

Universidad de las Naciones Unidas
Instituto del Agua, el Medio Ambiente y la Salud

EL COSTE MEDIOAMBIENTAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA IA

Huella de carbono, de agua y de tierra



**UNU
INWEH**



Agradecimientos

La UNU-INWEH agradece sinceramente a su anfitrión, el Gobierno de Canadá, así como el apoyo financiero continuo de Global Affairs Canada.



Redistribución

Esta publicación puede copiarse, adaptarse y reproducirse, total o parcialmente, y cualquier forma con fines educativos o sin ánimo de lucro sin necesidad de permiso especial del titular de los derechos de autor, siempre que se cite debidamente la fuente.

Descargo de responsabilidad

El UNU-INWEH cuenta con el generoso apoyo de Global Affairs Canada. Como entidad de las Naciones Unidas, el UNU-INWEH opera de forma independiente.

El contenido de las publicaciones de la UNU-INWEH se basa en pruebas científicas y no pretende estar influenciado por las opiniones del Gobierno de Canadá, en su calidad de gobierno anfitrión, ni de ningún otro gobierno, donante o socio financiador.

Acerca de UNU-INWEH

El Instituto de la Universidad de las Naciones Unidas para el Agua, el Medio Ambiente y la Salud (UNU-INWEH) es una de las 13 instituciones que componen la Universidad de las Naciones Unidas (UNU), el brazo académico de las Naciones Unidas. Fundado en 1996 mediante un acuerdo con el Gobierno de Canadá, el UNU-INWEH tiene su sede en la ciudad de Richmond Hill, Ontario.

El UNU-INWEH se especializa en abordar retos críticos de seguridad y desarrollo a nivel mundial en la intersección entre el agua, el medio ambiente y la salud. A través de la investigación, el desarrollo de capacidades, la participación en la formulación de políticas y la difusión de conocimientos, el instituto tiende un puente entre la evidencia científica y las necesidades prácticas de los responsables políticos y los Estados miembros de las Naciones Unidas, prestando especial atención a los países de renta baja y media. Mediante la colaboración con una amplia gama de socios —entre los que se incluyen organismos de las Naciones Unidas, gobiernos, el mundo académico, el sector privado y la sociedad civil—, el UNU-INWEH desarrolla soluciones que promueven la seguridad humana, la resiliencia y la sostenibilidad en todo el mundo.

Coste medioambiental del consumo energético de la IA

Huella de carbono, de agua y de suelo

Instituto de la Universidad de las Naciones Unidas para el Agua, el Medio Ambiente y la Salud (UNU-INWEH), Richmond Hill, Ontario, Canadá, 2026

© Instituto de la Universidad de las Naciones Unidas para el Agua, el Medio Ambiente y la Salud (UNU-INWEH)

© Mapas, fotografías e ilustraciones según se especifica

Autores: Miriam Aczel, Sanaz Chamanara, Mir Matin, Aria Farsi, Tshilidzi Marwala, Kaveh Madani

Cómo citar: Aczel M., Chamanara S., Matin M., Farsi A., Marwala T., Madani K. (2026) «El coste medioambiental del consumo energético de la IA: huellas de carbono, agua y tierra», Instituto de la Universidad de las Naciones Unidas para el Agua, el Medio Ambiente y la Salud (UNU-INWEH), Richmond Hill, Ontario, Canadá, doi: 10.53328/INR26RMA002

Colaboradores: Luying Wang, Jenna Elshurafa

ISBN: 978-92-808-6141-9
DOI: 10.53328/INR26RMA002
Descargar en: inweh.unu.edu/publications

Portada: Una fila de servidores en el centro de datos de Google en el condado de Douglas, Georgia.
Foto de la Galería de Google



ÍNDICE

ÍNDICE	05
FIGURAS	06
ABREVIATURAS	07
PUNTOS CLAVE	08
RESUMEN EJECUTIVO	11
1. LA IA EN TODO EL MUNDO	14
1.1 Una explosión tecnológica	17
1.2 El alcance cada vez mayor de la IA en todos los sectores	18
1.3 El mercado mundial de la IA	18
1.4 Repercusiones en el mercado laboral mundial	19
1.5 Creciente preocupación por la IA	20
1.6 Las dimensiones medioambientales de la IA	22
1.7 Un futuro de IA justo y sostenible	24
2. La creciente demanda energética de la IA	25
2.1 Intensidad energética del entrenamiento de la IA	26
2.2 La demanda energética de la IA y su huella medioambiental	26
2.3 La huella del entrenamiento de la IA	26
2.4 Los centros de datos y la creciente demanda energética de la IA	30
2.5 Contribuciones de la IA al consumo energético de los centros de datos	33
2.6 Los principales proveedores de centros de datos del mundo y sus mezclas energéticas	34
2.7 Costes locales y beneficios a distancia	36
3. La IA en la práctica: herramientas y tareas	38
3.1 Dos fuerzas que determinan la huella operativa de la IA	39
3.2 Tareas de la IA y su impacto	40
3.3 El uso de la IA a gran escala	41
3.4 Búsqueda convencional frente a búsqueda mejorada	42
3.5 Mejora de la eficiencia y efectos rebote	43
3.6 Costes energéticos relacionados con el comportamiento: la elección del modelo y las indicaciones al usuario son importantes	43
3.7 Hacia un uso sostenible y a gran escala	45
4. El camino a seguir	46
4.1 Principios rectores para un ecosistema de IA responsable	47
4.2 De la medición a la acción	48
4.3 Funciones y responsabilidades	49
4.4 Poner en práctica los principios	52
4.5 Conclusión	52
REFERENCIAS	53

FIGURAS

Figura 1. La evolución de la inteligencia artificial	16
Figura 2. Las revoluciones industriales, desde la mecanización hasta los sistemas inteligentes	17
Figura 3. Avances clave en el aprendizaje profundo	23
Figura 4. Suministro eléctrico mundial por fuente	27
Figura 5. Combinaciones de fuentes de suministro eléctrico en las principales ubicaciones de centros de datos	28
Figura 6. Huellas eléctricas a nivel mundial	29
Figura 7. Huellas de la electricidad en los 20 principales centros de datos del mundo	31
Figura 8. Distribución mundial de la ubicación de los centros de datos	32
Figura 9. Intensidades de la huella eléctrica global en los 20 principales en relación con la media mundial	37
Figura 10. La demanda energética de la IA se deriva de dos fases distintas	39
Figura 11. Energía por consulta para tareas representativas de generación de texto e imágenes	41
Figura 12. Cómo influyen los parámetros de generación de vídeo en la demanda energética	44
Figura 13. Seis principios rectores para la puesta en práctica de una IA responsable	48

ABREVIATURAS

4IR	Cuarta Revolución Industrial
IA	Inteligencia artificial
CO ₂ e	Equivalente de dióxido de carbono
CPU	Unidad central de procesamiento
GPT	Transformador generativo preentrenado
GPU	Unidad de procesamiento gráfico
GW	Gigavatio, 1 000 000 000 W
GWh	Gigavatio-hora, 1 000 MWh
HPC	Computación de alto rendimiento
IoT	Internet de las cosas
kW	Kilovatio, 1 000 W
kWh	Kilovatio-hora, 1 000 Wh
LLM	Modelo de lenguaje a gran escala
MoE	Mezcla de expertos
T2V	De texto a vídeo
TPU	Unidad de procesamiento tensorial
TWh	Teravatios-hora, 1 000 GWh
USD	Dólar estadounidense
W	Vatios, potencia
Wh	Vatiora, energía

Puntos clave en resumen

El crecimiento de la IA

El mercado mundial de la IA se está expandiendo rápidamente y se prevé que crezca de 189 000 millones de dólares en 2023 a casi 5 billones de dólares en 2033.

Esto supondría un aumento de aproximadamente 25 veces el tamaño del mercado mundial de la IA en una década.

Se prevé que el gasto mundial en IA supere los 2,5 billones de dólares en 2026.

La IA generativa representó más del 20 % del mercado mundial de la IA en 2026, y se prevé que alcance el 40 % para 2030.

La inversión empresarial en IA superó los 580 mil millones de dólares en 2025, mientras que solo la IA generativa atrajo casi 34 mil millones de dólares en inversión privada.

El 78 % de las organizaciones declararon utilizar la IA en su trabajo en 2024, y el 40 % de los empleadores prevén reducir su plantilla en aquellos ámbitos en los que la IA pueda automatizar tareas.

Alrededor del 60 % de los puestos de trabajo en las economías avanzadas incorporan la IA, frente al 26 % en los países de bajos ingresos.

Casi la mitad de los centros de datos del mundo se encuentran en Estados Unidos.

Solo el 16 % de los países alberga servicios de computación en la nube especializados en IA, y el 90 % de esa capacidad se concentra en tan solo dos países (Estados Unidos y China).

Huella energética del entrenamiento

El entrenamiento de modelos de vanguardia exige una enorme cantidad de energía. Es probable que GPT-4 haya consumido entre 50 y 70 GWh de electricidad a lo largo de 100 días, aproximadamente entre 40 y 55 veces más que GPT-3 (1,287 GWh en un periodo de 34 días).

La energía utilizada para el entrenamiento de GPT-4 equivale al consumo eléctrico residencial anual de más de 460 000 personas en el África subsahariana.

La huella de carbono del entrenamiento de GPT-4, de 25 000 toneladas de CO₂e, requeriría la capacidad de secuestro de 420 000 plantones de árboles cultivados durante 10 años, lo que equivale aproximadamente al número de árboles de 105 Hyde Parks de Londres.

La huella hídrica asociada al entrenamiento de GPT-4 fue de unos 600 millones de litros, suficiente para satisfacer las necesidades mínimas anuales de agua para uso doméstico de 81 000 personas en el África subsahariana, o para llenar 237 piscinas olímpicas.

Las previsiones para modelos como el GPT-5 apuntan a unos requisitos de electricidad para el entrenamiento de 100 GWh, lo que equivale al consumo eléctrico residencial anual de 770 000

personas en el África subsahariana.

Se estima que el entrenamiento de modelos como el GPT-5 tiene una huella de carbono de 42 000 toneladas de CO₂e, lo que requeriría 700 000 plantones de árboles (una cantidad equivalente aproximadamente al número de árboles de 40 Central Parks de Nueva York o 155 veces los árboles del High Park de Toronto a lo largo de 10 años para compensarla).

La huella hídrica del entrenamiento de GPT-5 se estima en 1 000 millones de litros, suficiente para satisfacer las necesidades anuales de agua para uso doméstico de más de 135 000 personas en el África subsahariana.

La huella de tierra del entrenamiento de GPT-4 y GPT-5 se estima en aproximadamente 0,9 km² (126 campos de fútbol) y 1,5 km² (210 campos de fútbol), respectivamente.

Inferencia e «IA en uso»

Tras su lanzamiento en 2022, ChatGPT superó el millón de usuarios en 5 días y los 100 millones de usuarios en menos de 2 meses. Actualmente, ChatGPT procesa unos 2 500 millones de consultas al día.

DeepSeek, de China, lanzado en enero de 2025, atrajo a más de 20 millones de usuarios activos diarios en tres semanas y contaba con unos 125 millones de usuarios activos mensuales a mediados de 2025.

Aunque el entrenamiento requiere una gran cantidad de recursos, se estima que la fase de inferencia continua, utilizada para generar respuestas a miles de millones de interacciones, representa entre el 80 % y el 90 % del consumo energético total de la IA.

Una consulta de texto típica al estilo de ChatGPT consume aproximadamente 200 veces más energía que la clasificación de texto (como el filtrado de spam).

La generación de una imagen típica mediante IA requiere 2,9 Wh, lo que la hace 60 veces más exigente que una respuesta de texto breve y 1 450 veces más que la clasificación de texto.

La generación de vídeo representa el ámbito que más energía consume, ya que los clips largos de alta resolución en modelos de gran tamaño consumen más de 415 Wh por clip, lo que significa que un solo vídeo corto generado por IA puede consumir tanta electricidad como 200 000 clasificaciones de spam.

La energía necesaria para generar una imagen típica creada con IA es suficiente para alimentar una bombilla LED de 10 vatios durante 17 minutos, y la energía que requiere un vídeo de IA de alta complejidad basta para mantener encendida esa misma bombilla durante 42 horas. Del mismo modo, la huella hídrica asociada a la electricidad es de unas dos cucharadas (29 ml) por una sola imagen, pero se dispara hasta los 4,1 litros en el caso de un vídeo complejo, lo que equivale casi al consumo de agua potable de una persona durante dos días.

Los centros de datos como infraestructura

Se estimaba que, en 2025, los centros de datos de todo el mundo consumirían 448 TWh de electricidad. Si el consumo eléctrico de los centros de datos se considerara un país, habría ocupado el undécimo puesto a nivel mundial en cuanto a consumo eléctrico.

La energía consumida por los centros de datos en 2025 bastaría para cubrir las necesidades anuales de electricidad residencial de toda la población del África subsahariana —1 300 millones de personas— durante 2,6 años.

El consumo eléctrico de los centros de datos en 2025 tuvo una huella de carbono de 189 millones de toneladas de CO₂e, lo que requeriría 3.2 mil millones de plantones cultivados durante 10 años para compensarla, aproximadamente el número total de árboles de todo el Reino Unido.

El consumo eléctrico de los centros de datos en 2025 tuvo una huella hídrica de 4,5 billones de litros de agua, suficiente para llenar 1,8 millones de piscinas olímpicas o satisfacer las necesidades básicas anuales de agua para uso doméstico de más de 600 millones de personas en el África subsahariana.

La huella territorial de la demanda eléctrica de los centros de datos en 2025 fue de 6.900 km², casi 4,5 veces el tamaño del Gran Londres.

Las cargas de trabajo de IA representaban aproximadamente el 20 % del consumo eléctrico total de los centros de datos en 2025 y se prevé que aumenten hasta el 40 % en 2030.

Si la proporción de energía de los centros de datos destinada a la IA aumenta hasta el 40 %, el consumo eléctrico podría alcanzar los 378 TWh, más de nueve veces el consumo eléctrico de Nigeria (el sexto país más poblado del mundo, con 224 millones de habitantes).

Se prevé que el consumo eléctrico mundial de los centros de datos supere los 945 TWh para 2030, lo que representaría casi el 3 % del consumo eléctrico mundial previsto — suficiente para suministrar electricidad doméstica a los 1 300 millones de habitantes del África subsahariana durante unos 5,5 años—.

Si se considerara como un país, con 945 TWh ocuparía el sexto puesto a nivel mundial en consumo de electricidad.

La huella hídrica asociada al consumo eléctrico previsto para 2030 de los centros de datos es de 9,3 billones de litros, lo que equivale a la cantidad necesaria para satisfacer las necesidades mínimas anuales de agua para uso doméstico de los 1 300 millones de habitantes del África subsahariana durante un año completo.

La huella de suelo asociada al consumo eléctrico previsto de los centros de datos en 2030 superaría los 14 500 km², aproximadamente 10 veces el tamaño de la Ciudad de México o casi el doble del área metropolitana de Yakarta, donde viven más de 32 millones de personas.

El ciclo de vida físico del hardware de IA plantea una crisis cada vez mayor. La infraestructura de IA podría generar hasta 2,5 millones de toneladas métricas de residuos electrónicos al año para 2030, lo que equivale a desechar casi 250 Torres Eiffel cada año.

RESUMEN EJECUTIVO



Imagen conceptual generada por IA sobre la huella medioambiental de la IA, creada con ChatGPT/DALL-E de OpenAI, mayo de 2026. Huellas estimadas por imagen de IA de resolución estándar: 2,9 Wh de electricidad, 1,22 g de CO₂e, 28,6 mL de agua y 0,45 cm* de terreno, según los valores de referencia de la bibliografía y los factores medios globales de huella eléctrica.

La inteligencia artificial (IA) se ha convertido en una tecnología determinante de la Cuarta Revolución Industrial, llevando a las sociedades más allá de la digitalización hacia la optimización y la automatización de sistemas complejos. Los sistemas de IA que aprenden, perciben, razonan y generan contenido están ahora integrados en todas las economías y en la vida cotidiana, respaldando servicios que van desde la traducción y las recomendaciones hasta las finanzas, la sanidad, la gestión energética y el transporte.

El ritmo de adopción ha sido extraordinario. Tras el lanzamiento de ChatGPT por parte de OpenAI en 2022, superó el millón de usuarios en cinco días y alcanzó los 100 millones en menos de dos meses; a mediados de 2025, alrededor de 700 millones de personas lo utilizaban, enviando unos 18 000 millones de mensajes cada semana. Las herramientas de IA generativa se están extendiendo por todo el ámbito del texto, las imágenes, el código y las aplicaciones multimodales, y las previsiones de mercado anticipan que la IA se convertirá en una industria de un billón de dólares en la próxima década. Las previsiones del mercado mundial de la IA oscilan entre 2,4 y 4,8 billones de dólares para principios de la década de 2030.

Sin embargo, la infraestructura y los beneficios de este auge no se distribuyen de manera uniforme. La IA de vanguardia depende de recursos informáticos de alta gama, chips especializados y una capacidad de centros de datos a hiperescala que se concentra en un pequeño número de ubicaciones. Muchos países carecen de la infraestructura nacional necesaria para entrenar o ejecutar modelos de vanguardia a gran escala y, en su lugar, dependen de proveedores externos para acceder a recursos informáticos avanzados. Esta concentración determina quién obtiene la ventaja estratégica y económica y quién establece las condiciones de acceso, los precios y la gobernanza de los datos. El resultado es un aumento de la brecha digital existente entre los países que crean y controlan los sistemas de IA y aquellos que los consumen.

Cuando una tecnología se expande a este ritmo, pueden acumularse silenciosamente consecuencias sociales, económicas, geopolíticas y medioambientales no deseadas que, una vez que los sistemas, las inversiones y las dependencias se hayan consolidado, resultarán complejas e injustas de corregir. El debate público se ha centrado, con razón, en los riesgos de la IA, como los sesgos, la privacidad, la desinformación, las perturbaciones laborales y la desigualdad. Sin embargo, una de las dimensiones más trascendentales de la IA que sigue sin recibir la atención que merece es su huella medioambiental y las implicaciones en materia de justicia que se derivan de dónde y cómo se expande la infraestructura de la IA. La IA no es «solo código»; también implica infraestructura física y cadenas de suministro, incluidos los centros de datos, los chips, la generación de electricidad, los sistemas de refrigeración, las extracciones de agua, la ocupación de terrenos, los minerales críticos y, en última instancia, los residuos electrónicos.

