de energía verdes o por la utilización de IA para mejorar la eficiencia de otros procesos (Green *by* AI). Consulte el siguiente apartado sobre el reto de disponer de talento especializado en IA sostenible.

# 5

## Encontrar y formar al talento que vele por la IA sostenible



La IA verde, o los Algoritmos Verdes, son conceptos novedosos para los que todavía no existen planes formativos *ad hoc*. Muchas grandes organizaciones disponen de un responsable de Sostenibilidad, e incluso de comités de IA ética, si bien estas figuras continúan siendo inexistentes en el ámbito de la pequeña y mediana empresa. La necesidad de dotar a la IA de objetivos sostenibles para el ahorro energético y la reducción de emisiones desencadenará en los próximos años la aparición de nuevas profesiones, de perfil técnico, especializadas en la sostenibilidad de la IA.

Uno de los principales retos ante los que se enfrentan las administraciones y el sector empresarial es frenar el crecimiento del déficit de especialistas tecnológicos en España. Desde DigitalES, estimamos que, a marzo de 2022, existía un **déficit de 124.000 posiciones**.

Según los datos de la Comisión Europea<sup>6</sup>, el mayor obstáculo que señalan las empresas para impulsar el uso de IA en sus instituciones son las dificultades para contratar personal nuevo con las habilidades adecuadas (57%). Entre los principales problemas que se han identificado se encuentra la **escasez**

**de perfiles especializados en áreas relacionadas con la ingeniería de software, la IA, Cloud o RPA, así como la fuga de talento**. Además, el entorno actual hace cada vez más indispensable que estos profesionales cuenten con las habilidades necesarias para implementar y liderar procesos de transformación digital, en los que es clave saber aplicar la innovación al negocio para ser más eficiente y productivo. Algunas competencias son cada vez más demandadas, como las competencias en las metodologías Agile, DevOps (con extensiones como el DataOps o MLOps) o Growth Hacking.



## Micro-formaciones

Los sistemas de micro-credenciales, insignias, certificaciones profesionales, etc. se han demostrado eficaces en ámbitos como el re-skilling y el upskilling, y pueden extenderse al resto de ciudadanos. Una línea de actuación interesante en este sentido es impartir formación a empleados expertos en el desarrollo de software, dirigida y focalizada a la optimización energética de los algoritmos desarrollados y a la reducción del volumen de demanda de tráfico de datos.

<sup>6</sup> <https://biblio.ontsi.red.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=6070>

# 6

## Reforzar la sostenibilidad como criterio de valoración en la contratación pública



Como indicamos en el primer punto, creemos en la importancia de poder definir los indicadores que permitan medir el nivel de sostenibilidad de la IA. Por ello, una de las medidas que podría impulsar el desarrollo de una IA “verde” sería incluir una serie de certificaciones válidas como criterio, e incluso requisito, en el sistema de licitaciones públicas.

A modo de ejemplo de ilustrativo, un criterio de valoración en la obtención de dicho certificado podría ser: analizar el impacto medioambiental del software mediante el Análisis del Ciclo de Vida en la fase de desarrollo y a través de la medición del comportamiento (CPU, RAM y uso de energía) en la fase de uso.

Tradicionalmente se ha hecho uso de los procesos de Application Management para analizar la eficiencia de un software. Se trata del proceso de analizar el ciclo de vida de las aplicaciones de software, desde la operación, el mantenimiento, control de versiones a la actualización de una aplicación. Este tipo de procesos sirve para detectar dónde están los fallos, dónde se computa más, errores en la ejecución, entre otros.