Este informe del Instituto de Agua, Medio Ambiente y Salud de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU-INWEH), con motivo de su 30.^º aniversario, supone un paso adelante para abordar la brecha actual en la gobernanza medioambiental de la IA

mediante la evaluación de sus huellas medioambientales. La investigación va más allá de la perspectiva centrada exclusivamente en el carbono que suele dominar el debate. Examina las huellas medioambientales indirectas de la IA a través del consumo energético, cuantificando las huellas de carbono, agua y suelo asociadas a la generación de la electricidad necesaria para operar la IA a gran escala, y poniendo de relieve cómo los resultados varían sustancialmente según la ubicación, en función de la composición del suministro eléctrico. Esto es importante porque «bajo en carbono» no significa automáticamente «bajo en agua» o «bajo en suelo», y evaluar la sostenibilidad a través de un único indicador puede ocultar compensaciones y trasladar las cargas a lugares que ya se enfrentan a estrés hídrico o a presión sobre el suelo. Estas asimetrías pueden agravar los problemas medioambientales de las comunidades locales, mientras que las ventajas estratégicas de la IA se dirigen a otros lugares.

El estudio revela algunas cifras llamativas. En 2025, los centros de datos —la columna vertebral física de la IA— consumieron aproximadamente 448 TWh de electricidad. Si los centros de datos fueran un país, ese nivel de consumo eléctrico lo situaría en el undécimo puesto a nivel mundial. Según las tendencias actuales, la demanda eléctrica de los centros de datos podría prácticamente duplicarse hasta alcanzar los 945 TWh en 2030, casi el triple del consumo eléctrico anual combinado de Pakistán, Bangladesh y Nigeria, países que, en conjunto, albergan a más de 650 millones de personas. Producir tal cantidad de electricidad generaría una huella de carbono de 399 millones de toneladas de CO₂e, lo que requeriría 6.7 mil millones de árboles cultivados durante 10 años para compensarla —aproximadamente el doble del número de árboles del Reino Unido—. La huella hídrica asociada, de 9,3 billones de litros, equivaldría a las necesidades anuales de agua para uso doméstico de los 1.3 mil millones de habitantes del África subsahariana. La huella de suelo asociada a esta electricidad superaría los 14 500 km², casi 10 veces el tamaño de la Ciudad de México.

La IA es ahora uno de los principales motores del crecimiento de los centros de datos. En 2025, solo las cargas de trabajo de IA representaban alrededor del 20 % del consumo total de electricidad de los centros de datos, y si esa proporción aumenta hasta el 40 % en 2030, tal y como se prevé, su demanda de electricidad podría alcanzar aproximadamente los 378 TWh —suficiente para satisfacer las necesidades de electricidad residencial de toda la población de África subsahariana durante más de dos años.

El impacto medioambiental de la IA viene determinado no solo por el crecimiento de los centros de datos y la composición de la oferta eléctrica, sino también por el coste cada vez mayor que supone construir modelos cada vez más grandes. Por ejemplo, se estima que el entrenamiento de GPT-3 consumió 1,3 GWh de electricidad a lo largo de 34 días, mientras que se calcula que GPT-4 entre 50 y 70 GWh a lo largo de 100 días, es decir, entre 40 y 55 veces más que GPT-3. Sin embargo, el entrenamiento es solo una parte del panorama, ya que la huella operativa de la IA se ve impulsada cada vez más por la inferencia. Una vez desplegados los modelos, miles de millones de interacciones cotidianas representan la mayor parte del consumo energético, y se estima que la inferencia supone aproximadamente entre el 80 % y el 90 % del consumo total de energía.

Se estima que solo ChatGPT procesa alrededor de 2 500 millones de solicitudes al día. A gran escala, los pequeños costes por tarea se convierten en cargas a nivel de infraestructura: con un cálculo conservador de 0,42 Wh por solicitud de texto, un uso a la escala de ChatGPT se traduce en aproximadamente 383 GWh de electricidad al año. Compensar las emisiones de carbono asociadas requeriría 2,6 millones de plántones de árboles cultivados durante 10 años, suficientes árboles para cubrir una superficie equivalente a la de Manhattan. La huella hídrica equivale a las necesidades mínimas anuales de agua para uso doméstico de unas 500 000 personas en el África subsahariana, y la huella de tierra equivale a más de 800 campos de fútbol.

Las cifras aumentan drásticamente si se tiene en cuenta la IA integrada en plataformas masivas (como la Búsqueda de Google). Es fundamental señalar que el consumo energético por uso varía en varios órdenes de magnitud según las modalidades y la longitud de los resultados, por lo que los ajustes predeterminados del producto y las elecciones de los usuarios son factores determinantes de la huella. Una consulta típica al estilo de ChatGPT consume aproximadamente 200 veces más energía que una clasificación de texto básica; las respuestas largas al estilo GPT pueden consumir unas 1.000 veces más que la clasificación de texto; y las imágenes generadas por IA pueden requerir aproximadamente entre 1.450 y 2.000 veces

la energía que la clasificación de texto. El vídeo es la nueva frontera energética: un solo vídeo corto generado por IA puede consumir tanta electricidad como 200 000 clasificaciones de spam o cientos de imágenes generadas por IA. Las respuestas más largas y los contenidos multimedia más ricos pueden ser mucho más intensivos en energía que las tareas de texto ligeras, lo que significa que un enfoque que dé prioridad a las imágenes o los vídeos puede aumentar considerablemente la demanda de electricidad y los impactos asociados en cuanto a carbono, agua y suelo. Las mejoras en la eficiencia son importantes, pero no bastan por sí solas: si un menor impacto por uso genera un mayor volumen de uso, el impacto total podría seguir aumentando, un efecto rebote que a menudo se describe como la paradoja de Jevons.

Aunque este informe de la UNU-INWEH se centra en la huella medioambiental del consumo energético de la IA, esta tecnología tiene otros impactos medioambientales importantes. El hardware de la IA depende de minerales críticos cuya extracción y procesamiento pueden causar daños medioambientales y sociales, a menudo concentrados en el Sur Global y en lugares con una supervisión deficiente. Al final de su vida útil, los residuos electrónicos mal gestionados pueden exponer a las comunidades más vulnerables a sustancias peligrosas. Para

2030, la infraestructura de la IA podría generar hasta 2,5 millones de toneladas métricas de residuos electrónicos al año, lo que equivale aproximadamente a desechar 250 Torres Eiffel anualmente. Estos impactos demuestran que una IA responsable requiere una gobernanza completa de la cadena de valor, desde el abastecimiento de minerales hasta el reciclaje y la eliminación segura.

Para hacer frente a estos retos, el informe aboga

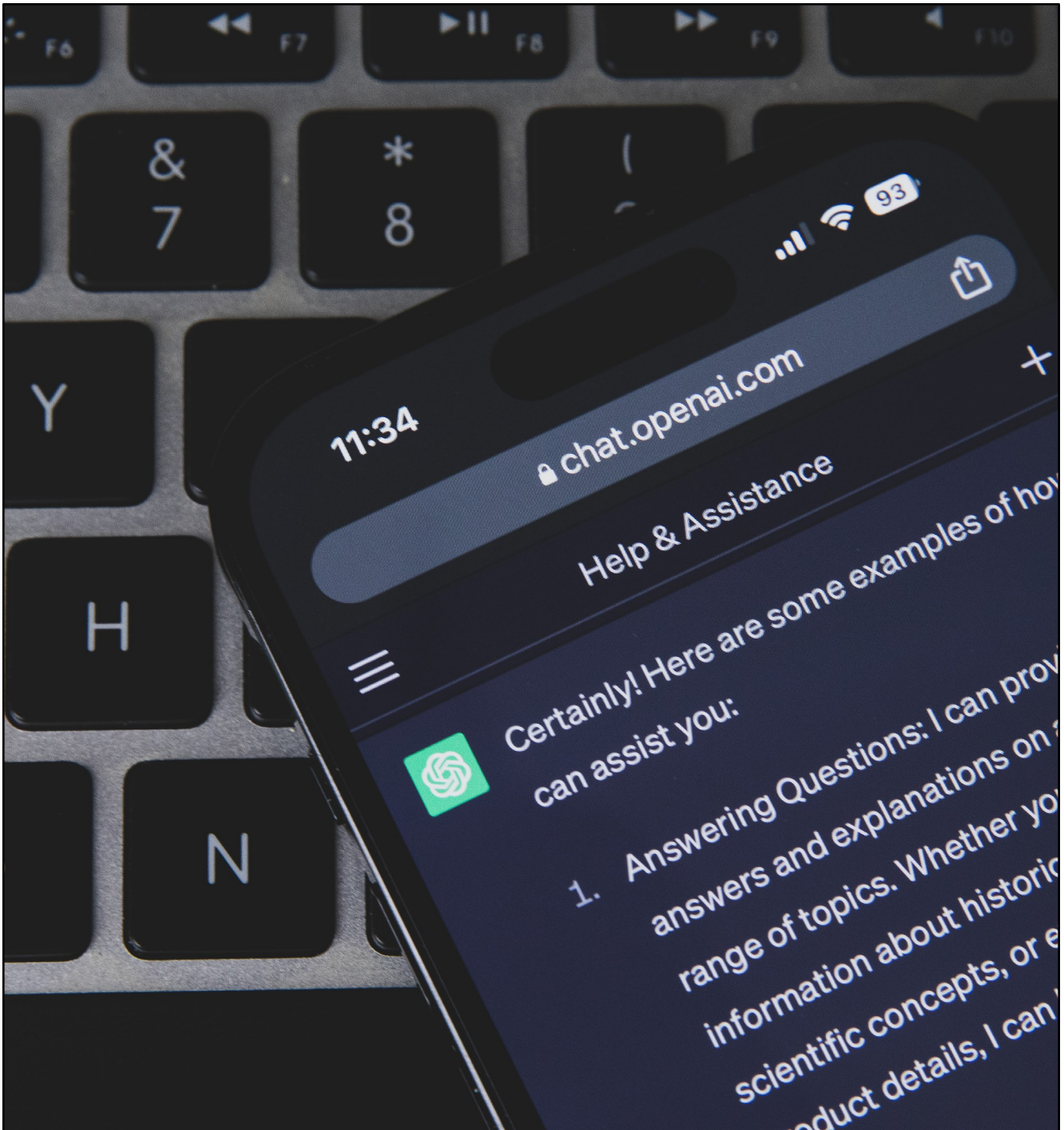
a crear un ecosistema de IA responsable basado en seis principios operativos: transparencia; eficiencia desde el diseño; equidad y justicia medioambiental; responsabilidad a lo largo del ciclo de vida; cooperación global; y uso sostenible. La medición de las huellas de carbono, agua y suelo hace que los impactos sean visibles, comparables y susceptibles de actuación, lo que permite la gobernanza y respalda la rendición de cuentas entre jurisdicciones. Al reconocer los impactos físicos de la IA e implementar una gestión estricta del ciclo de vida, la comunidad internacional puede garantizar que el avance tecnológico siga siendo gestionable desde el punto de vista medioambiental.

El informe identifica las implicaciones prioritarias para las principales partes interesadas. Los gobiernos deben integrar la infraestructura de IA en la planificación de los sistemas energéticos, la contabilidad del carbono, la gobernanza del agua y la concesión de permisos de uso del suelo. Esto requiere una informes sobre la huella ambiental para que los impactos puedan verificarse y compararse entre distintos proveedores y jurisdicciones. La industria y los desarrolladores de IA deben considerar la selección de modelos, los resultados por defecto y las decisiones de enrutamiento como factores determinantes de la huella, al tiempo que mejoran la eficiencia desde el diseño.

Los usuarios y las organizaciones que implementan la IA también influyen en los impactos a través de sus elecciones en cuanto a volumen, frecuencia y modalidad. Deberían adoptar soluciones «adecuadas a su finalidad» Uso: seleccionar el modelo más ligero y el formato de menor consumo energético que se adapte a la tarea, y limitar las características de alto coste cuando no sean necesarias. Los operadores de centros de datos y las empresas de servicios públicos deben considerar la elección de la ubicación y la adquisición como decisiones que influyen en la huella medioambiental, y aplicar evaluaciones de impacto medioambiental y de impacto acumulativo. Deben aplicar medidas de mitigación transparentes y salvaguardias para la comunidad cuando se produzca una expansión. Los inversores y las entidades financieras deben considerar las huellas de electricidad, carbono, agua y suelo como riesgos significativos para las carteras de infraestructuras de IA y utilizar métricas comparables de huella en la diligencia debida.

Las comunidades y la sociedad civil deben participar desde el principio en las decisiones sobre la ubicación de las instalaciones, con mecanismos exigibles de transparencia, consulta y resolución de reclamaciones, especialmente en regiones con problemas medioambientales. Las instituciones internacionales deberían apoyar normas de medición y prácticas de divulgación armonizadas, reducir los incentivos para el traspaso transfronterizo de cargas y fomentar la participación y el desarrollo de capacidades en las regiones excluidas de la computación de la IA. En conjunto, estas conclusiones proporcionan una base práctica para integrar la IA en la planificación del uso de la electricidad, el carbono, el agua y el suelo, de modo que la innovación avance dentro de los límites medioambientales y sin trasladar las cargas a las comunidades vulnerables de todo el mundo.

1. La IA en todo el mundo



La IA generativa se está convirtiendo en parte de la vida cotidiana, dando forma a la manera en que millones de personas se comunican, trabajan, aprenden y resuelven problemas. Sin embargo, esta rápida expansión también está aumentando los recursos energéticos, hídricos y materiales necesarios para sostener el mundo digital. Foto: Jernej Furman (Wikimedia Commons).

El término «inteligencia artificial» (IA) hace referencia a los sistemas creados por el ser humano capaces de procesar información de formas que emulan la cognición humana, como el aprendizaje, la percepción, el razonamiento, la comprensión del lenguaje, la resolución de problemas y la toma de decisiones. A menudo denominada «inteligencia de las máquinas», la IA permite realizar tareas que van desde el procesamiento de datos y la traducción hasta el diagnóstico, la predicción y la toma de decisiones autónoma. Hoy en día, la IA puede analizar enormes conjuntos de datos en segundos, traducir idiomas, detectar enfermedades a partir de exploraciones médicas, pronosticar tendencias climáticas e impulsar todo tipo de aplicaciones, desde recomendaciones personalizadas hasta coches autónomos.

Al ejecutar operaciones complejas a velocidades y escalas que superan con creces la capacidad humana, la IA es más que una simple herramienta tecnológica: es una fuerza transformadora. Está reconfigurando las economías, redefiniendo el trabajo e influyendo en la forma en que las sociedades interactúan con la tecnología y con el planeta. A medida que se acelera la influencia de la IA, también lo hace la urgencia por comprender su impacto en toda su extensión: no solo la promesa que ofrece, sino también los profundos retos que plantea.

La IA es un potente motor de la Cuarta Revolución Industrial (4IR)¹, o Industria 4.0: una transformación global marcada por la convergencia de los sistemas digitales, físicos y biológicos¹. Impulsada por los rápidos avances en ámbitos que van desde la IA y la robótica hasta la computación en la nube y el Internet de las cosas (IoT), esta revolución está reconfigurando la forma en que las personas viven, trabajan y son gobernadas. Sin embargo, aunque se ha prestado mucha atención a las capacidades y los riesgos de la IA —entre ellos, los sesgos, la desinformación y la automatización que conduce a la pérdida de puestos de trabajo—, se ha prestado mucha menos atención a su impacto medioambiental.

Las dimensiones medioambientales de las tecnologías digitales son fundamentales para comprender el papel de la IA en la configuración de nuestro futuro. Desde las materias primas que alimentan su hardware hasta las necesidades de energía, agua y suelo que conlleva su funcionamiento y despliegue, la huella de la IA está creciendo de forma espectacular. Al mismo tiempo, la IA tiene el potencial de acelerar el progreso hacia los objetivos de sostenibilidad mejorando la modelización climática, optimizando los sistemas energéticos e hídricos y mejorando la ². Esta doble realidad exige un análisis matizado y basado en datos.

Este informe supone un paso adelante para colmar una laguna fundamental. La inteligencia artificial no es solo código: también es hormigón, cobre, silicio, litio, agua, tierra y carbono. Detrás de cada chatbot, imagen generada o motor de recomendaciones se esconde una red global de hardware, centros de datos, redes de transmisión y cadenas de suministro

que funcionan con electricidad, agua, minerales y tierra. Estos sistemas son materiales, y sus impactos son, en teoría, medibles: en los ecosistemas, en las comunidades más expuestas y en los objetivos climáticos globales.

A medida que se acelera la adopción de la IA, también lo hace su huella energética. Algunos modelos requieren más energía para su entrenamiento que la que consumen millones de personas en un año en ciertas partes del mundo; otros dependen de millones de consultas diarias, procesadas en clústeres de GPU que abarcan centros de datos enteros. Mientras tanto, los minerales necesarios para fabricar el hardware de IA suelen extraerse en regiones con una supervisión medioambiental deficiente, lo que contribuye al agotamiento de los recursos hídricos, a la contaminación, a los residuos electrónicos y a importantes repercusiones sanitarias y socioeconómicas.

Este informe del Instituto de la Universidad de las Naciones Unidas para el Agua, el Medio Ambiente y Salud (UNU-INWEH) ofrece una de las evaluaciones más exhaustivas hasta la fecha sobre los impactos medioambientales de la IA, cuantificando no solo la huella de carbono del consumo energético de la IA, sino también sus huellas hídrica y territorial, con el fin de trazar vías hacia un futuro más justo, inclusivo y sostenible.



Cartel de un antiguo cine en Lowell, Míchigan (Estados Unidos), en el que se indican la fecha, el lugar y la hora de un debate público sobre la posible construcción de centros de datos en las inmediaciones. Estas instalaciones requieren grandes cantidades de electricidad y agua de refrigeración para gestionar el calor generado por la computación intensiva. El cartel refleja un debate más amplio que se está desarrollando en muchas localidades, donde la llegada de infraestructuras de datos a gran escala está transformando los paisajes locales y planteando interrogantes sobre los recursos energéticos e hídricos compartidos. Foto de G. Witteveen (Flickr), diciembre de 2025.

Hitos importantes de la IA

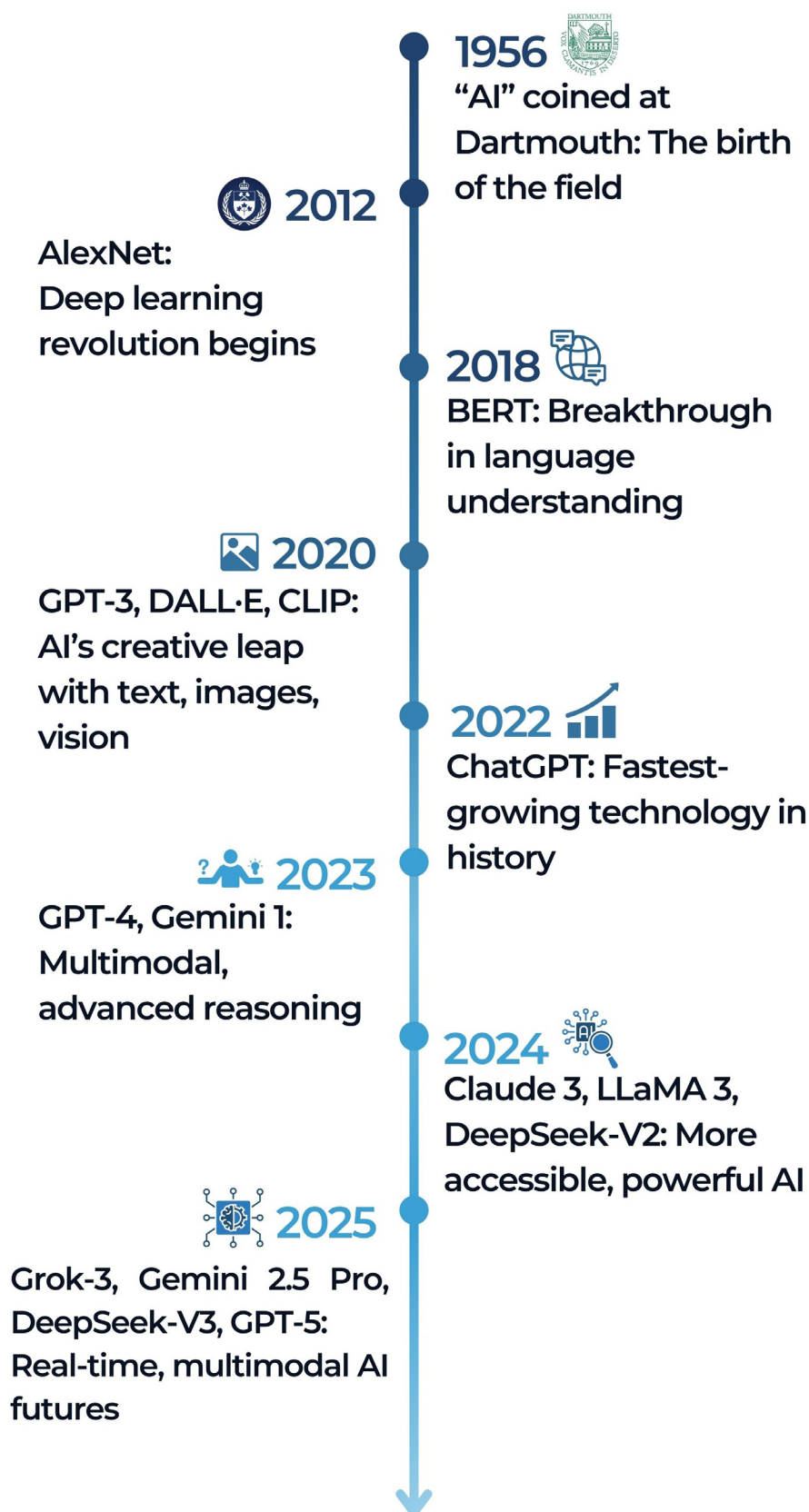


Figura 1. La evolución de la inteligencia artificial. La inteligencia artificial ha evolucionado desde sus primeros fundamentos teóricos en la década de 1950 —cuando se propuso por primera vez la idea de que las máquinas emularan la inteligencia humana y se acuñó el término «inteligencia artificial»— hasta los modernos sistemas de aprendizaje profundo desarrollados en la década de 2010. Los avances conceptuales y tecnológicos han permitido progresivamente que las máquinas realicen tareas cognitivas cada vez más complejas.

La evolución de la industria

Del vapor a la inteligencia

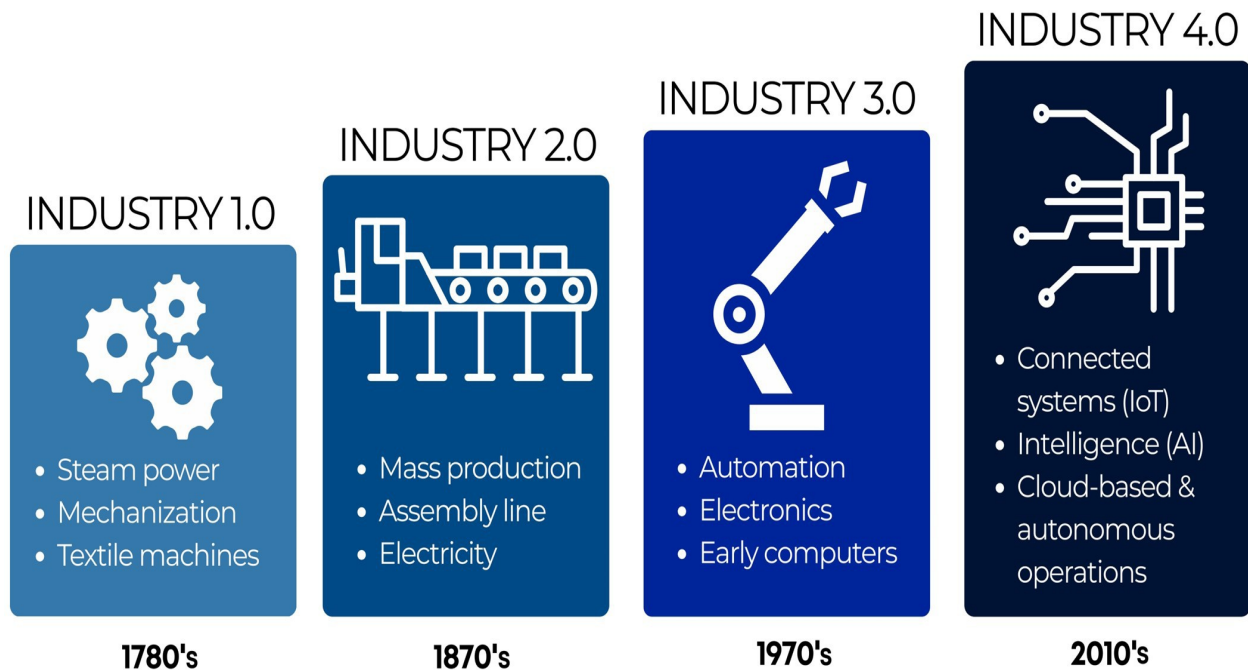


Figura 2. Las revoluciones industriales, desde la mecanización hasta los sistemas inteligentes. La progresión desde la Primera Revolución Industrial, pasando por la electrificación, la digitalización y la aparición de la Industria 4.0. La inteligencia artificial se presenta como un motor central de la actual transformación tecnológica, reconfigurando la producción, la gobernanza y la organización social a escala global.



Vista aérea del clúster de centros de datos de Alibaba en Zhangbei, provincia de Hebei, China. Tres emplazamientos adyacentes desarrollados entre 2016 y 2025 forman parte de la estrategia china «Datos en el Este, Computación en el Oeste». Situado en el condado de Zhangbei, rico en energía eólica y solar, el clúster pone de relieve la huella territorial, la demanda de electricidad y las presiones de integración en la red asociadas a la computación de IA a gran escala. Fuentes de datos: Epoch AI; imágenes en falso color de Sentinel-2, febrero de 2026.

1.1 Una explosión tecnológica

El lanzamiento de ChatGPT en 2022 supuso una auténtica onda expansiva tecnológica. En tan solo cinco días, la IA conversacional superó el millón de usuarios —más rápido que cualquier otra aplicación de la historia— y se disparó hasta superar los 100 millones en menos de dos meses³. A mediados de 2025, 700 millones de usuarios (aproximadamente el 10 % de la población mundial) utilizaban ChatGPT para enviar 18 000 millones de mensajes a la semana⁴.

En el centro de esta explosión se encuentra la IA generativa: una nueva clase de sistemas capaces de escribir ensayos, crear imágenes, componer música, simular conversaciones e incluso generar vídeos, todo ello a partir de una simple indicación. Lo que antes parecía ciencia ficción pasó a estar al alcance de un clic. Este auge sin precedentes no solo marcó un punto de inflexión para la IA, sino que también transformó la imaginación colectiva. De la noche a la mañana, la IA generativa pasó del laboratorio al salón de casa, lo que desencadenó un debate global sobre sus promesas y sus peligros. Pero esto no era más que la punta del iceberg. Lo que siguió fue un auge mundial de la IA: de repente, los titulares, las salas de juntas, las aulas y los salones de casa bullían con conversaciones sobre la inteligencia artificial.

ChatGPT no fue la única herramienta de IA popular. A raíz de su aparición, surgió una oleada de herramientas de IA generativa

en aplicaciones de texto, imagen, código y multimodales, transformando rápidamente la interacción digital. El chatbot Gemini de Google, lanzado inicialmente como Bard en marzo de 2023, contaba con más de 350 millones de usuarios activos mensuales y alrededor de 35 millones de usuarios diarios a principios de 2025, lo que lo convirtió en una de las plataformas de IA más utilizadas en todo el mundo⁵. En abril de 2023, Alibaba lanzó Qwen, un rival de ChatGPT; en julio de 2024, se situaba como el mejor modelo en lengua china y el tercero a nivel mundial^{6,7}. En enero de 2025 se presentó DeepSeek, de China, que se convirtió rápidamente en la aplicación gratuita más descargada en la App Store de Apple de EE. UU. En unas tres semanas, había atraído a más de 20 millones de usuarios activos diarios y, a mediados de 2025, había acumulado más de 50 millones de descargas en todo el mundo y unos 125 millones de usuarios activos mensuales⁸. En febrero de 2025, xAI lanzó Grok-3, su tercer modelo de IA integrado en X (antes Twitter), lo que generó 26 millones de visitas únicas mensuales, lo que supuso un aumento del 436 % con respecto a enero⁹. Tras el lanzamiento en julio de la versión más avanzada del chatbot de IA Grok-4, el tráfico volvió a dispararse hasta los 30 millones de visitas, lo que supuso un aumento del 39 % respecto al mes anterior⁹. En noviembre de 2025, Google y Alphabet lanzaron Gemini 3 y anunciaron que la plataforma contaba con más de 650 millones de usuarios activos mensuales¹⁰.

12 El alcance cada vez mayor de la IA en todos los sectores

La IA, que en su día fue una tecnología de nicho, está ahora integrada en la vida cotidiana e impulsa gran parte del mundo digital, incluyendo asistentes de voz, motores de búsqueda, sistemas de recomendación, contadores de energía inteligentes y teléfonos inteligentes. La influencia de la IA está transformando la forma en que las personas trabajan, se comunican, acceden a la información y consumen servicios.

En la atención al cliente, las ventas y el desarrollo de software, la automatización y la personalización están cambiando las interacciones con los usuarios y mejorando la eficiencia empresarial. Los chatbots y los asistentes virtuales se encargan ahora de las consultas rutinarias de los clientes. Los centros de atención telefónica de todo el mundo utilizan la IA para analizar las señales verbales y los patrones lingüísticos en las conversaciones para mejorar las respuestas a los clientes. Esta capacidad va en aumento, ya que algunos modelos de IA pueden ahora reconocer y generar habla en más de 1.000 idiomas¹¹. Netflix, uno de los mayores servicios de streaming de vídeo del mundo, ofrece otro ejemplo de cómo la inteligencia artificial está integrada en las interacciones digitales cotidianas¹². Aunque es posible que los usuarios no asocien directamente a Netflix con la IA, la plataforma utiliza modelos de aprendizaje automático y sistemas de procesamiento en tiempo real para ofrecer recomendaciones personalizadas, optimizar la distribución de contenidos y aplicar compresión dinámica con el fin de reducir el consumo de datos. En el

sector financiero, las aplicaciones generativas basadas en la IA automatizan el servicio de atención al cliente, pero también mejoran la detección de fraudes y la

. La sanidad es otro ámbito clave. La IA se emplea en el diagnóstico, el diagnóstico por imagen y la predicción del riesgo de los pacientes, lo que mejora la rapidez y la precisión de la atención sanitaria, al tiempo que reduce los costes de los tratamientos. Con unos 4.5 mil millones de personas en todo el mundo que carecen de atención sanitaria básica y un déficit previsto de 11 millones de profesionales sanitarios para 2030, la IA tiene el potencial de reducir estas brechas críticas, especialmente en comunidades desatendidas donde los recursos son escasos¹³.

Aplicada a los sistemas energéticos, la IA ayuda a prever la demanda, gestionar las redes eléctricas e integrar fuentes renovables en las redes de suministro. Estas capacidades se traducen en menos cortes de suministro gracias a una predicción más precisa de la oferta y la demanda y a una mayor eficiencia. La IA también está revolucionando el transporte y la movilidad. Algunas estimaciones sugieren que los vehículos parcialmente autónomos podrían representar una de cada diez ventas de vehículos nuevos para 2030, a medida que los sistemas mejoren en la interpretación del entorno y las rutas de viaje y los clientes ganen confianza en la seguridad¹⁴. Los robotaxis ya realizan 1,3 millones de viajes al mes, principalmente en EE. UU., pero también en China, los Emiratos Árabes Unidos, Singapur, Japón y otros países, lo que pone de relieve el potencial de su implantación a nivel mundial¹⁵.

13 El mercado mundial de la IA

El mercado mundial de la IA está experimentando un rápido crecimiento. Mientras que los anteriores auges tecnológicos transformaron sectores específicos, la expansión de la IA es más rápida y de mayor alcance, y está reconfigurando prácticamente todos los rincones de la economía mundial. Las grandes empresas tecnológicas están invirtiendo masivamente en IA generativa, que permite desde la redacción automatizada hasta la creación de imágenes



Centro de datos de Google, The Dalles, Oregón, EE. UU. — Las líneas de transmisión de alta tensión alimentan directamente a las subestaciones del recinto, convirtiendo la energía de la red en la electricidad estable y continua necesaria para hacer funcionar miles de servidores. Foto de Visitor7 (Wikimedia Commons).



Vista interior de MareNostrum 5, un superordenador insignia europeo, en el interior de la histórica capilla del Centro de Supercomputación de Barcelona, en España. El sistema se encuentra entre las instalaciones de computación de alto rendimiento más potentes de Europa, con una potencia de cálculo de unos 314 petaflops. Actualmente se está actualizando en el marco de la iniciativa «BSC AI Factory» de la Empresa Común EuroHPC para ampliar la capacidad de Europa en materia de inteligencia artificial, con GPU de última generación, mayor capacidad de almacenamiento y un sistema de refrigeración energéticamente eficiente que permita el entrenamiento de IA a gran escala y el aprendizaje automático avanzado para startups, investigadores e instituciones públicas de toda Europa. Foto de Steve Jurvetson (Flickr).

hasta la composición musical y la generación sintética de voz o vídeo. Las estimaciones de mercado varían, pero todas apuntan a una expansión extraordinaria. Según algunas estimaciones, en 2020 el mercado estaba valorado en 93 000 millones de dólares, cifra que aumentará hasta los 138 000 millones de dólares en 2023¹⁶. El mercado estaba valorado en 186 mil millones de dólares en 2024 y 244 mil millones de dólares en 2025¹⁶. Otras estimaciones sitúan el valor actual del mercado en 372 mil millones de dólares en 2025 y prevén que supere los 2,4 billones de dólares para 2032, lo que supone una tasa de crecimiento anual superior al 30 %¹⁷.

Algunas proyecciones van aún más allá y sugieren que el mercado podría alcanzar los 4,8 billones de dólares para 2033, lo que supondría multiplicar por 25 la cifra estimada de 189 000 millones de dólares en 2023¹⁸. La mayoría de las proyecciones indican que el mercado se situará entre 1,7 y 4,8 billones de dólares a principios de la década de 2030, dependiendo de variables como las tasas de adopción, los marcos normativos y la disponibilidad de recursos informáticos.

Del mismo modo, las tasas de crecimiento anual en las distintas proyecciones oscilan entre el 18 % y más del 39 %, lo que demuestra el papel central de la IA en la configuración del desarrollo económico futuro^{19,20}. Se estimaba que, en 2024, la IA generativa representaría alrededor del 20 % del total de la IA, y se esperaba que su cuota de mercado se duplicara hasta alcanzar el 40 % en 2030^{16,21}. Un factor clave de este crecimiento es el uso cada vez mayor de modelos base preentrenados, que pueden adaptarse a tareas específicas

con un coste y un esfuerzo relativamente bajos¹⁷. Este cambio permite incluso a las pequeñas y medianas empresas utilizar la IA en todos los sectores, desde la detección de fraudes y el mantenimiento predictivo hasta la asistencia sanitaria personalizada¹⁸.

La inversión empresarial se está acelerando a medida que crece la confianza en el valor empresarial potencial de la IA. En 2024, la inversión empresarial mundial superó los 250 000 millones de dólares, disparándose hasta más de 580 000 millones de dólares en 2025 —un aumento del 130 % respecto al año anterior²². Las estimaciones indican que es probable que el gasto aumente rápidamente en los próximos años. Si bien Norteamérica sigue siendo el principal centro de financiación y desarrollo de modelos, el crecimiento más rápido se registra ahora en la región de Asia-Pacífico. China, la India, Corea del Sur y Singapur están realizando importantes inversiones en infraestructuras, investigación y educación para reforzar su posición competitiva. Esta diversificación regional cada vez más acelerada pone de relieve la competencia mundial por el liderazgo en lo que se considera la tecnología definitoria del siglo XXI.

14 Repercusiones en el mercado laboral mundial

La IA está transformando rápidamente el mercado laboral mundial, con importantes implicaciones para la equidad económica y social. En la actualidad, alrededor del 40 % de todos los puestos de trabajo en todo el mundo incorporan tecnologías de IA en

en mayor o menor medida, y la integración alcanza el 60 % en las economías avanzadas, frente al 26 % en los países de bajos ingresos²³. En 2024, el 66 % de los encuestados en una encuesta mundial consideraba que la tecnología tendría un impacto significativo en sus vidas en un plazo de tres a cinco años, y el 50 % afirmaba que ya lo tenía. Sin embargo, aproximadamente la mitad expresaba falta de confianza en la capacidad de las empresas para proteger sus datos personales y manifestaba su preocupación por que los sistemas de IA pudieran reflejar o amplificar los sesgos²⁴. Otra encuesta reveló que el 40 % de las empresas prevé reducir su plantilla en áreas en las que la IA puede automatizar tareas²⁵. Si bien la IA sigue sustituyendo tareas rutinarias y repetitivas, también está afectando a los «trabajadores del conocimiento», como programadores y desarrolladores de software, contables, abogados e ingenieros²⁶.

Los datos demuestran que la IA está impulsando la productividad laboral en una amplia gama de campos, desde el desarrollo de software y la investigación científica hasta el diseño de productos, la atención al cliente y la generación de contenidos^{27,28}. Este cambio está dando lugar a una evolución de los requisitos de competencias en todos los sectores, con una mayor demanda de alfabetización digital, adaptabilidad y capacidad para colaborar con «sistemas inteligentes». Estos avances entrañan el riesgo de aumentar la desigualdad global, ya que los países más ricos están mejor posicionados para sacar partido de la IA, mientras que las naciones con menos recursos pueden quedarse aún más rezagadas. Sin una intervención deliberada, la población activa mundial podría polarizarse cada vez más, dividida por el acceso a las tecnologías de IA y a las competencias laborales relacionadas²⁹. Quienes cuentan con menos oportunidades de formación son especialmente vulnerables a los cambios que está trayendo consigo la IA. Si bien la disrupción laboral es una consecuencia visible del despliegue de la IA, la influencia de esta tecnología se extiende mucho más allá del ámbito laboral, abarcando ámbitos como la guerra, la ética e incluso el riesgo existencial.