### Estándares de certificación

Uno de los principales retos es implementar la medición del impacto medioambiental desde el diseño por parte de las empresas. Siguiendo lo estipulado en la Ley de Contratos del

Sector Público que recoge la obligación de incorporar, en toda contratación pública de manera transversal preceptiva y siempre que guarde relación con el objeto del contrato, criterios sociales y medioambientales, sería conveniente desarrollar unos estándares de certificación aplicables al uso de algoritmos y **que los esfuerzos de las empresas en adaptar una inteligencia artificial sostenible sean reconocidos y valorados.**

Una propuesta para conseguir incentivar y valorar los esfuerzos de las empresas por desarrollar Inteligencia Artificial más sostenible sería extender estos requisitos a todos los concursos de IA de las administraciones públicas, **dar más visibilidad y ser más explícito en cuanto a los requerimientos de calidad y eficiencia del código, así como la inclusión de criterios éticos claramente definidos y auditables, en las contrataciones públicas como criterios de sostenibilidad.**

Y, por último, otorgar un mayor peso a todos estos criterios en la puntuación global.

Las empresas que forman parte de DigitalES están implementando estructuras que aseguren un desarrollo de los

sistemas la IA fácilmente integrables, desplegados y controlables desde un punto de vista técnico. A través de estas iniciativas se audita que los modelos no decaigan a nivel capacidad, el que se haga un uso correcto de los datos desde el punto de vista ético y de privacidad. Y, además, se valora la sostenibilidad del desarrollo de la IA, ya que se asegura desde un punto de vista del diseño, integración y operación que sean lo más eficientes posibles mediante el menor consumo de recursos posible.

La administración pública, como uno de los principales inversores en proyectos de Inteligencia Artificial puede jugar un papel fundamental en que las auditorías sean vistas de forma natural. Actualmente, en un alto porcentaje de los concursos públicos de Inteligencia Artificial y otros proyectos de IT se exige que el código sea de calidad, que existan unos controles de calidad en su desarrollo y un seguimiento de la gestión del ciclo de vida del software de IA. Por lo cual, de forma indirecta ya se valoran los criterios de sostenibilidad del algoritmo.



# 7

## Sandboxes regulatorios



Hay que tener en cuenta que las intervenciones regulatorias deben ser ponderadas, ya que siempre existe el riesgo de que se produzca una captura regulatoria que desincentive la innovación. En el caso de la IA se considera más conveniente el establecimiento de *regulatory sandboxes* y eventualmente una regulación basada en el principio de *High risk approach*.

Uno de los problemas que surgen con la regulación en relación con el desarrollo de sistemas de IA, es que **la excesiva ordenación podría bloquear el desarrollo y crecimiento de la Inteligencia Artificial**. Se debe conseguir por tanto que regulación y desarrollo crezcan y evolucionen paralelamente de forma eficiente para buscar el máximo progreso posible.

Uno de los grandes retos es que se está empezando a desarrollar la regulación específica en IA y puede resultar compleja de materializar. Por eso, este proceso se debe hacer en base al aprendizaje y conocimiento. Actualmente se están estableciendo unas bases en la Unión Europea relativas a la ética en la Inteligencia Artificial, cuya intención es regular especialmente a los sistemas de IA de alto riesgo y que, al adoptar la forma de reglamento, serían de aplicación directa en los estados miembros.

Sin embargo, **a pesar de que la ética está muy relacionada con su sostenibilidad, aún no se han abordado cuestiones relativas a la eficiencia energética**. La propuesta de reglamento europeo en IA únicamente menciona la necesidad de animar a los proveedores a aplicar, con carácter voluntario, requisitos adicionales, entre ellos los relativos a la sostenibilidad medioambiental. Por lo cual, existe un gran reto en este campo y, en caso de regularse de manera específica, sería de vital importancia establecer un cauce a

través del cual se involucre a todas las partes interesadas.

La legislación medioambiental, por su parte, debería, en primer lugar, centrarse en tener en cuenta las posibilidades que la IA puede ofrecer. Esto significa crear conocimientos para aprovechar el potencial tecnológico de manera bien orientada y desarrollar procedimientos y métodos para evaluar y mitigar los riesgos medioambientales.

España, en este sentido, es uno de los países líderes en incluir esta materia en sus planes normativos. **Nos encontramos entre los 9 países de la UE que cuentan con estrategias que incluyen en sus áreas prioritarias o de interés las aplicaciones de la IA relacionadas con los problemas medioambientales**.