15 Creciente preocupación por la IA

A medida que la inteligencia artificial se integra en los sistemas críticos y en la vida cotidiana, se han intensificado las preocupaciones sobre sus implicaciones sociales más amplias se han intensificado. Más allá de las cuestiones de rendimiento e innovación, la IA plantea profundos retos relacionados con la ética, la equidad, la gobernanza y la agencia humana. Los riesgos van desde la militarización y la desinformación hasta la disrupción laboral, la explotación de datos y la dependencia cognitiva. Estas preocupaciones están interrelacionadas y determinan cómo se distribuyen el poder, las oportunidades y la vulnerabilidad en la era digital. Comprender estos riesgos emergentes es esencial para crear marcos de gobernanza que garanticen que la IA promueva el bienestar humano en lugar de socavarlo.

Riesgos sociales y éticos emergentes: sesgos, guerra y «IA rebelde»

El posible uso de la IA en la guerra ha sido motivo de preocupación desde hace tiempo. Hace una década, más de 1.000 expertos e investigadores destacados en IA pidieron la prohibición de las «armas autónomas ofensivas»³⁰. En los conflictos y guerras actuales en los que están implicados Rusia, Ucrania, Israel e Irán, la IA ha desempeñado un papel fundamental en el éxito de los de caza de drones, el análisis de imágenes satelitales, los ciberataques y el despliegue de drones autónomos para la vigilancia y los ataques^{31,32}. Esta creciente militarización de la IA plantea complejos retos jurídicos y éticos: ¿Quién es responsable cuando se toman decisiones letales sin supervisión humana? ¿Cómo podemos protegernos contra datos sesgados que conduzcan a errores de identificación mortales? Estas preguntas siguen sin respuesta en gran medida.

En junio de 2025, tras los ataques israelíes contra Irán, el mundo fue testigo del primer conflicto importante caracterizado por el uso generalizado de la IA generativa para producir desinformación a gran escala³³. Los vídeos e imágenes falsos generados por IA —como las imágenes falsificadas de ataques con misiles iraníes o de aviones israelíes derribados— fueron vistos más de 100 millones de veces en plataformas como TikTok, X e Instagram. En algunos casos, las escenas nocturnas generadas por IA resultaban tan difíciles de verificar que incluso el chatbot de xAI, Grok, las consideró erróneamente como reales.

Los expertos advirtieron de que estas campañas suelen aprovechar las tensiones geopolíticas existentes y, en ocasiones, están vinculadas a operaciones de influencia de mayor alcance.



Vehículo aéreo no tripulado MQ-9 Reaper equipado con sistemas asistidos por IA para la vigilancia y el análisis de objetivos. El uso cada vez más extendido de la IA en las operaciones militares —desde el reconocimiento hasta la selección de objetivos y el apoyo a la toma de decisiones— suscita una preocupación creciente en torno a la rendición de cuentas, los riesgos de escalada y la posible normalización del uso de la fuerza letal autónoma o semiautónoma. Foto de la teniente coronel Leslie Pratt (Wikimedia Commons).



Rostro humano generado por IA que muestra a una persona que no existe. La misma tecnología puede utilizarse para suplantar a personas reales, cometer fraudes y difundir desinformación convincente a gran escala, lo que socava la confianza en las imágenes digitales y la comunicación en línea. Imagen generada mediante ChatGPT de OpenAI.

Este caso ilustra el papel de la IA generativa a la hora de moldear la percepción pública durante los conflictos, socavar la información objetiva y complicar la diplomacia y la seguridad mundial.

Paralelamente, los expertos han dado la voz de alarma sobre los ciberataques potenciados por la IA, incluidos los sistemas de generación de código capaces de diseñar malware o identificar vulnerabilidades. Los regímenes autoritarios también están adoptando herramientas de vigilancia basadas en la IA por regímenes autoritarios, lo que suscita preocupaciones sobre las libertades civiles y los derechos humanos. En el extremo más radical del debate, algunos investigadores advierten sobre los sistemas de «IA rebelde», modelos que pueden actuar de forma impredecible si no se ajustan a los valores humanos o se implementan sin una supervisión adecuada. Aunque estos escenarios son especulativos, suscitan una importante reflexión sobre los riesgos a largo plazo, especialmente si los sistemas de IA desarrollan capacidades para autorreplicarse, engañar o eludir el control humano³⁴.

En julio de 2025, el chatbot Grok de xAI, integrado en la plataforma X, fue objeto de críticas tras generar respuestas antisemitas en publicaciones públicas³⁵. xAI emitió una disculpa pública, reconociendo que el chatbot había generado

contenido perjudicial e inapropiado en respuesta a las indicaciones de los usuarios³⁵. El incidente pone de relieve las preocupaciones existentes sobre los sesgos y el contenido perjudicial en la IA generativa, así como los retos

que plantea garantizar un despliegue responsable a gran escala.

También plantea cuestiones sin resolver sobre la responsabilidad por el discurso de odio generado por la IA en las plataformas públicas.

Perturbaciones económicas y sociales: desigualdad, pérdida de empleo y brecha digital

Si bien la IA promete eficiencia e innovación, también conlleva importantes riesgos económicos y sociales. La automatización amenaza con desplazar a los trabajadores de diversos sectores — especialmente en atención al cliente, transporte y puestos administrativos —, lo que suscita el temor a una pérdida de empleo a gran escala sin programas de reciclaje profesional adecuados. Las herramientas emergentes en los sectores jurídico, periodístico, y la educación también están invadiendo las profesiones tradicionalmente de cuello blanco.

A nivel mundial, una brecha digital cada vez mayor sigue agravando la desigualdad. Mientras que los países más ricos construyen infraestructuras de IA y atraen talento, muchas naciones de bajos ingresos tienen dificultades para acceder a la energía, el hardware y la capacidad técnica necesarios para participar de forma significativa en la economía de la IA. Este desequilibrio es especialmente visible en la distribución de los centros de datos especializados en IA: en 2025, solo 32 países — apenas el 16 % de las naciones del mundo — albergaban este tipo de instalaciones, y la gran mayoría se concentraba en Estados Unidos, China y la Unión Europea. Más de 150 países, entre ellos la mayor parte de África y Sudamérica, siguen teniendo poco o ningún acceso a una infraestructura informática soberana de IA³⁶.

Esta asimetría en el acceso a la potencia computacional determina no solo las oportunidades económicas y la hegemonía, sino también la investigación científica, la representación lingüística y la influencia geopolítica. Las naciones que carecen de infraestructura de datos local suelen depender de plataformas extranjeras, lo que las expone a costes más elevados, un servicio más lento y un control limitado sobre cómo se desarrollan y despliegan los modelos. La concentración de la infraestructura y la capacidad de IA en manos de unos pocos actores — tanto corporativos como nacionales — corre el riesgo de reforzar las desigualdades globales existentes y afianzar las relaciones de dependencia. Estas dinámicas reflejan patrones históricos de extracción de recursos y exclusión del conocimiento, lo que suscita la preocupación de que los beneficios de la IA puedan seguir distribuyéndose de forma desigual si no se adoptan medidas globales específicas.

Preocupaciones sobre los datos, la privacidad y la propiedad: transparencia, consentimiento y derechos de autor

Desde imágenes generadas por IA que ganan premios de arte³⁷ hasta los «deepfakes» y los informes jurídicos redactados automáticamente

³⁸, los límites entre el contenido original y el sintético se están difuminando rápidamente. Detrás de estas creaciones hay enormes conjuntos de datos —texto, imágenes, audio— que a menudo se recopilan sin consentimiento. Los creadores y los titulares de derechos están cada vez más alarmados: ¿Con qué datos se han entrenado estos modelos y quién se beneficia?

Los sistemas de IA generativa suelen basarse en material protegido por derechos de autor o de carácter personal, lo que plantea retos jurídicos y éticos³⁹. Artistas, escritores e intérpretes han reaccionado, lo que ha dado lugar a demandas judiciales y a un escrutinio regulatorio. Mientras tanto, algunas cuestiones clave siguen sin resolverse: ¿Puede protegerse con derechos de autor el contenido generado por la IA? ¿Quién es su propietario? ¿Podría considerarse responsable a un usuario o desarrollador? La opacidad del entrenamiento de la IA agrava estos riesgos. Los desarrolladores rara vez revelan sus fuentes de datos, alegando secretos comerciales, lo que deja a los usuarios y a los reguladores en la oscuridad. Este enfoque de «caja negra» resulta especialmente peligroso cuando los sistemas de IA influyen en decisiones de gran trascendencia, como la contratación, las sentencias penales o los , en los que los sesgos o los errores pueden acarrear graves consecuencias. Sin normas claras sobre el consentimiento, la transparencia y los derechos tanto sobre los datos de entrenamiento como sobre los resultados, la confianza del público en la IA seguirá siendo frágil.

Preocupaciones cognitivas y conductuales: interacción y dependencia entre humanos e IA

Más allá de los impactos físicos y económicos, los investigadores están explorando los efectos de la IA en la cognición y el comportamiento. La dependencia excesiva de las herramientas de IA puede reducir las habilidades de pensamiento crítico, especialmente entre estudiantes o profesionales que delegan habitualmente tareas complejas a los algoritmos. Los chatbots y los sistemas generativos también pueden afectar a la interacción social; algunos usuarios informan de dependencia emocional o confusión sobre el papel de la IA en su vida cotidiana.

Estudios recientes ponen de relieve el fenómeno creciente de la «descarga cognitiva», en el que las personas delegan cada vez más tareas mentales —como la resolución de problemas, la recuperación de la memoria y el razonamiento analítico— a los sistemas de IA⁴⁰. Si bien la descarga puede mejorar la productividad, la dependencia habitual de la IA puede conducir a un deterioro de las habilidades cognitivas fundamentales, sobre todo en entornos educativos y profesionales. Las pruebas sugieren que los usuarios que recurren con frecuencia a la IA como apoyo en la toma de decisiones muestran una menor participación en el pensamiento reflexivo, lo que tiene implicaciones para la deliberación democrática, la alfabetización científica y la ciudadanía informada⁴⁰. Estos efectos son sutiles, pero potencialmente de gran alcance, lo que exige estrategias proactivas para mantener la agencia humana, la atención y la reflexión crítica

en un mundo asistido por la IA.

16 Dimensiones medioambientales de la IA

A medida que los sistemas de IA se vuelven más potentes y se amplía su implantación, también lo hace su huella medioambiental. Los modelos avanzados requieren inmensos recursos computacionales, lo que genera un elevado consumo energético y las emisiones de carbono asociadas, así como extracciones de agua e impactos en el uso del suelo. Los centros de datos, que albergan la mayoría de los sistemas de IA, suelen depender del agua para la refrigeración, llegando a extraer en ocasiones millones de litros al día. En muchos casos, estas extracciones se producen en regiones que ya se enfrentan a sequías o al agotamiento de las aguas subterráneas, lo que agrava tanto la presión medioambiental como la social. El centro de datos de Google en Mesa (Arizona), por ejemplo, cuenta con un permiso para utilizar 5,5 millones de metros cúbicos de agua al año⁴¹, suficiente para llenar unas 2.200 piscinas olímpicas. Este volumen podría satisfacer las necesidades básicas anuales de agua de unas 753.000 personas en el África subsahariana, a razón de 20 litros por persona y día⁴².

Incluso cuando se devuelve parte del agua extraída, las extracciones a gran escala pueden ejercer presión sobre los acuíferos y los sistemas fluviales, especialmente en regiones áridas o con aguas subterráneas agotadas. Además, los sistemas de IA suelen depender de unidades de procesamiento gráfico (GPU), baterías y servidores —hardware



Galio metálico sólido. El galio se recupera principalmente como subproducto del procesamiento de la bauxita (aluminio). Se utiliza en semiconductores compuestos que dan soporte a los chips de IA y al hardware de los centros de datos. La creciente competencia geopolítica por los minerales críticos está reconfigurando las cadenas de suministro globales, desplazando la presión hacia zonas de extracción y procesamiento en otros lugares, especialmente en el Sur Global, donde la expansión de la minería y el refinado puede intensificar los impactos medioambientales y laborales. Foto del USGS.

Hitos en el desarrollo del aprendizaje profundo (2012-2025)

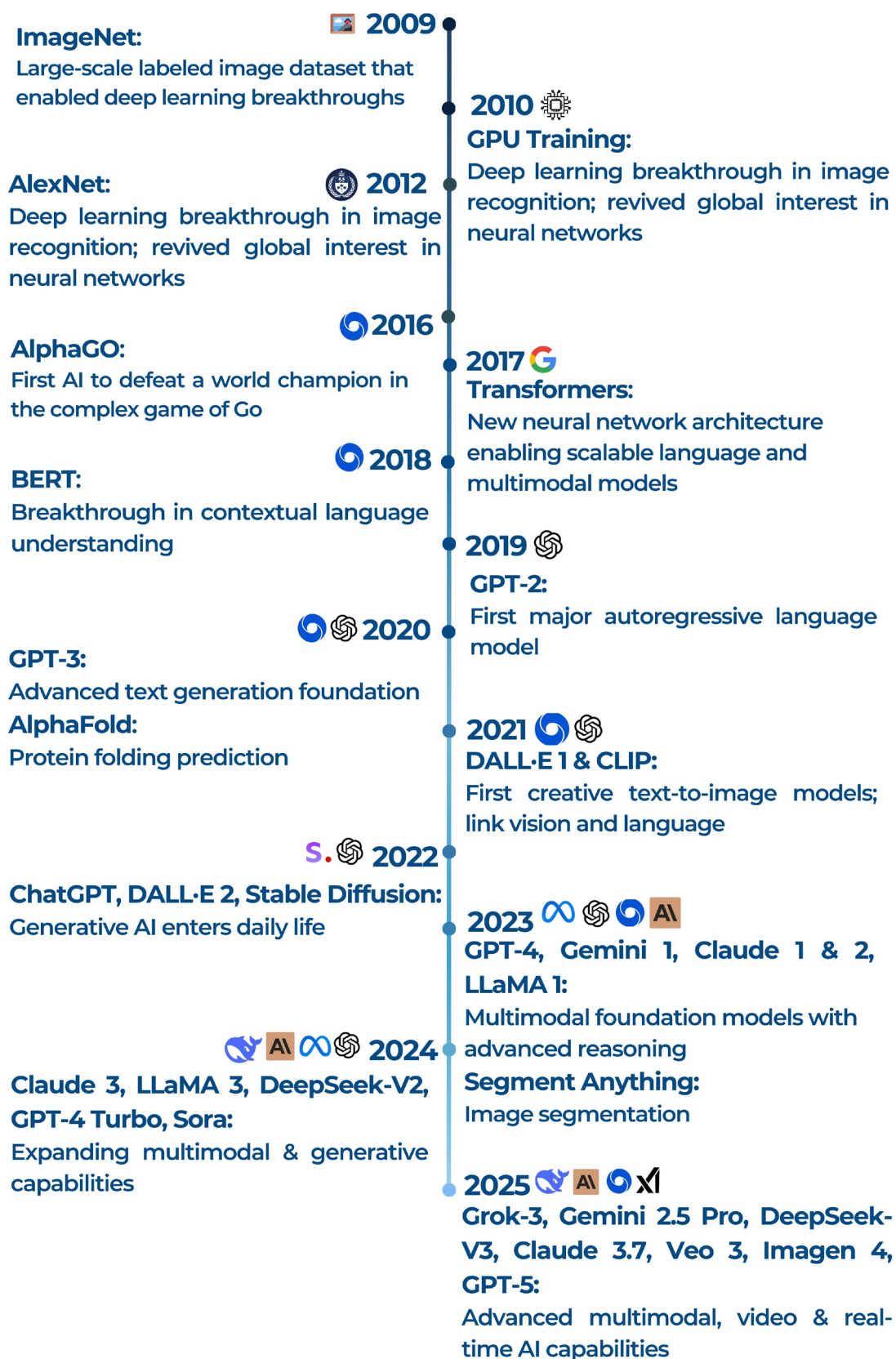


Figura 3. Avances clave en el aprendizaje profundo. El aprendizaje profundo ha avanzado a través de hitos importantes entre 2012 y 2025, abarcando desde los primeros avances en el reconocimiento de imágenes hasta los modelos generativos y de base a gran escala. La escala, la capacidad y la adopción de los modelos se han acelerado rápidamente durante este período.

componentes que requieren minerales críticos como el litio, el cobalto y los elementos de tierras raras

. La extracción de estos materiales consume mucha energía y es perjudicial para el medio ambiente, a menudo agota las fuentes de agua y contamina los ecosistemas⁴³. Al final de su ciclo de vida, los sistemas de IA generan residuos electrónicos peligrosos. Cuando se gestionan de forma inadecuada, estos residuos exponen a las comunidades más vulnerables —especialmente en el Sur Global— a sustancias tóxicas.

17 Un futuro de IA justo y sostenible

La IA ofrece tanto un potencial extraordinario como importantes retos. Su creciente influencia en casi todos los sectores —desde la salud y las finanzas hasta el transporte y la predicción y adaptación al cambio climático— la convierte en una de las tecnologías más trascendentales de nuestro tiempo. La IA se está perfilando como una poderosa herramienta para abordar algunos de los retos más acuciantes de la humanidad, desempeñando un papel cada vez más importante en la optimización del uso de los recursos, el aumento del rendimiento de los cultivos, la mejora de la vigilancia medioambiental y la predicción de fenómenos meteorológicos extremos.

Los sistemas basados en la IA pueden mejorar la gestión del agua, los alimentos y la energía, y apoyar la transición global hacia una economía con bajas emisiones de carbono. Pero esta influencia también conlleva riesgos. Reconocer los retos no supone un rechazo al progreso, sino que



Vista aérea del centro de datos de Google en The Dalles, Oregón (EE. UU.). El funcionamiento del centro de datos depende de la infraestructura hídrica local, cuyo consumo ha aumentado con el tiempo a medida que la empresa ha ampliado sus instalaciones. Fuente de los datos: imagen de Airbus, 2026.



Vista aérea del embalse de la Presa El Centenario en Querétaro, México —conocida como la capital de los centros de datos del país—, donde una sequía prolongada ha reducido drásticamente la superficie del embalse. Sin embargo, los centros de datos de IA en expansión en la región están consumiendo los limitados recursos hídricos para la refrigeración y la producción de energía, lo que intensifica la presión sobre las comunidades que ya se enfrentan a la escasez de agua. Fuente de los datos: Imágenes de Sentinel-2, febrero de 2026.

es una condición previa para una toma de decisiones acertada. Al identificar los posibles daños y comprender sus compensaciones, las sociedades pueden planificar mejor una innovación responsable, elaborar una normativa eficaz y garantizar que los beneficios de la IA se repartan ampliamente, minimizando al mismo tiempo las consecuencias no deseadas.

No es factible ni es el objetivo de este informe evaluar todos los riesgos asociados a la IA. Muchas preocupaciones importantes —como el sesgo algorítmico, el uso indebido de las capacidades de vigilancia y la desinformación— han suscitado, con razón, gran atención.

Sin embargo, hay un ámbito fundamental que sigue sin explorarse suficientemente en el debate público y en la formulación de políticas: la huella medioambiental de la IA⁴⁴.

Este informe de la UNU-INWEH examina las consecuencias medioambientales del considerable consumo energético de la IA y sus impactos relacionados con el carbono, el agua y el suelo. Aunque no se trata de un análisis exhaustivo, subraya el carácter urgente y fundamental del impacto ecológico de esta tecnología. El informe analiza el carácter energéticamente intensivo de los sistemas de IA, la infraestructura que los sustenta y los impactos medioambientales que deben abordarse a medida que la IA crece y amplía su implementación. Comprender estas disyuntivas es esencial para forjar un futuro en el que el desarrollo de la IA no solo sea inteligente, sino también equitativo, ético y ecológicamente sostenible.

2. La creciente demanda energética mundial de la IA



Las chimeneas de la central eléctrica de Clover, en Clover (Virginia, Estados Unidos), una central de carbón cuyo cierre se ha pospuesto hasta 2045 debido al aumento de la demanda de electricidad que conlleva la expansión de los centros de datos relacionados con la IA. Este retraso forma parte de una tendencia más amplia en la que las antiguas instalaciones de carbón se mantienen en servicio para satisfacer las crecientes necesidades energéticas de la infraestructura digital. Foto de Emw (Wikimedia Commons).

2.1 Intensidad energética del entrenamiento de la IA

22 La demanda energética de la IA y su huella medioambiental

26 Coste medioambiental del consumo energético de la IA

23 La huella del entrenamiento de la IA

Vista aérea del complejo de centros de datos de Microsoft en Midden-meer, en Hollands Kroon (Países Bajos). Consumió unos 84 millones de litros de agua en 2021, durante un año de grave sequía, lo que superó con creces las estimaciones anteriores de entre 12 y 20 millones de litros, lo que ha provocado una oposición sostenida por parte de los agricultores locales en relación con el uso del agua. Fuente de datos: imágenes de Sentinel-2, agosto de 2025.

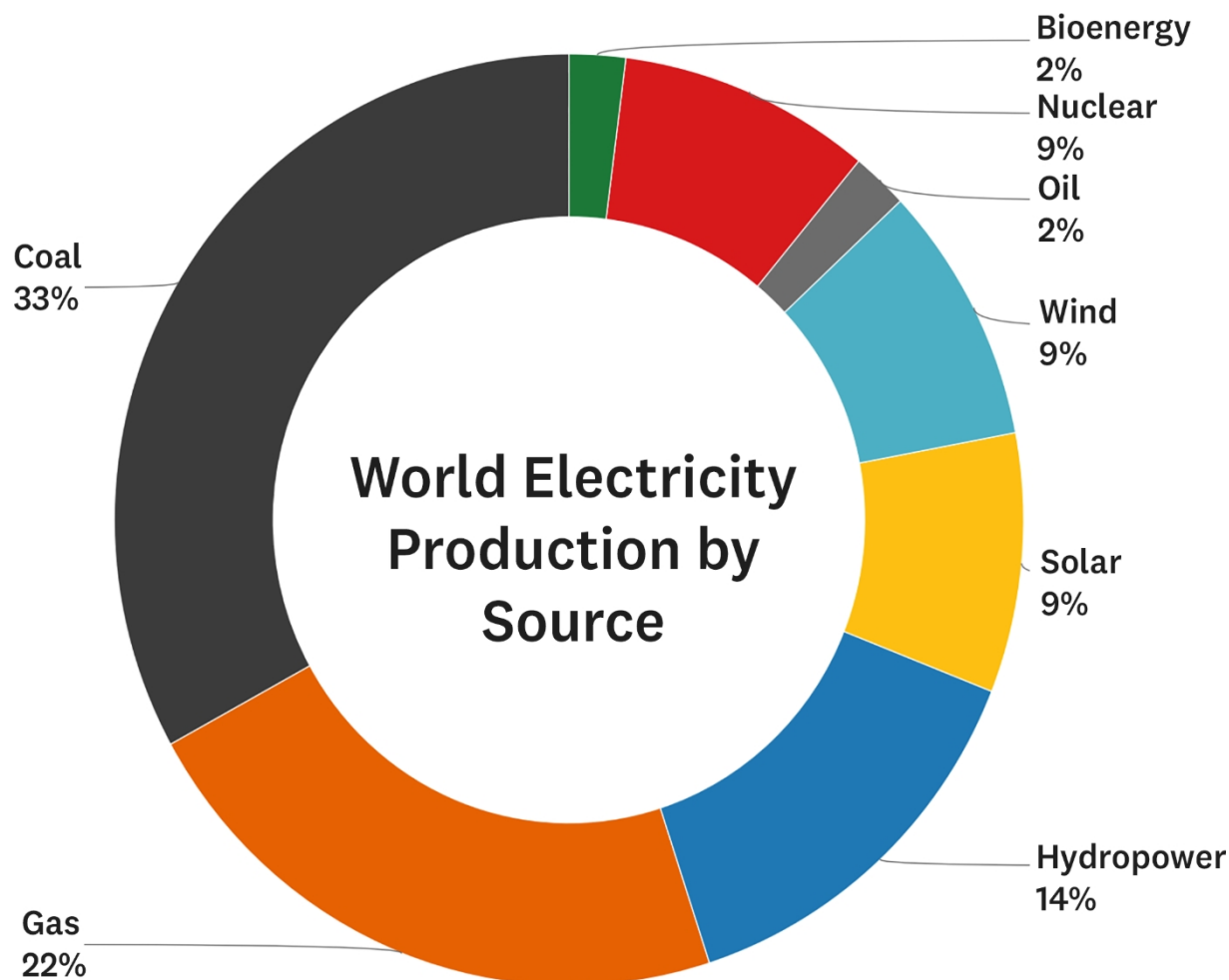


Figura 4. Suministro eléctrico mundial por fuente. La generación eléctrica mundial se desglosa por combustible y tecnología en 2025, lo que pone de relieve el papel que siguen desempeñando los combustibles fósiles junto al crecimiento de las fuentes bajas en carbono. Esta combinación explica por qué la electricidad marginal utilizada por la IA a menudo sigue teniendo una huella considerable en términos de carbono, agua y suelo. Los datos proceden de Ember, 2026.

uno de los primeros sistemas de IA a gran escala para los que se dispone de estimaciones detalladas sobre el consumo energético durante el entrenamiento, lo que lo convierte en un punto de referencia útil para comprender los costes medioambientales de los modelos de vanguardia. El entrenamiento de GPT-3 requirió aproximadamente 1,287 GWh de electricidad durante un periodo de 34 días⁴⁴. GPT-4 supuso un aumento espectacular de la escala. Aunque OpenAI no ha revelado cifras oficiales, análisis independientes sugieren que el entrenamiento probablemente consumió entre 50 y 70 GWh durante un periodo de 100 días, entre 40 y 55 veces más que GPT-3⁴⁶.

En el punto medio de ese rango, 60 GWh de electricidad equivalen al consumo eléctrico residencial de 460 000 personas en el África subsahariana⁴⁹. Utilizando las intensidades globales^{47, 48, 50-53}, este entrenamiento equivaldría a más de 25 000 toneladas de CO₂e, lo que requeriría la capacidad de secuestro de aproximadamente 420 000 plántulas de árboles urbanos cultivadas durante 10 años, o el equivalente a unos 105 Hyde Parks de árboles en Londres. La huella hídrica de 592 millones de litros es suficiente para satisfacer las necesidades mínimas anuales de agua de unas 81 000 personas en el África subsahariana⁵⁹, o para llenar 237 piscinas olímpicas. La huella territorial de 0,9 km² equivale a más de 125 campos de fútbol

, o una superficie equivalente a aproximadamente una cuarta parte del tamaño del Central Park de Nueva York.

Aún no se dispone de datos sobre el consumo energético del entrenamiento de GPT-5, pero extrapolando a partir de GPT-3 y GPT-4, se sugiere que un modelo de próxima generación podría requerir, de forma plausible, del orden de 100 GWh, con huellas asociadas de aproximadamente 42 000 toneladas de CO₂e, mil millones de litros de agua y una huella de tierra de 1,5 km², o aproximadamente el tamaño de 215 campos de fútbol. Para compensar estas emisiones de carbono se necesitarían unas 700 000 plántulas de árboles cultivadas durante 10 años, lo que equivale aproximadamente al número de árboles de 180 Hyde Parks de Londres. Este nivel de consumo eléctrico equivale al consumo eléctrico residencial anual de unas 770 000 personas en el África subsahariana, y la huella hídrica es suficiente para satisfacer las necesidades mínimas anuales de agua de unos 137 000 habitantes del África subsahariana.

A medida que surgen nuevos modelos de vanguardia, el consumo energético durante el entrenamiento sigue variando considerablemente. Según se ha informado, el modelo LLaMA 3-405B de Meta, lanzado en 2024, consumió 21 GWh de electricidad, lo que equivale a casi 31 millones de horas de GPU de computación⁵⁴. El consumo energético y la huella medioambiental de LLaMA 3-405B representaron aproximadamente un tercio de los de

Electricity Supply Mixes in the Top 20 Data Center Hubs

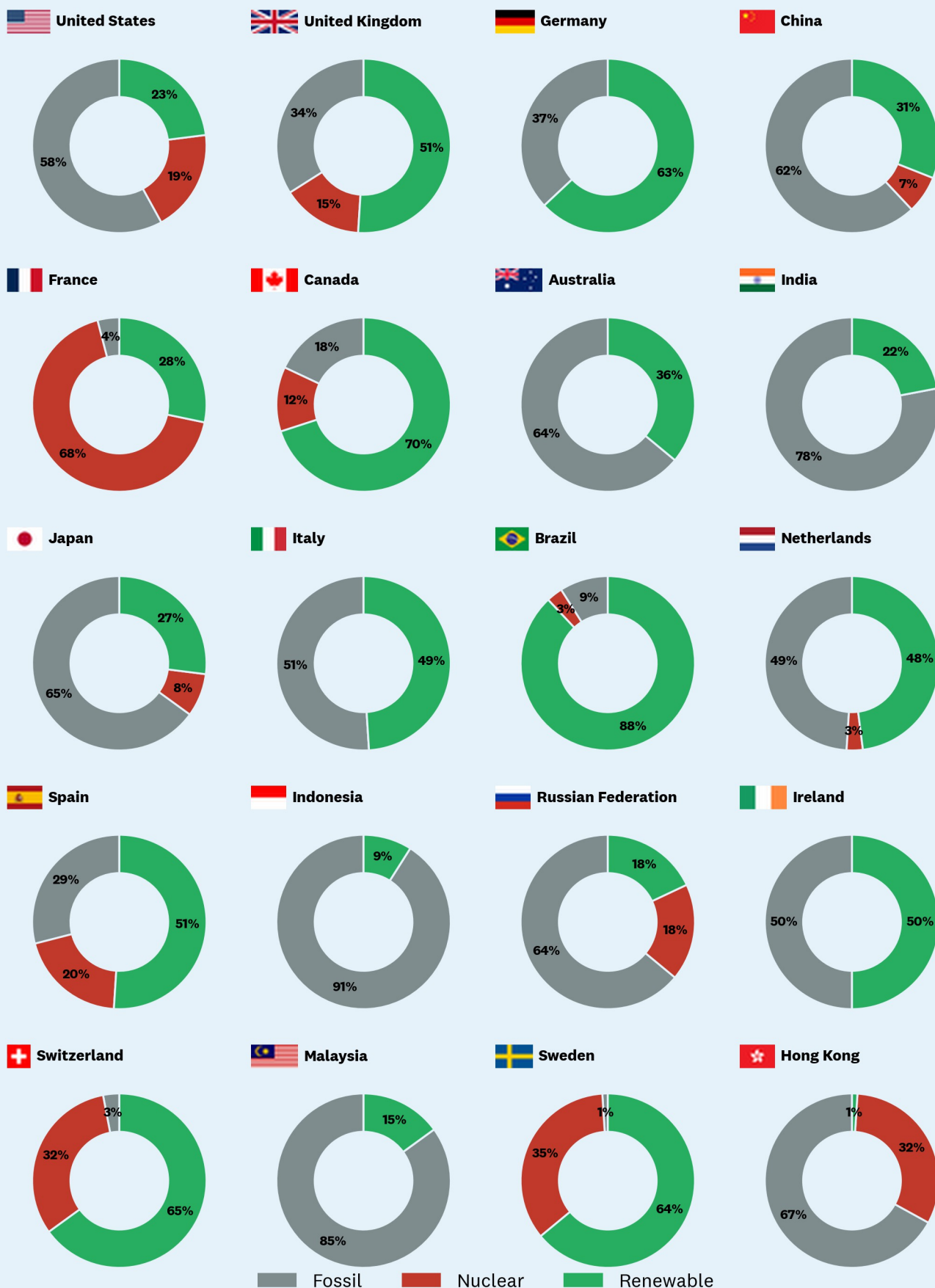
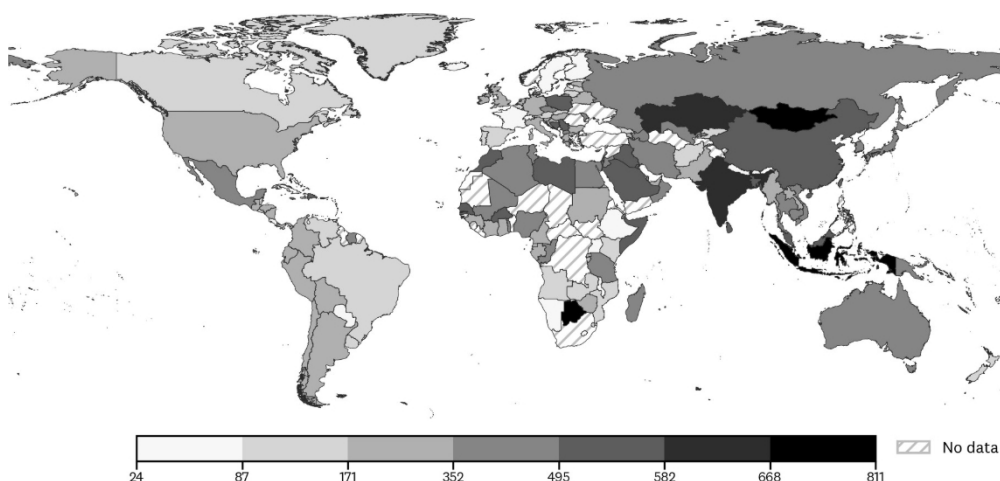
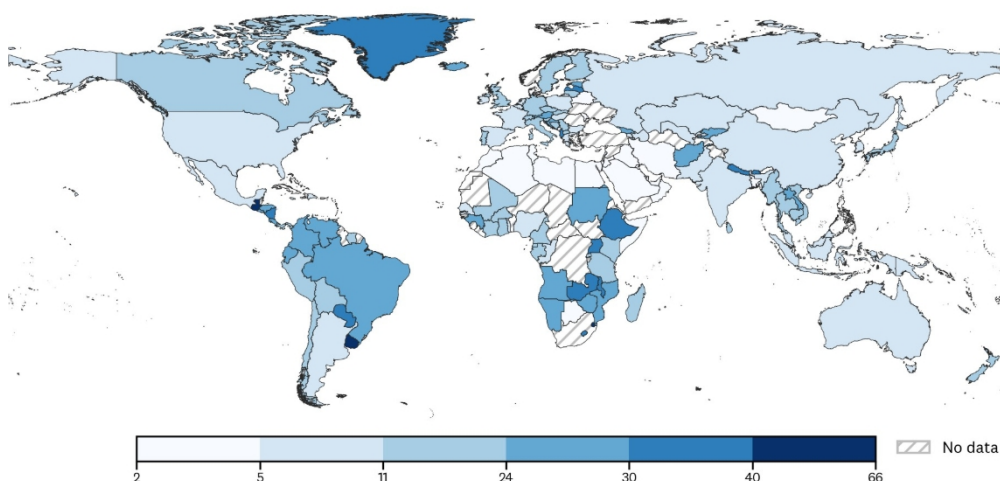


Figura 5. Combinaciones de suministro eléctrico en las principales ubicaciones de centros de datos. Los perfiles de generación nacional en las principales ubicaciones de centros de datos revelan grandes diferencias en la dependencia de los combustibles fósiles, las energías renovables y la energía nuclear. Estas combinaciones eléctricas subyacentes determinan la huella de carbono, de agua y de suelo de las operaciones de los centros de datos y, por lo tanto, influyen en los impactos medioambientales del despliegue de la IA en las distintas regiones.

A. Huella de carbono de la electricidad (g CO₂e/kWh)



B. Huella hídrica de la electricidad (L/kWh)



C. Huella de tierra de la electricidad (cm²/kWh)

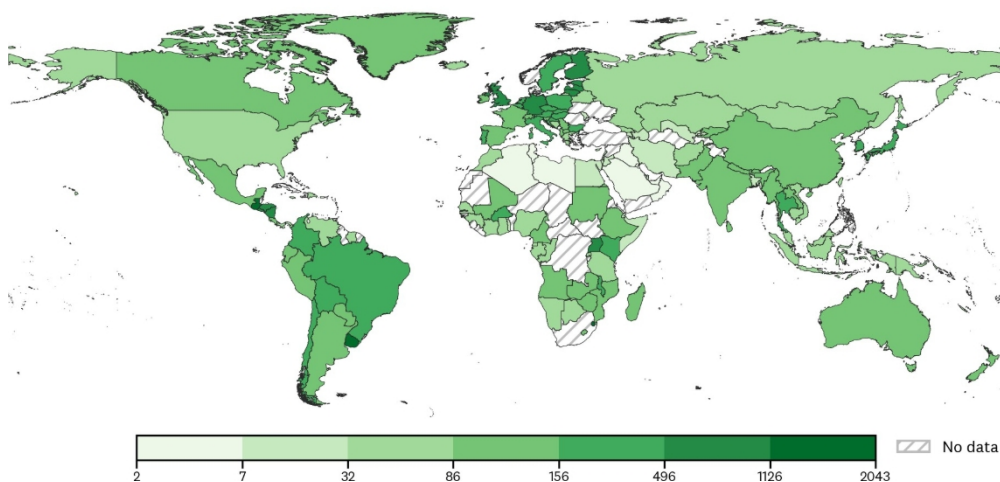


Figura 6. Huellas ecológicas globales de la electricidad. Los mapas muestran las intensidades de la huella ecológica de la electricidad a nivel nacional en cuanto a carbono, agua y suelo asociadas al consumo eléctrico de la IA. El sombreado indica los gramos de CO₂ equivalente por kWh, los litros de agua por kWh y los centímetros cuadrados de suelo por kWh. La figura ilustra cómo las características de los sistemas eléctricos nacionales determinan la variación geográfica en las huellas ecológicas de los sistemas de IA.

de GPT-4. Lanzado a finales de 2024, el modelo DeepSeek-V-3, desarrollado en China, requirió entre un 80 % y un 90 % menos de recursos computacionales para su entrenamiento que el LLaMA de Meta, aunque esta información sigue sin estar verificada^{54,55}.