Otro reto se presenta al trasladar la teoría a la práctica. Por un lado, definir exactamente para qué usos se puede aplicar la Inteligencia Artificial. Y, por otro, el cómo, es decir, cómo debe realizarse ese cumplimiento normativo desde un punto de vista práctico y técnico, trasladar la normativa a algo que sea técnicamente medible y auditable.

Por último, sería esencial que se establezca claramente quien será el organismo responsable de los procedimientos de evaluación y se encargue de estipular exactamente los procedimientos a seguir para llevarlo a un campo más operacional.

Un primer paso de España hacia la consecución de estos objetivos se ha dado a través de la Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial, que ha anunciado que España se postulará como región piloto para probar los efectos del futuro reglamento.

Además, a través de la Ley de Presupuestos Generales del Estado para el año 2022, se aprobó la creación de la **Agencia Española de Supervisión de la Inteligencia Artificial**, que se encargará del “desarrollo, supervisión y seguimiento de los proyectos enmarcados dentro de la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial, así como aquellos impulsados por la Unión Europea, en particular los relativos al desarrollo normativo

sobre inteligencia artificial y sus posibles usos”.

En este sentido, sería interesante tomar el ejemplo de algunos sectores sobrerregulados y, que de algún modo han tratado aspectos relacionados con la IA, como el bancario o el de la salud en el caso de la ética de la IA, cuya experiencia puede resultar útil a la hora de abordar el paso de la normativa a la práctica. En este contexto, el *sandbox* financiero impulsado por el Gobierno ha sido reconocido como uno de los más completos de la UE y ha contribuido de manera visible a atraer capital y talento especializado en Fintech a nuestro país. En última instancia, este primer sandbox ayudará a que la banca española mantenga su posición de vanguardia.

## Sobre el Reglamento europeo de IA

La propuesta de Reglamento europeo de IA tendrá un ámbito de aplicación subjetivo y territorial amplio que comprendería a todos los actores dentro de la cadena de valor de la IA (es decir, proveedores, importadores, distribuidores) y alcanzaría tanto aquellos ubicados en la UE como los empleados en un tercer país, siempre y cuando, en este último caso, desplieguen los efectos en la UE.

Clasifica los sistemas de IA en función de tres niveles de riesgo (riesgo inaceptable, alto riesgo y riesgo limitado o mínimo), a los cuales asigna distintas obligaciones. Este reglamento establece también sanciones económicas severas en caso de incumplimiento, de hasta 30 millones de euros o el 6% del volumen de negocio anual total a escala mundial del ejercicio financiero anterior.

Más información: <https://www.digitales.es/wp-content/uploads/2022/03/DigitalES-Nota-informativa-contenido-dossieres-legislativos-en-marcha-marzo-2022.pdf>

# 8

## Establecer un marco colaborativo público-privado que perdure en el tiempo



El sector público supone un porcentaje importante de la economía del país. La colaboración público-privada resultará relevante, en cuanto sea capaz de incentivar la innovación, el crecimiento económico y entornos que favorezcan la generación del conocimiento y la tecnología para conseguir un objetivo, en este caso, del desarrollo de unos algoritmos sostenibles. Sin embargo, existen algunos desafíos para alcanzar una verdadera y efectiva colaboración público-privada.

Con la puesta en marcha del **Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia** la colaboración público-privada se convertirá en uno de los motores claves. Uno de los retos en este campo es el establecimiento de fórmulas flexibles y eficaces, que se adapten a los tiempos reducidos para ejecutar las inversiones de los fondos europeos. Una aproximación en este sentido se realizó mediante el Real Decreto-ley 36/2020, por el que se aprobaron medidas urgentes para la modernización de la Administración Pública y para la ejecución del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Sin embargo, **es necesario seguir trabajando en la mejora de los procesos de colaboración, entre ellos la contratación pública, y en aligerar la carga burocrática**, estableciendo un marco legal claro y reduciendo los tiempos y trámites para dotar el proceso de más agilidad. Además, aprovechar la oportunidad de mejora para que perdure en el tiempo y se extienda a

todos los procesos en general.