A pesar de la creciente preocupación por el impacto medioambiental de la IA, solo unas pocas «fichas de modelo» —herramientas de documentación destinadas a divulgar las características de los modelos— proporcionan las cifras necesarias para estimar su huella energética y de carbono completa. Un ejemplo reciente de mayor transparencia es el lanzamiento por parte de OpenAI de GPT-OSS-120B, un modelo de código abierto con 120 000 millones de parámetros, destinado a proporcionar a la comunidad investigadora una referencia pública de alto rendimiento. Su ficha del modelo incluye detalles de la arquitectura, la composición de los datos de entrenamiento y, sobre todo, el consumo energético, lo que permite estimar las huellas de carbono, agua y suelo asociadas. Los 2,5 millones de kWh de energía utilizados para el entrenamiento, según se ha informado, hacen que las huellas medioambientales de GPT-OSS-120B sean casi 30 veces menores que las de GPT-4.

Estos ejemplos muestran tanto la magnitud del entrenamiento necesario para los modelos de gran tamaño como la variabilidad entre las diferentes arquitecturas. Si bien las mejoras en la eficiencia pueden reducir la energía utilizada por modelo, la bajada de los costes conduce a un despliegue más amplio de la IA en productos y servicios, lo que podría aumentar la demanda y el uso generales de la IA. Este fenómeno se conoce como el efecto rebote (o paradoja de Jevons). Cuando la eficiencia reduce los costes, el consumo total puede aumentar, contrarrestando

o incluso revirtiendo los beneficios y las mejoras en eficiencia. Esto supone un reto a la hora de lograr que la IA sea sostenible desde el punto de vista medioambiental únicamente mediante la mejora de la eficiencia.

24 Los centros de datos y la creciente demanda energética de la IA

Para comprender la huella energética y medioambiental de la IA, debemos examinar la infraestructura que la hace posible: los centros de datos. Estas instalaciones de gran envergadura —que a menudo albergan miles de procesadores de alto rendimiento— consumen enormes cantidades de electricidad para funcionar, refrigerarse y transmitir datos a través de las redes. Son los motores de la era digital, que impulsan una gama de servicios en constante expansión. Desde el streaming de vídeo y los videojuegos en línea hasta el comercio electrónico y la computación en la nube, los centros de datos sustentan casi todos los aspectos de la vida moderna. Cada vez más, también actúan como columna vertebral de la IA, respaldando el entrenamiento y el despliegue de modelos a gran escala que impulsan sistemas de recomendación, chatbots generativos, motores de búsqueda y tecnologías autónomas. A medida que crece el interés mundial por IA, también lo hace la demanda de infraestructuras que consumen mucha energía, lo que impulsa una rápida expansión tanto en el número como en el tamaño de los centros de datos, especialmente los de hiperescala, que consumen enormes cantidades de energía.

En 2024, se estimó que el consumo eléctrico mundial de los centros de datos rondaba los 415 TWh (415 000 millones de kWh), lo que supone aproximadamente el 1,5 % del

Efecto rebote (paradoja de Jevons)

El efecto rebote, a menudo denominado «paradoja de Jevons», recibe su nombre del economista del siglo XIX William Stanley Jevons, quien observó que las mejoras en la eficiencia del uso del carbón en Inglaterra no redujeron su consumo. Por el contrario, la bajada de los costes condujo a un mayor uso, lo que impulsó una mayor demanda global. La paradoja refleja una dinámica contraria a lo que cabría esperar: las mejoras en la eficiencia pueden aumentar el uso total de recursos en lugar de reducirlo. Esta dinámica es cada vez más relevante para la IA. A medida que mejoran los modelos de IA, los avances en arquitectura y hardware reducen significativamente la energía necesaria para tareas como la inferencia. Estas mejoras en la eficiencia reducen el coste de la computación y permiten un despliegue a una escala sin precedentes.

Las herramientas de IA se están integrando en los sistemas cotidianos, desde motores de búsqueda y teléfonos inteligentes hasta plataformas logísticas, sistemas de control industrial y dispositivos domésticos. Esta integración generalizada impulsa un rápido crecimiento de la demanda computacional agregada, que puede superar las mejoras de eficiencia por tarea. Como resultado, el consumo energético total de la IA puede aumentar incluso aunque disminuya la demanda energética por consulta. Sin medidas complementarias por parte de la demanda, mecanismos de gobernanza o medidas reguladoras de protección, es poco probable que las mejoras en la eficiencia por sí solas logren reducciones absolutas en el consumo energético. Por el contrario, se corre el riesgo de acelerar las presiones medioambientales al ampliar la escala y la intensidad de las aplicaciones de IA más rápidamente de lo que las mejoras en la eficiencia pueden compensar sus impactos acumulativos.

Huella de la electricidad en los 20 principales centros de datos del mundo

Carbon Footprint (g CO ₂ e per kWh)	Water Footprint (L per kWh)	Land Footprint (cm ² per kWh)
1  Indonesia 682	1  Brazil 29	1  United Kingdom 718
2  India 635	2  Canada 21	2  Germany 515
3  Hong Kong (SAR) 604	3  Switzerland 21	3  Brazil 445
4  Malaysia 543	4  Sweden 21	4  Sweden 350
5  China 510	5  United Kingdom 20	5  Italy 332
6  Australia 481	6  Germany 15	6  Netherlands 319
7  Japan 462	7  Italy 15	7  Japan 256
8  Russian Federation 384	8  Japan 11	8  Ireland 156
9  United States 345	9  China 10	9  China 153
10  Germany 322	10  Malaysia 9	10  Canada 148
11  Ireland 299	11  Netherlands 9	11  Spain 142
12  Italy 288	12  India 8	12  India 136
13  Netherlands 280	13  Russian Federation 8	13  Switzerland 124
14  United Kingdom 218	14  Spain 8	14  France 106
15  Spain 144	15  France 7	15  Australia 98
16  Canada 138	16  Indonesia 6	16  Malaysia 77
17  Brazil 97	17  Ireland 6	17  United States 74
18  France 51	18  Australia 6	18  Indonesia 43
19  Sweden 41	19  United States 5	19  Hong Kong (SAR) 40
20  Switzerland 37	20  Hong Kong (SAR) 3	20  Russian Federation 32

Figura 7. Huellas de la electricidad en los 20 principales centros de datos del mundo. Se muestran las intensidades de la huella de carbono, agua y suelo del suministro eléctrico para los principales países que albergan centros de datos. Las diferencias en las mezclas energéticas nacionales determinan las variaciones entre países en las huellas medioambientales de la IA y definen cómo la ubicación de los centros de datos influye en los impactos generales.

Distribución mundial de los centros de datos

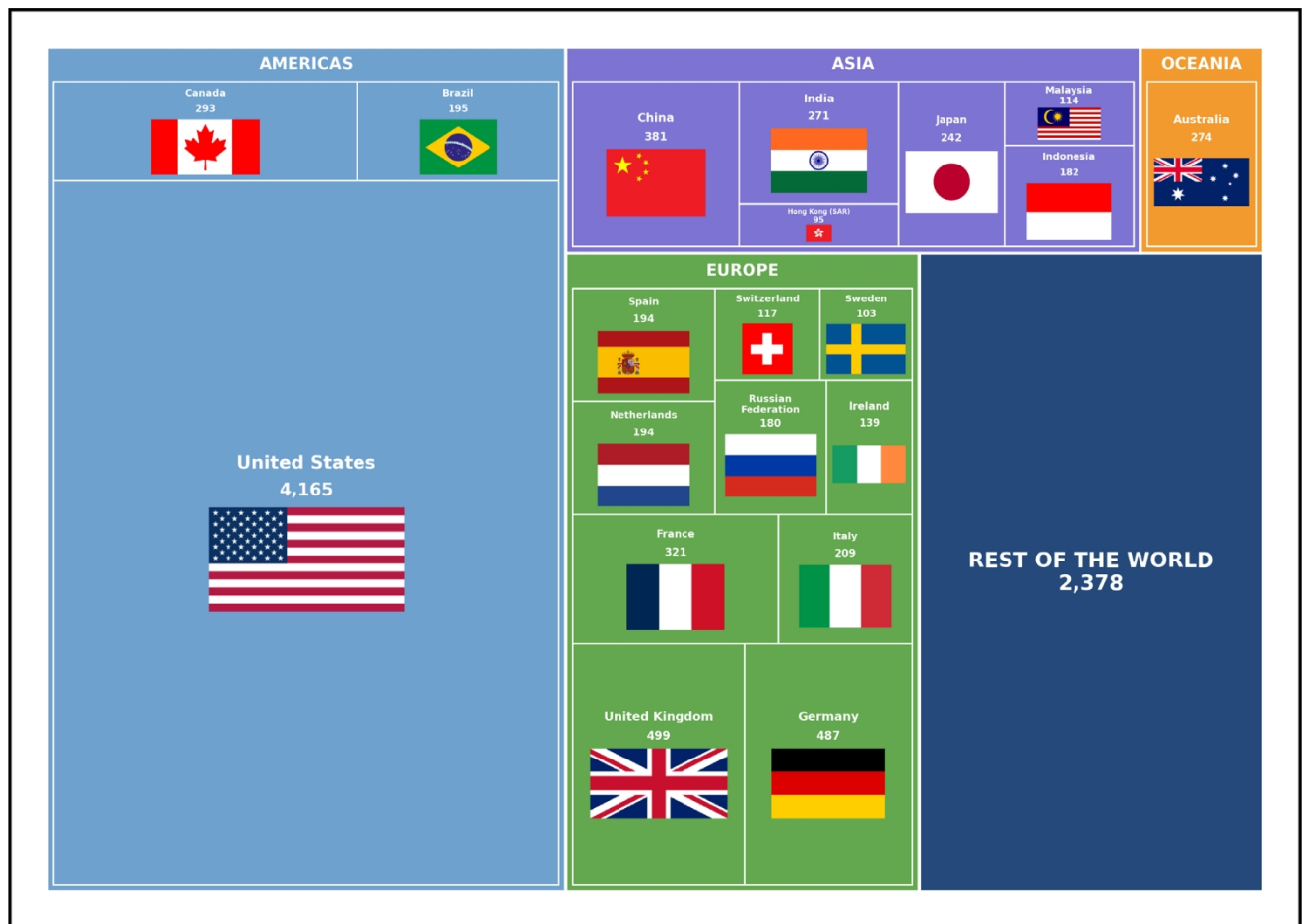


Figura 8. Distribución mundial de la ubicación de los centros de datos. La capacidad de los centros de datos está distribuida de forma muy desigual en todo el mundo. Un pequeño número de países alberga la mayor parte de la infraestructura informática mundial, mientras que muchas regiones siguen estando infrarrepresentadas. Los patrones de concentración determinan tanto la distribución geográfica de las cargas medioambientales locales como el acceso desigual a nivel mundial a la infraestructura digital y a la capacidad informática. Datos de Statista 2025, basados en Cloudscene.

demanda de electricidad⁵⁷. Se estimaba que, en 2025, los centros de datos de todo el mundo consumirían 448 TWh de electricidad. Esta cantidad de electricidad es suficiente para cubrir las necesidades eléctricas residenciales anuales de toda la población del África subsahariana —1.300 millones de personas— durante más de 2,5 años^{49,57}. Teniendo en cuenta las intensidades medias globales de la huella eléctrica^{47,48,50–53}, el funcionamiento anual de los centros de datos implica una huella de carbono de 189 millones de toneladas de CO₂e. Compensar esta huella de carbono requeriría más de 3 200 millones de plantones cultivados a lo largo de 10 años⁵⁸ —aproximadamente el mismo número que el total de árboles del Reino Unido. La huella hídrica asociada a la energía utilizada por los centros de datos en 2025, de unos 4,5 billones de litros, podría llenar 1,8 millones de piscinas olímpicas o satisfacer las necesidades mínimas anuales de agua para uso doméstico de más de 620 millones de personas en el África subsahariana⁵⁹. La huella territorial de la energía producida para hacer funcionar los centros de datos en 2025 fue de unos 6.900 km², aproximadamente 4,5 veces mayor que el Gran Londres, 117 veces el tamaño de Manhattan o más de 2.000 veces la superficie de

Central Park de Nueva York.

Si el consumo eléctrico de los centros de datos fuera un país en 2025, sus 448 TWh de consumo eléctrico habría ocupado el undécimo puesto a nivel mundial, por detrás del consumo eléctrico de Francia (468 TWh) y por delante del de Arabia Saudí (422 TWh)⁶⁰.

Esa cantidad de electricidad consumida por los centros de datos era casi 2,7 veces mayor que el consumo eléctrico anual de Pakistán (el quinto país más poblado del mundo, con unos 250 millones de habitantes), 4 veces mayor que el consumo eléctrico de Bangladés (el octavo país más poblado, con más de 172 millones), y 12 veces mayor que el consumo anual de electricidad de Nigeria (el sexto país más poblado, con una población de 224 millones).

Si se mantienen las tendencias actuales, el consumo eléctrico de los centros de datos podría superar los 945 TWh en 2030, lo que supondría aproximadamente el doble de la cifra de 2025 y representaría casi el 3 % del consumo eléctrico mundial previsto⁵⁶. Esa cantidad es casi el triple de la

demanda eléctrica combinada de Pakistán, Bangladés y Nigeria, con una población total de más de 650 millones de habitantes, o suficiente para cubrir las necesidades eléctricas residenciales anuales de toda la población del África subsahariana (1 300 millones de personas) durante unos 5,5 años.

La huella de carbono que supone producir tal cantidad de electricidad asciende, de media, a unos 399 millones de toneladas de CO₂e, lo que requeriría 6.7 mil millones de árboles para compensarla, aproximadamente el doble del número de árboles de todo el Reino Unido. La huella hídrica media de producir la electricidad necesaria es de unos 9,32 billones de litros, suficiente para satisfacer las necesidades básicas anuales de agua de toda la población del África subsahariana, mientras que la huella de tierra

es de aproximadamente 14 500 km². Esta huella de tierra es 18 veces mayor que la superficie de la ciudad de Nueva York, casi 10 veces mayor que la de Ciudad de México, más de 11 veces mayor que la de la ciudad de Los Ángeles y más del doble del tamaño del área metropolitana de Yakarta, donde viven más de 32 millones de personas.

25 La contribución de la IA al consumo energético de los centros de datos

La IA es actualmente uno de los principales factores que impulsan el consumo energético de los centros de datos. Se estimaba que, en 2025, solo las cargas de trabajo de IA representarían más del 20 % del consumo total de electricidad en los , lo que ascenderá a aproximadamente 93 TWh⁶¹. Esta cantidad de electricidad podría cubrir las necesidades eléctricas residenciales anuales de unos 715 millones de personas en el África subsahariana, más de la mitad de la población de la región. Utilizando los factores de intensidad medios globales, esto equivale a 40 millones de toneladas de CO₂e (equivalente a la secuestro de carbono durante 10 años por parte de 661 millones de plantones urbanos —unas 78 veces el número de árboles de Londres—, más de 900 000 millones de litros de agua

(365 000 piscinas olímpicas, o lo suficiente para proporcionar el consumo mínimo diario de agua a 125 millones de personas en el África subsahariana durante todo un año), y 1 400 km² de tierra, una superficie ligeramente inferior a la del Gran Londres, 23 veces el tamaño de Manhattan o 195 000 campos de fútbol.

Si las cargas de trabajo de IA por sí solas fueran un país, su consumo eléctrico en 2025 ocuparía el puesto 39.º del mundo, por encima de países industrializados como Finlandia (83 TWh) y Bélgica (82 TWh). Esta electricidad podría satisfacer toda la demanda energética de un país como Nigeria —la sexta nación más grande del mundo, con una población de 224 millones de personas— durante más de dos años.

Si la cuota de la IA en la demanda de los centros de datos aumenta hasta el 40 % para 2030, tal y como sugieren algunas previsiones, su consumo eléctrico podría alcanzar los 378 TWh⁵⁶ (suficiente para cubrir las necesidades eléctricas residenciales de los 1 300 millones de personas de África subsahariana durante unos 2,2 años), con una huella de carbono de 158 millones de toneladas de CO₂e —equivalente a la cantidad compensada por 2,61

mil millones de plantones en 10 años (aproximadamente el doble del número de árboles que hay en Inglaterra). La huella hídrica asociada a la demanda eléctrica de IA para 2030 sería de 3,7 billones de litros, suficiente para cubrir las necesidades mínimas de agua de más de 500 millones de personas en el África subsahariana durante un año⁵⁹. La huella de tierra asociada de toda esta electricidad es de 5.744 km², 3,6 veces el tamaño del Gran Londres, lo que equivale a 95 Manhattans. Con este nivel de consumo energético, si las cargas de trabajo de IA fueran un país, ocuparían el puesto 14.º a nivel mundial, con más de tres veces el consumo eléctrico de Bangladés (el octavo país más poblado del mundo, con 174 millones de habitantes), o más de nueve veces el consumo energético de Nigeria (el sexto



Centro de datos en Ashburn, Virginia (Estados Unidos). Esta zona, que alberga una de las mayores concentraciones de centros de datos del mundo, cuenta con densos grupos de instalaciones que dan servicio a la nube y a los servicios de IA a nivel mundial, lo que pone de relieve cómo la infraestructura digital se concentra en unas pocas regiones en medio de una brecha global cada vez mayor. Foto de Emily Richardson (Flickr).

más poblado del mundo, con una población de 224 millones).

2.6 Los principales países con centros de datos del mundo y sus mezclas energéticas

Los centros de datos no están distribuidos de manera uniforme por todo el mundo. Casi la mitad de las instalaciones mundiales se encuentran en Estados Unidos, que alberga más de 4.000 centros. El siguiente nivel lo ocupan Alemania y el Reino Unido (con unos 500 cada uno), seguidos de China continental, Francia, Canadá, Australia, la India y Japón. Otros países y territorios son Italia, Brasil, los Países Bajos, España, Indonesia, la Federación de Rusia, Irlanda, Suiza, Malasia, Suecia y Hong Kong (RAE), seguidos de Polonia.

Dado que las mezclas energéticas de los principales centros de datos del mundo difieren enormemente —desde sistemas con un alto porcentaje de carbón hasta otros dominados por la energía nuclear y la hidroeléctrica—, la huella medioambiental de las operaciones de los centros de datos y de la IA también varía de uno a otro, incluso cuando las instalaciones comparten diseños de ingeniería y hardware idénticos.

Las intensidades de carbono varían en un orden de magnitud entre los principales centros de datos del mundo. Indonesia, la India y Hong Kong (RAE) se encuentran entre los que tienen mayor intensidad de carbono—

redes intensivas con huellas de carbono un 62 %, un 51 % y un 43 % superiores a la media mundial, respectivamente. Polonia y China continental ocupan puestos más bajos, con intensidades de carbono un 30 % y un 21 % superiores a la media mundial. Por el contrario, la huella de carbono de la electricidad en Estados Unidos, Alemania e Italia es un 18 %, un 24 % y un 32 % inferior a la media mundial. En el extremo inferior, Francia, Suecia y Suiza (37 g) se sitúan entre un 88 % y un 91 % por debajo de la media mundial, lo que refleja su dependencia de la energía nuclear y la hidroeléctrica.

Las huellas hídricas de la producción de electricidad también difieren notablemente, especialmente en las redes dominadas por la energía hidroeléctrica. En Brasil, Canadá, Suiza y Suecia, las intensidades hídricas son más del doble de la media mundial, oscilando entre un 110 % superior (Suecia) hasta un 191 % más (Brasil). Por el contrario, las redes de Hong Kong, Estados Unidos, Australia y Singapur presentan intensidades hídricas mucho más bajas, con huellas entre un 43 % y un 66 % por debajo de la media mundial.

Las mezclas eléctricas con un alto porcentaje de bioenergía, energía eólica terrestre o energía hidroeléctrica se asocian con mayores huellas de tierra por unidad de energía. Por ejemplo, la intensidad de uso del suelo de la red eléctrica nacional del Reino Unido es más de cuatro veces superior a la media mundial. Alemania,

Enfoque: La creciente brecha mundial en la infraestructura de IA

La expansión de la infraestructura de IA está acelerando la demanda de electricidad y ampliando las disparidades globales en materia de capacidad tecnológica. A finales de 2025, solo 32 países contaban con centros de datos especializados en IA dotados de los chips de alto rendimiento y los sistemas de refrigeración necesarios para cargas de trabajo avanzadas de IA³⁶. Más del 90 % de estas instalaciones se concentran en dos países, Estados Unidos y China, mientras que regiones enteras, como África y Sudamérica, siguen prácticamente ausentes del mapa mundial de centros de datos de IA. Más de 150 países carecen por completo de dicha infraestructura. Esta distribución desigual influye directamente en la soberanía digital, la capacidad de innovación y el acceso equitativo a la IA.

Los desarrolladores de países con escasos recursos suelen carecer de suficiente potencia computacional, lo que les obliga a depender de costosos servicios en la nube alojados en el extranjero. Esto eleva los costes, ralentiza los tiempos de respuesta, limita la innovación local y ata a las instituciones a plataformas externas. Las disparidades se ven reforzadas por los patrones de desarrollo de datos y modelos. Los grandes modelos base se entrenan principalmente con conjuntos de datos procedentes de lenguas y regiones con abundantes recursos, donde abundan los datos digitalizados y la capacidad de cálculo. Por lo tanto, las aplicaciones destinadas a comunidades lingüísticas más pequeñas y a contextos locales reciben menos inversión, una optimización más débil y herramientas limitadas, lo que limita el desarrollo de una IA adaptada a las necesidades locales y consolida las desigualdades existentes en los sistemas digitales. Algunos países están empezando a invertir en infraestructura informática soberana y regional. Brasil y la India han anunciado iniciativas nacionales de IA en la nube, mientras que están surgiendo colaboraciones panafricanas para poner en común recursos. Estos esfuerzos se encuentran aún en una fase inicial. Sin estrategias coordinadas para ampliar el acceso a la capacidad informática, los datos y la capacidad técnica, se corre el riesgo de que los beneficios de la IA se concentren en un pequeño número de naciones con abundantes recursos.



Vista aérea del embalse de Poulaphouca (lagos de Blessington) en el condado de Wicklow, Irlanda, captada durante la sequía del verano de 2018, cuando los niveles de agua descendieron drásticamente y se impusieron restricciones en toda la región del Gran Dublín. A medida que Irlanda amplía la infraestructura de centros de datos de IA, que consumen grandes cantidades de energía y agua, en los alrededores de Dublín, la creciente demanda de refrigeración y energía corre el riesgo de ejercer una presión adicional sobre los ya mermados suministros de agua dulce. Imágenes de Sentinel-2, octubre de 2018.

Brasil, Suecia e Italia también se sitúan muy por encima de la media mundial, cada uno con una huella territorial entre dos y cuatro veces mayor por unidad de electricidad que la media mundial. Por el contrario, Estados Unidos y Hong Kong (RAE) se encuentran entre los principales centros de datos del mundo con la menor huella territorial, que representa solo una fracción de la media mundial.

A medida que aumenta la demanda de IA, las diferencias regionales en las mezclas eléctricas se traducen en grandes diferencias en las huellas de carbono, agua y huella territorial de las operaciones de IA, lo que genera impactos ambientales locales concentrados, además de los impactos globales derivados de las emisiones de gases de efecto invernadero. Dado que los centros de datos prestan servicio a usuarios distribuidos y, a menudo, transfronterizos,

los países que albergan grandes clústeres informáticos tienden a obtener ventajas estratégicas como empleo, ingresos fiscales, soberanía digital y capacidades de seguridad, mientras que las comunidades cercanas pueden soportar cargas medioambientales locales desproporcionadas, como el estrés hídrico, las presiones sobre el uso del suelo y la contaminación atmosférica. Por el contrario, los países con una infraestructura digital limitada experimentan pocos impactos medioambientales locales derivados de las operaciones de IA, pero se enfrentan a desventajas crecientes en el acceso a la capacidad de cálculo, a los servicios digitales y a la innovación impulsada por la IA, lo que refuerza la brecha digital global y sus implicaciones económicas y de seguridad. Las diferentes de la huella ambiental en los principales centros de datos del mundo también ponen de relieve que la «baja emisión de carbono»

Irlanda: un país pequeño con una carga desmesurada de centros de datos

Irlanda ofrece un ejemplo aleccionador de la sobrecarga de la red eléctrica local provocada por la concentración de infraestructura digital. En 2023, los centros de datos representaban el 21 % del consumo total de electricidad registrado en Irlanda, frente al 5 % de 2015, superando el consumo eléctrico combinado de todos los hogares urbanos⁶⁴. En respuesta a las limitaciones de capacidad en los alrededores de Dublín, el operador de la red eléctrica nacional, EirGrid, suspendió las autorizaciones para nuevas conexiones de centros de datos en la región hasta 2028. La experiencia de Irlanda pone de relieve la necesidad de una ubicación responsable y una planificación de la capacidad adecuadas, de modo que el rápido crecimiento de la infraestructura de IA no supere la capacidad de los sistemas eléctricos locales.

Las redes eléctricas no son automáticamente de «bajo consumo de agua» o de «bajo uso de suelo».

Por el contrario, los sistemas que dependen en gran medida de los combustibles fósiles emiten mucho más carbono, aunque suelen corresponder a menores intensidades de agua y suelo. Por lo tanto, es esencial evaluar conjuntamente las huellas de carbono, agua y suelo, ya que minimizar una dimensión puede magnificar otra. Estas compensaciones ilustran cómo los sistemas con un alto porcentaje de energías renovables pueden reducir las emisiones, pero podrían dar lugar a mayores huellas de suelo, lo que pone en duda la suposición común de que los centros de datos que dependen de fuentes de energía renovables son «ecológicos», «limpios» y «sostenibles»^{62,63}.

27 Costes locales, beneficios lejanos

Además de la demanda de electricidad, los centros de datos pueden ejercer una presión directa sobre los suministros locales de agua, ya que la mayoría de las instalaciones de servidores de alta densidad dependen de la refrigeración por agua. Incluso cuando se devuelve una parte del agua de refrigeración extraída, el volumen y el momento en que se producen las extracciones a gran escala pueden suponer una carga significativa para los acuíferos y los sistemas de aguas superficiales, especialmente en regiones áridas o en zonas que ya sufren un agotamiento de las aguas subterráneas.

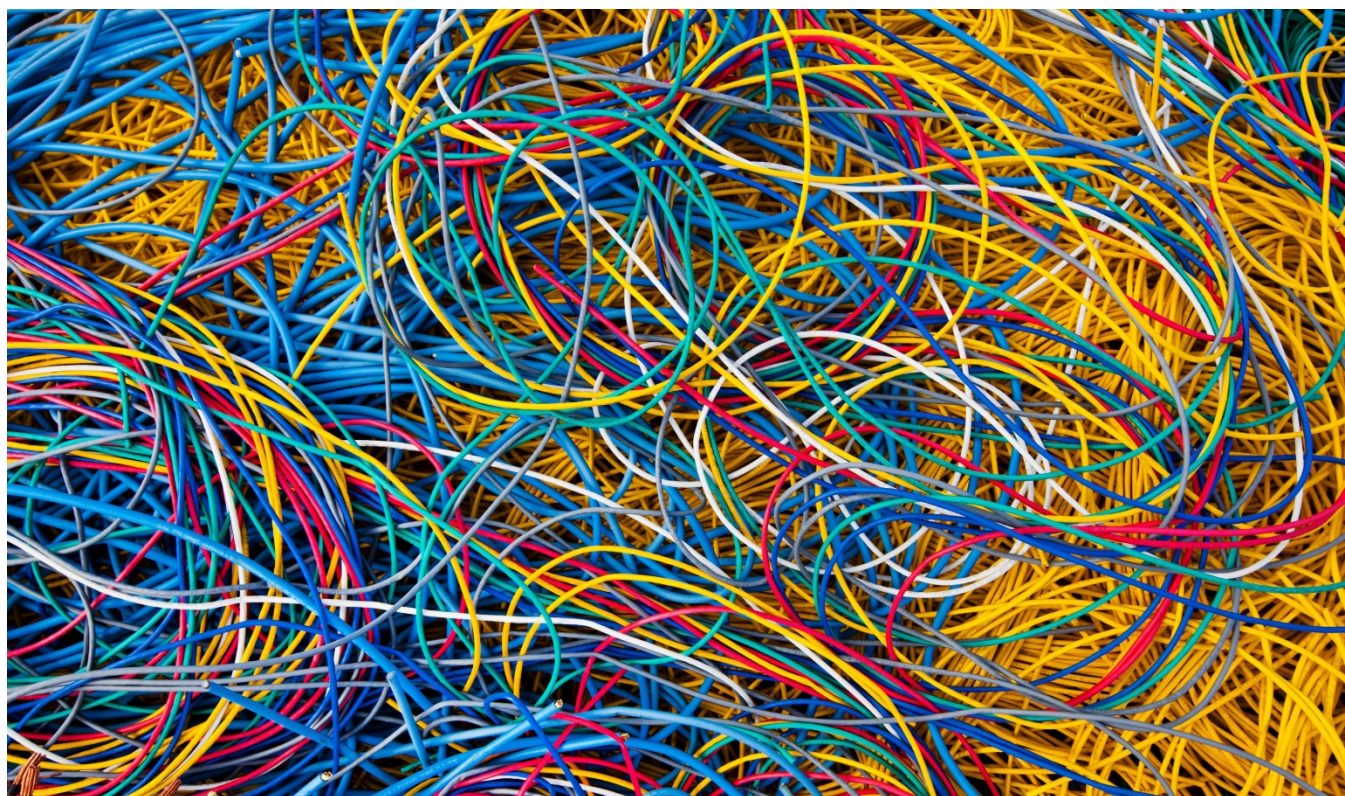
Más allá de la electricidad necesaria para su funcionamiento, la construcción de centros de datos y la fabricación de GPU, baterías y servidores dependen de minerales críticos (litio, cobalto y otras tierras raras). Imagen inicial



Vista aérea del centro de datos de Google en Eemshaven, Países Bajos, rodeado de aerogeneradores y una central eléctrica cercana. A medida que la IA se expande, los centros de datos como este requieren grandes cantidades de electricidad, lo que convierte el suministro energético en un reto clave. Foto de Wvdp (Wikimedia Commons).

En el ciclo de vida, la minería consume grandes cantidades de energía, agua y suelo, y a menudo se lleva a cabo en jurisdicciones con protecciones medioambientales más débiles.

Al final de su vida útil, el hardware obsoleto se suma al flujo de residuos electrónicos: la infraestructura de IA podría generar hasta 2,5 millones de toneladas métricas de residuos electrónicos al año para 2030, lo que equivale a desechar casi 250 Torres Eiffel cada año. Sin un reciclaje eficaz, los metales pesados (como el plomo, el cadmio y el mercurio) pueden contaminar el suelo y el agua. Estos impactos, tanto en las fases iniciales como en las finales, subrayan la necesidad de una gestión integral de todo el ciclo de vida de la cadena de suministro de la IA, desde la extracción de minerales hasta la gestión responsable al final de su vida útil.



Un laberinto de cables que conecta los equipos del centro de datos de Google en The Dalles, Oregón. La densa red de cables soporta cargas de trabajo continuas de IA y computación de alto rendimiento, al tiempo que aumenta la huella material y la futura carga de

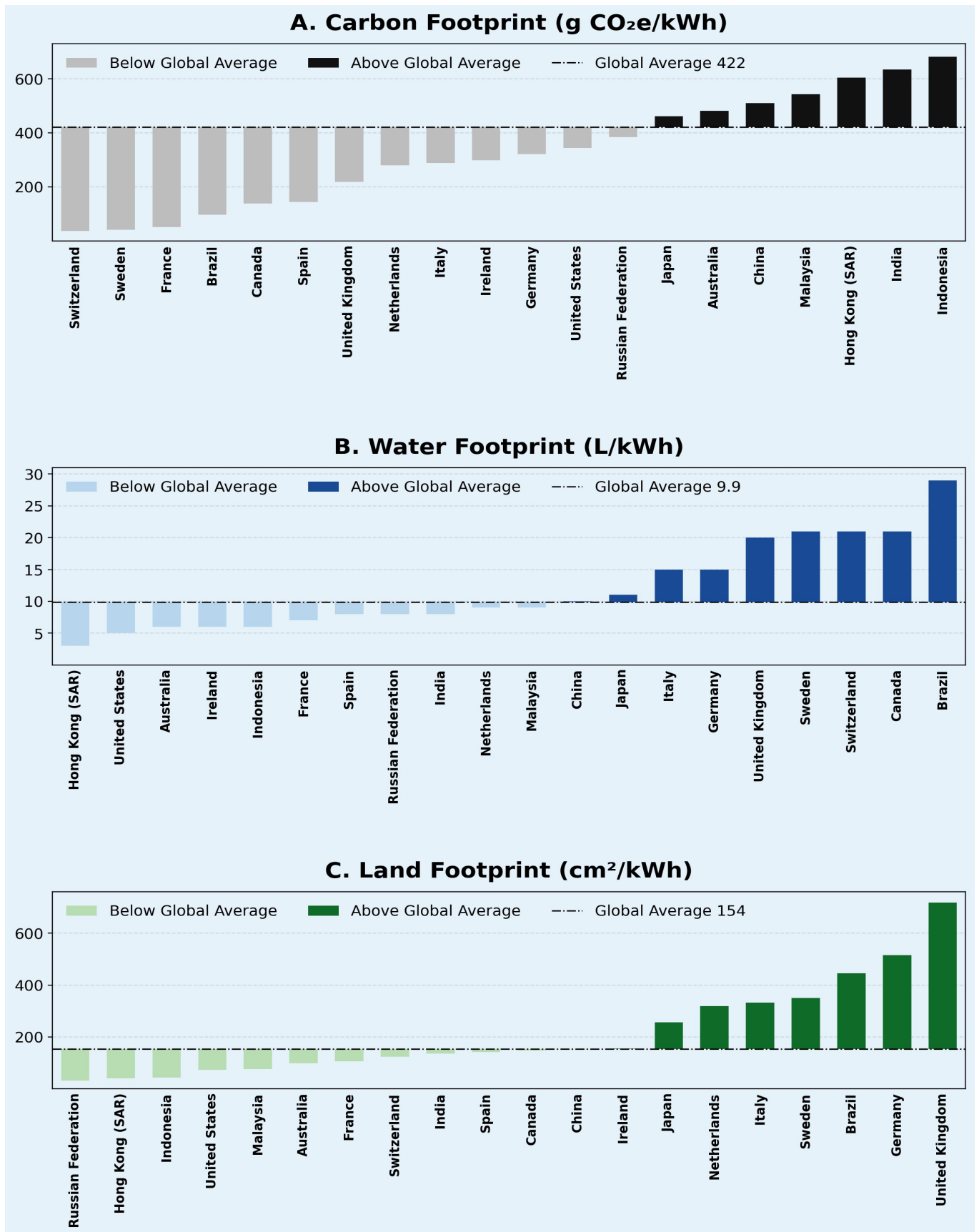
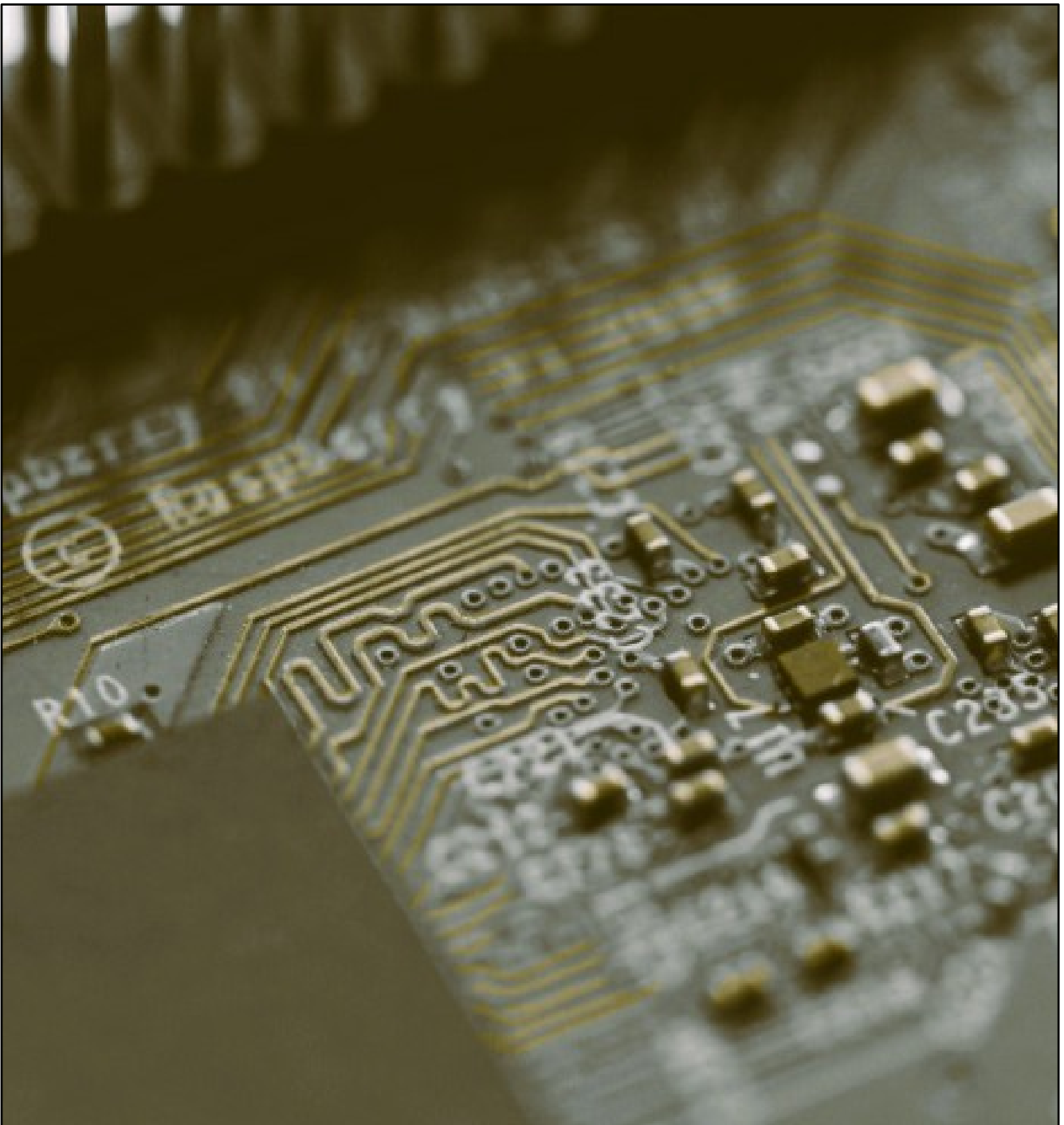


Figura 9. Intensidades de la huella eléctrica global en los 20 principales centros de datos del mundo en relación con la media mundial. Los impactos en términos de carbono, agua y suelo asociados al consumo eléctrico de la IA varían según la ubicación debido a las diferencias en las mezclas energéticas nacionales, lo que significa que diseños idénticos de centros de datos pueden generar impactos medioambientales sustancialmente diferentes dependiendo de dónde se produzca la electricidad. Las barras muestran las intensidades de la huella de carbono, agua y suelo para la generación de electricidad en las principales ubicaciones que albergan centros de datos, con la media mundial representada como línea de referencia.