Por otro lado, los fondos europeos constituyen una oportunidad para aumentar las inversiones en materia de tecnología e inteligencia artificial. Uno de los retos en este aspecto es otorgar mayor valor a la calidad de los proyectos, en lugar de al aspecto presupuestario.

Otro de los retos que enfrentaremos es que se fomenten los **ecosistemas de colaboración win-win**. Las empresas privadas son principalmente las que marcan el estado del arte en temas tecnológicos y pueden contribuir aportando conocimiento y recursos que complementen la capacidad de las administraciones públicas para poner en marcha proyectos innovadores y en los que se beneficien tanto las administraciones públicas, como las empresas y, por consiguiente, se cree valor para la sociedad en general. Este tipo de ecosistemas permiten desarrollar proyectos en conjunto aplicados a problemáticas concretas, en los cuales participan distintos perfiles, favoreciendo a su vez a la creación de entornos multidisciplinares.

Iniciativas actuales puestas en marcha por las administraciones que consisten en creaciones de **Foros de participación público-privada** sirven de punto de encuentro periódico de empresas y centros de innovación con el Gobierno de manera que se pueda hacer un seguimiento continuado de las nuevas soluciones y posibilidades de la IA ante el reto del cambio climático.

**Impulsar alianzas y fomentar el encuentro entre legisladores y sector privado** es importante para definir las áreas de conocimiento y los desafíos más relevantes a los que se enfrenta el sector privado que puedan ser impulsados a través de iniciativas públicas.

## Compra pública innovadora

La ley de Contratos del Sector Público recoge procedimientos específicos que pueden ser relevantes para lograr una efectiva colaboración público-privada como la **Consulta Preliminar al Mercado** (CPM) o la **Compra Pública Innovadora** (CPI). En concreto, bajo la fórmula de la CPI, la administración tiene la oportunidad de incorporar el talento y el músculo de innovación de la industria desde el origen de un proyecto. Reduce el coste de oportunidad, ya que no se espera que el estado del arte sea maduro, sino que se desarrolla conjuntamente y de forma anticipada. Por tanto, favorece viabilidad de proyectos con un componente de innovación alto, y por ende complejos, permitiendo compartir el riesgo.

Todo este proceso CPI es además público, por lo que, que se plantea además el reto de documentar y publicitar de la manera más constructiva posible cada caso de éxito con el fin de asegurar la transferencia del conocimiento para que posteriormente tanto organismos como ciudadanos se

nutran de ese conocimiento generado.

Además, debido a que los datos son la base del mundo digital y en especial de la inteligencia artificial, iniciativas como la creación de hub de datos supondrán una oportunidad para la generación de nuevos modelos de negocio y servicios que contribuyan a la mejora del bienestar de la sociedad y la sostenibilidad, por ejemplo, en áreas como la movilidad o la salud. Un reto en este sentido es garantizar el control de los datos compartidos, la privacidad y la seguridad.

Por último, a la hora de hablar de una IA eficiente, es necesario precisar su sostenibilidad y viabilidad en el tiempo. Por un lado, la cantidad y

variedad de datos a utilizar puede llegar a dificultar su mantenimiento y evolución, por lo que se vuelve fundamental crear ecosistemas y hubs de datos. Del mismo modo, si no hay un marco regulatorio o soporte que otorgue cierta soberanía sobre estos datos, así como sobre el uso que se les va a dar, pueden surgir reticencias a su implementación, lo que afectaría a su sostenibilidad futura.

Desde el Gobierno, la apertura de un proceso para presentar **Manifestaciones de Interés previas para el desarrollo del Programa Nacional de Algoritmos Verdes** supone un primer paso clave para establecer un marco colaborativo eficiente.

## Coordinación entre planes de formación

Por último, la colaboración público-privada es importante también para resolver la cuestión de la escasez de talento a la que nos hemos referido en el apartado anterior -en este caso, en el ámbito de la IA sostenible-.

En términos generales, es deseable una mayor colaboración entre empresas, administraciones, centros educativos de FP y universidades, así como una mayor coordinación entre iniciativas locales, autonómicas, públicas y privadas con el objetivo de fomentar la generación, atracción y retención del talento.

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, a través de sus reformas e inversiones, ofrece una oportunidad idónea para construir espacios más efectivos, pero también más eficientes y mejor coordinados, para la formación en las competencias que demandan las empresas.



# 9

## Ayudas e incentivos fiscales



Las grandes inversiones en tecnologías disruptivas como la IA adquieren un papel cada vez más crucial para que regiones como Europa tengan un rol de participación activo y relevante en el mercado

mundial. Un informe reciente del Banco Europeo de Inversión (BEI) titulado *Artificial intelligence, blockchain and the future of Europe: How disruptive technologies create opportunities for a green and digital*

*economy*<sup>7</sup> estima que **la Unión Europea debe invertir hasta 10.000 millones de euros al año para cerrar la brecha de inversión en este tipo de tecnologías con países como Estados Unidos y China**. En la actualidad la inversión de la Unión Europea es de apenas el 7% de la inversión mundial.

Establecer un tratamiento fiscal y mecanismos de financiación que impulsen el desarrollo y la expansión de iniciativas que fomenten la sostenibilidad, la inversión y la innovación en el desarrollo de sistemas de IA supondrá uno de los retos principales para impulsar a España en el mercado tecnológico mundial, ya que permitirá a las empresas doblar los esfuerzos que actualmente dedican al desarrollo de esta tecnología.

La materialización de las normativas que se establezcan y la definición de pautas e indicadores claros en torno a aspectos como la ética o la eficiencia en el desarrollo de la IA será uno de los retos para conseguir generar un ambiente de certidumbre y confianza, tanto en los inversores, como en las empresas de innovación.

Además, la administración pública tendrá un papel fundamental en el establecimiento y difusión de un marco y mecanismos que faciliten al sector privado la financiación y fomente la participación de los potenciales interesados en invertir.

---

<sup>7</sup> [Artificial intelligence, blockchain and the future of Europe: How disruptive technologies](#)

La actividad de entidades públicas como el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) tendrá gran relevancia como promotoras y canalizadoras de ayudas y apoyos de proyectos disruptivos. Al igual que sucede en el ámbito de la colaboración público-privada, **resultará esencial trabajar en aspectos como la reducción de la carga administrativa y plazos** (desde que se solicita una ayuda/subvención hasta que la conceden y desde que la conceden hasta que se hace efectivo el ingreso del importe de esta).

Es necesaria, a su vez, una financiación específica para la investigación y el desarrollo, ya que es un reto que puedan desarrollarse aplicaciones de IA para apoyar las actividades gubernamentales relacionadas con la supervisión, la planificación o las infraestructuras sin apoyo de las administraciones.

## Efecto dinamizador de los incentivos

En cuanto a los incentivos fiscales, según la Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal (AIReF), el nivel de inversión en I+D+i en España en 2020 era inferior al de los países de la UE y, a pesar de que el beneficio fiscal de I+D+i tiene una eficacia potencial destacada, **su eficacia real se ve reducida por los límites y requisitos**

[create opportunities for a green and digital economy - Executive Summary \(eib.org\)](#)



Por cada euro dedicado a incentivo fiscal, la inversión privada en I+D+i se incrementa en 1,5 euros.

**normativos**<sup>8</sup>. Según la AIREF, por cada euro público dedicado a incentivo fiscal en España, la inversión privada en I+D+i se incrementa en 1,5 euros. Este estudio, publicado en octubre de 2020, constata que los incentivos fiscales consiguen dinamizar la actividad económica, pero con menor intensidad que en otros países de nuestro entorno, a pesar de la mejora en accesibilidad a estos incentivos por parte de la pyme desde la introducción del régimen opcional, en 2014.

Por lo anterior, un reto importante para España es continuar trabajando por aproximar la eficacia potencial de

los incentivos fiscales con la real, así como propiciar la difusión y un mejor entendimiento por parte del tejido empresarial de los incentivos existentes, tanto a nivel autonómico como estatal y europeo.

Asimismo, para incentivar el desarrollo de algoritmos más sostenibles, sería recomendable implementar **incentivos concretos, no solo para el desarrollo de sistemas de inteligencia artificial eficientes energéticamente, sino también para la mejora de los ya existentes**. El Plan Nacional de Algoritmos Verdes arroja el marco perfecto en el que hacerlo realidad.

<sup>8</sup> [La AIREF propone cambios en la deducción por I+D+i](#)

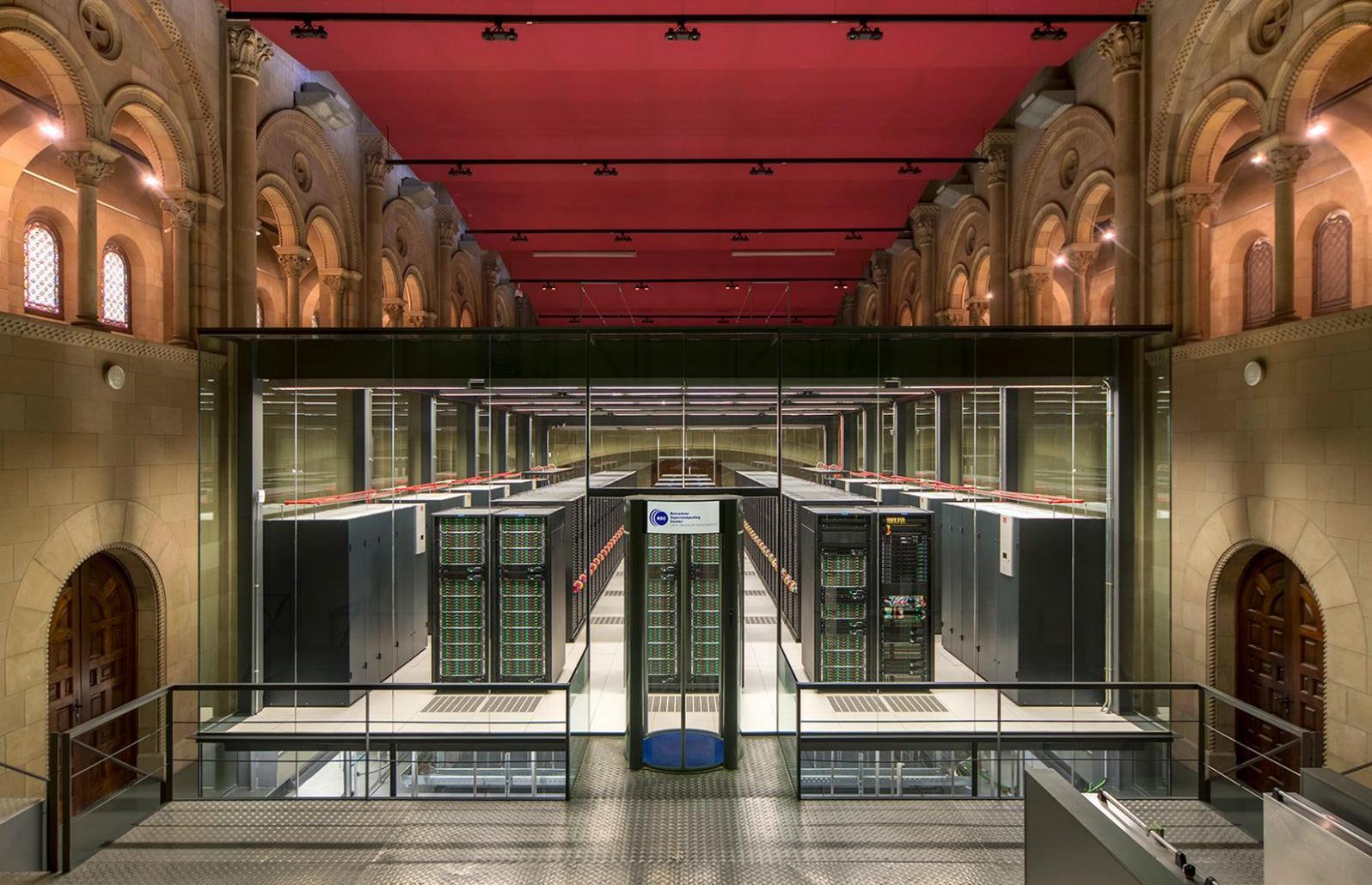


Imagen del superordenador MareNostrum, en el Barcelona Supercomputing Center.

# 10



## Inversión en plataformas españolas de supercomputación compartidas

## Red Española de Supercomputación

La Red Española de Supercomputación (RES) es una Infraestructura Científica y Técnica Singular (ICTS) distribuida por toda la geografía española, compuesta por 14 nodos interconectados entre sí por redes de alta velocidad. Su misión es ofrecer los recursos y servicios necesarios para el desarrollo de proyectos científicos y tecnológicos innovadores y de alta calidad. Mejorar las predicciones climáticas, estudiar las ondas gravitacionales, diseñar enzimas para desarrollar nuevos tratamientos, avanzar en la nanotecnología o simular turbulencias para diseñar vehículos más eficientes. Son algunos de los proyectos que se han realizado en la última década en España gracias a los superordenadores.

14 nodos  
en España

Con una capacidad  
de cómputo de:



+ 22  
PFlop/s

Los supercomputadores son equipos que cuentan con una gran potencia de cálculo, procesamiento y ejecución de software. Son plataformas diseñadas para resolver problemas muy complejos dentro del dominio de la ciencia, que tradicionalmente se basaban en la ejecución de modelos matemáticos.

Sin embargo, desde hace un tiempo, especialmente con el auge del aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, y debido a la gran potencia de cómputo que requieren estas soluciones, **los supercomputadores se han convertido en una herramienta clave, especialmente durante la fase de entrenamiento de los modelos de aprendizaje de IA.**

Nadie duda de la importancia de los superordenadores en el ámbito

científico, pero ¿qué ocurre con la empresa privada? Compañías de todo el mundo utilizan la computación de altas prestaciones (HPC, por sus siglas en inglés) en su estrategia empresarial porque es un aliado a la hora de diseñar nuevos productos, optimizar procesos de fabricación y abordar proyectos de big data. Por ello, puede suponer un impulso directo al desarrollo de una IA con un enfoque sostenible.

## Impulso de la I+D+i tecnológica

La inversión en este tipo de plataformas permitirá a España estar a la vanguardia en investigación y desarrollo tecnológico. Los supercomputadores contribuirán a la

extensión del desarrollo en Inteligencia Artificial y tendrán un papel muy relevante en la mejora de una eficiencia energética y sostenibilidad.

Y es aquí, en la aplicación empresarial de la supercomputación, así como de la computación cuántica y de la Inteligencia Artificial, donde surge la apuesta del Gobierno lanzada recientemente. Como ejemplo, se anunció el pasado octubre la aprobación por parte del Consejo de Ministros de una subvención de 22 millones de euros para impulsar la **creación de un**

**ecosistema de computación cuántica en España**, que se canalizará a través de la Red Española de Supercomputación, en línea con la estrategia trazada en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, con la agenda España Digital 2025 y la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial. El objetivo de la iniciativa pasa por garantizar el desarrollo de algoritmos cuánticos con un enfoque dirigido a la solución de casos reales, fortaleciendo con ello el desarrollo tecnológico e industrial en España y la creación de empleo de alta cualificación.



**digitales\_**