3. La IA en la práctica: herramientas y tareas



Componentes de hardware de aceleradores de IA utilizados para ejecutar cargas de trabajo de inferencia y entrenamiento de redes neuronales, en los que se muestran chips de cálculo especializados diseñados para operaciones de aprendizaje automático de alto rendimiento. Foto de BobbyJSmith1972 (Wikimedia Commons).

Gran parte del debate sobre el impacto medioambiental de la IA se ha centrado en el proceso de entrenamiento de modelos a gran escala, que consume mucha energía y requiere enormes conjuntos de datos y GPU que funcionan durante semanas o meses. El entrenamiento de un modelo puede requerir miles o incluso millones de horas de GPU, lo que supone un consumo eléctrico equivalente al de decenas o cientos de hogares a lo largo de un año. Sin embargo, el entrenamiento es solo una parte del panorama y la punta del iceberg, a largo plazo, ya que los impactos medioambientales de la IA se derivan cada vez más del funcionamiento continuo de los modelos para generar respuestas a miles de millones de interacciones de usuarios cada día. Para comprender el verdadero coste medioambiental de la IA, también es necesario examinar el impacto operativo de los sistemas de IA en el uso cotidiano: no solo cómo se construyen y entrenan, sino también cómo se utilizan y a qué escala acumulada. Una vez que se implementa un modelo, pasa a la fase de inferencia, en la que genera resultados en respuesta a las solicitudes de los usuarios. Cada consulta individual consume mucha menos energía que el entrenamiento; sin embargo, al multiplicarse por miles de millones de usuarios, la inferencia se convierte en el factor que más contribuye al consumo, y se estima que representa entre el 80 % y el 90 % del consumo energético total⁴⁴.

La IA ha traspasado ya los límites de los laboratorios de investigación para integrarse en la vida cotidiana. Los chatbots responden a preguntas, los generadores de imágenes ilustran ideas y las herramientas de voz transcriben o leen textos en voz alta. La IA ya forma parte integral de las experiencias digitales diarias

de miles de millones de personas en todo el mundo, a veces sin que estas sean conscientes de ello. Aunque alrededor de 380 millones de personas utilizan activamente herramientas específicas de IA, la cifra aumenta drásticamente cuando se incluyen plataformas como la Búsqueda de Google⁶⁵. Con más de 5 000 millones de usuarios de la Búsqueda de Google y entre 14 000 y 16 000 millones de búsquedas realizadas cada día⁶⁶, la IA está ahora profundamente integrada en funciones como los resúmenes, las recomendaciones y las respuestas contextuales. Como resultado, solo Google genera más de mil millones de interacciones asistidas por IA cada día⁶⁷. Las aplicaciones de IA están transformando el trabajo, la educación y el entretenimiento, pero, dado que cada interacción consume electricidad —multiplicada por miles de millones—, los costes medioambientales se vuelven rápidamente astronómicos. ChatGPT, por ejemplo, procesa alrededor de 2.5 mil millones de consultas al día⁴.

3.1 Dos factores que determinan la huella operativa de la IA

La huella medioambiental operativa de la IA viene determinada por dos fuerzas principales. La primera es *la mucho* utilizamos los modelos de IA: el enorme volumen de inferencias que se producen en miles de millones de interacciones diarias.

En segundo lugar, está *cómo* los utilizamos: las elecciones de tareas y modelos que hay detrás de cada interacción, que determinan la energía necesaria por consulta. Tanto un filtro de spam como un generador de imágenes son

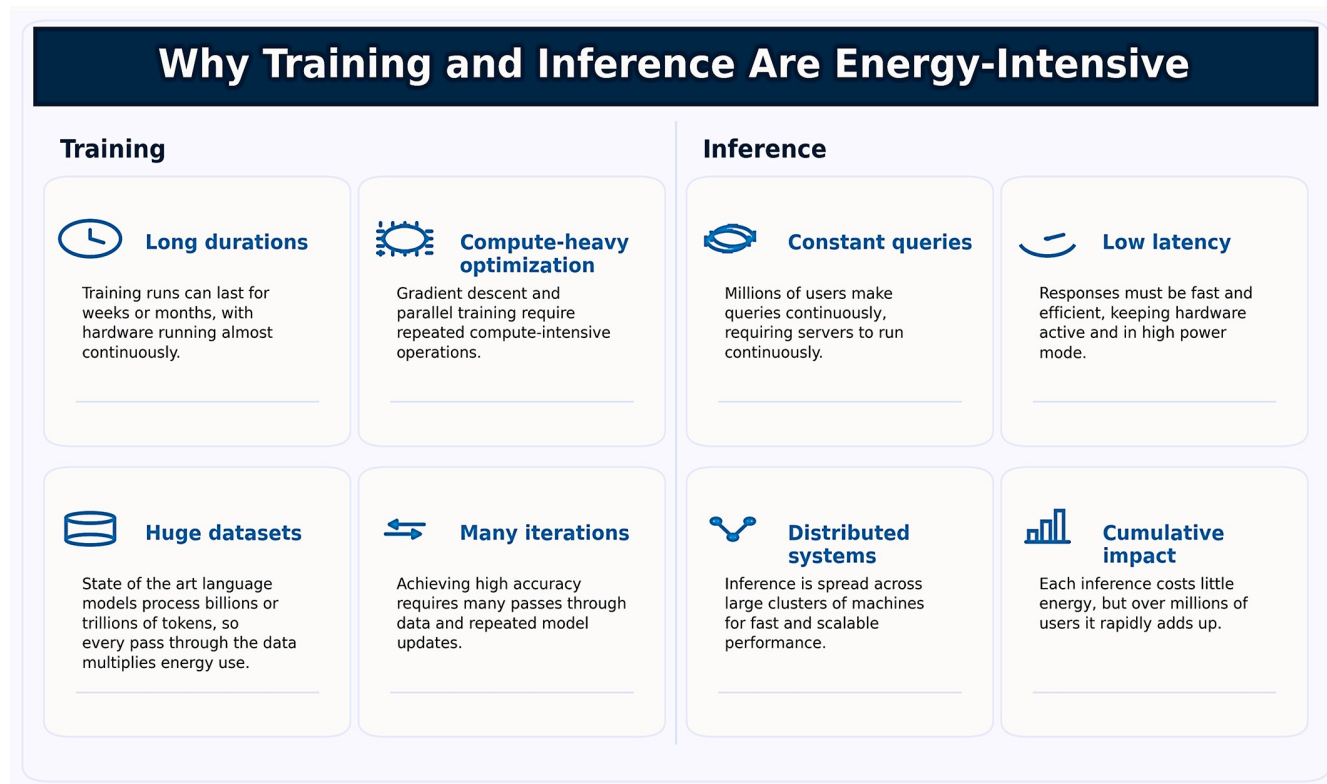


Figura 10. La demanda energética de la IA surge de dos fases distintas. El entrenamiento concentra el consumo eléctrico a lo largo de semanas o meses de optimización con gran intensidad computacional en conjuntos de datos masivos. La inferencia distribuye el consumo energético entre miles de millones de consultas en tiempo real, donde el bajo consumo por consulta, combinado con los requisitos de escala y latencia, genera impactos acumulativos sustanciales.

formas de IA, pero no consumen la misma energía. La clasificación de texto suele utilizar órdenes de magnitud menos energía por consulta que la generación de imágenes o la síntesis de textos extensos. E incluso dentro de una misma tarea, la complejidad varía: el tamaño del modelo, la ventana de contexto, la longitud de la indicación, la longitud de la salida y otros parámetros pueden modificar sustancialmente el consumo energético por consulta. La elección del modelo es importante, ya que cada modelo de IA realiza cada tarea con un coste energético y medioambiental diferente. Incluso al utilizar la misma plataforma de IA, la elección de los usuarios sobre qué modelo que se va a ejecutar (por ejemplo, «Instant» frente a «Thinking») puede modificar el consumo energético. La elección del modelo también hace que la ubicación de las operaciones de IA sea relevante, ya que un mismo vatio-hora conlleva diferentes huellas de carbono, agua y suelo en función de la red eléctrica que lo suministra.

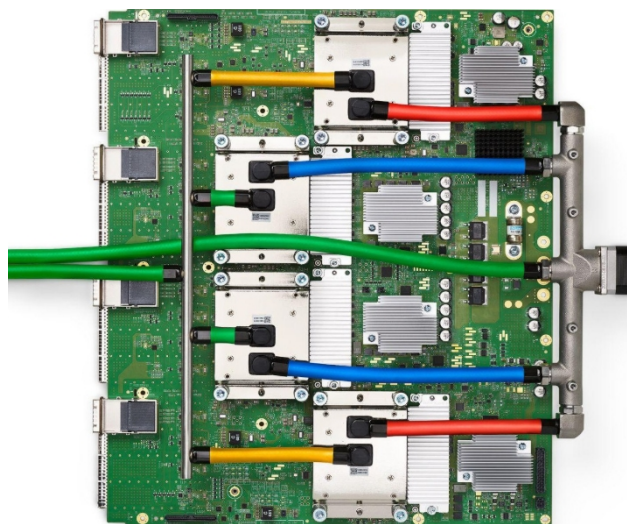
En pocas palabras: Impacto medioambiental = (energía por consulta para la tarea/modelo) × (número de consultas) × (huellas de la red eléctrica).

32 Tareas de IA y sus huellas

Los sistemas de IA actuales admiten un amplio espectro de tareas, desde respuestas de texto breves hasta textos más extensos, pasando por la generación de código, la producción de imágenes y audio, y, cada vez más, la generación de vídeo. Cada una de estas tareas difiere sustancialmente en el esfuerzo computacional necesario para producir un único resultado.

Clasificación de textos y consultas sencillas

Las tareas de clasificación de texto, como el filtrado de spam o el análisis básico de opiniones, consumen poca energía. Las



Placa Tensor Processing Unit (TPU) v4 utilizada en grandes centros de datos de IA para entrenar y ejecutar modelos avanzados de aprendizaje automático. Estos chips fabricados a medida gestionan los cálculos masivos que requieren los sistemas modernos de inteligencia artificial y se conectan entre sí en grandes clústeres para aumentar la potencia de cálculo. Dado que consumen una cantidad considerable de electricidad y generan mucho calor, requieren un sistema de refrigeración y una infraestructura extensas, lo que contribuye a la huella medioambiental de los centros de datos de IA. Fotografía de Norman P. Jouppi et al. (Wikimedia Commons).

Las interacciones de texto suelen ser las que menos energía consumen. Los sistemas extractivos de preguntas y respuestas que se limitan a recuperar fragmentos breves de documentos (por ejemplo, ChatGPT, Claude o Gemini utilizados exclusivamente como herramientas de recuperación) se sitúan en el mismo rango.

Incluso los modelos de clasificación de imágenes, como Google Vision o Azure Computer Vision, siguen siendo relativamente ligeros: consumen solo unas pocas veces más energía por imagen que la clasificación de texto y siguen estando varios órdenes de magnitud por debajo de los modelos generativos de gama alta. Los modelos de detección de objetos, que identifican y localizan múltiples objetos en una escena, son algo más pesados, pero siguen situándose en el extremo de «bajo consumo» del espectro en comparación con los modelos de generación de texto o vídeo.

Texto generativo y resumen

La generación de texto breve (respuestas concisas o resúmenes) se sitúa más arriba en el espectro energético. Un LLM compacto que genere unas pocas frases consume unas centésimas de vatio-hora por consulta, aproximadamente dos docenas de veces más energía que una clasificación al estilo de un filtro de spam, pero sigue siendo modesto en términos absolutos. Los LLM más grandes y de uso general, como los modelos a escala de GPT-3, consumen aproximadamente un orden de magnitud más de energía. Una consulta típica «convencional» al estilo de ChatGPT consume unas 200 veces más energía que la clasificación básica, y las respuestas largas al estilo de GPT-4 y GPT-5, con ventanas de contexto ampliadas, pueden alcanzar hasta 1.000 veces el valor de referencia de la clasificación. Los LLM de última generación consumen entre aproximadamente 0,3 y más de 10 Wh por consulta, dependiendo del tamaño del modelo, la longitud de la solicitud y la configuración de implementación, lo que supone un rango de más de uno o dos órdenes de magnitud incluso en tareas exclusivamente de texto ^{44, 68–71}.

Generación de imágenes

Los modelos de difusión de texto a imagen consumen cantidades de energía sustancialmente mayores que la generación de texto. Una imagen «típica» generada por IA es aproximadamente 60 veces más exigente que una respuesta de texto breve y 1.450 veces la de la clasificación de texto. Algunos modelos abiertos de gama alta, como Lumina, elevan aún más estas cifras ⁽⁷²⁾, llegando a superar en más de 2.000 veces la energía necesaria para la generación de textos breves. En el otro extremo del espectro, las arquitecturas de difusión eficientes, como SDXL-Turbo o LCM SSD-1B, pueden reducir el consumo energético por imagen entre 30 y 45 veces, dependiendo de la línea de base de difusión ⁷².

Generación de vídeo: la nueva frontera energética

La generación de vídeo es una de las fronteras de la IA que más energía consume. Los modelos de difusión de texto a vídeo (T2V) amplían la síntesis de imágenes a lo largo del tiempo, produciendo clips con docenas de fotogramas en resolución HD o superior. Cada píxel y fotograma adicional aumenta el

, y en los modelos de difusión ese coste crece rápidamente. En los modelos T2V habituales, el consumo de energía varía cuadráticamente con la resolución espacial y el número de fotogramas, y linealmente con el número de pasos de «eliminación de ruido»⁷³. Las mediciones realizadas con la configuración predeterminada muestran un rango entre modelos que va desde unos 0,14 Wh para un clip corto de muy baja resolución hasta más de 400 Wh para un clip largo de alta resolución en un modelo de gran tamaño.

En ese extremo superior, un solo vídeo corto generado por IA puede consumir tanta electricidad como decenas de miles de clasificaciones de spam o cientos de imágenes típicas, incluso antes de escalar a millones o miles de millones de clips.

Dado que el consumo de energía varía cuadráticamente con la resolución y el número de fotogramas, los ajustes preestablecidos de menor resolución y clips más cortos ofrecen el mayor ahorro. Reducir a la mitad el número de fotogramas (por ejemplo, de 81 a 40) reduce el consumo de energía a aproximadamente una cuarta parte, lo que supone un ahorro de alrededor del 75 %. Reducir a la mitad tanto la anchura como la altura (por ejemplo, de 720×1280 a 360×640) reduce el consumo de energía a aproximadamente 1/16, lo que supone un ahorro de alrededor del 94 %. Reducir a la mitad tanto las dimensiones espaciales como el número de fotogramas da como resultado aproximadamente 1/64 de la energía original, lo que supone un ahorro de alrededor del 98 % en el régimen limitado por la computación. Reducir a la mitad el número de pasos de eliminación de ruido reduce el consumo de energía aproximadamente a la mitad.

Si se reducen tanto la resolución como los pasos (por ejemplo, reduciendo a la mitad la altura, la anchura, los fotogramas y los pasos), la energía total puede reducirse a aproximadamente 1/128 de la original, lo que supone un ahorro de alrededor del 99,2 %, aunque con claras pérdidas en la calidad del vídeo (imágenes más borrosas y movimientos menos naturales).

Estas leyes de escalado dejan claro que los modelos de vídeo, especialmente a alta resolución y con un elevado número de fotogramas, pueden igualar o superar el consumo energético de muchos electrodomésticos cotidianos en un solo clip corto.

33 Uso de la IA a gran escala

Hoy en día, solo ChatGPT procesa aproximadamente 2 500 millones de solicitudes al día en todo el mundo⁴. Si una solicitud media basada en texto consume unos 0,42 Wh, esto equivale a unos 383 GWh al año. Esta cantidad de electricidad sería suficiente para satisfacer la demanda eléctrica doméstica anual de casi 3 millones de personas en el África subsahariana, y conllevaría unas 160 000 toneladas de CO₂e. Compensar esta cantidad de emisiones requeriría unos 2,6 millones de plantones de árboles cultivados durante 10 años, lo que exigiría una superficie de tierra aproximadamente el tamaño de Manhattan. La huella hídrica correspondiente es de unos 3 800 millones de litros al año, suficiente para cubrir la demanda mínima anual de agua para uso doméstico de 500 000 personas en el África subsahariana. La huella

territorial correspondiente es de unos 5,9 km², más de una vez y media

42 Coste medioambiental del consumo energético de la IA

veces la superficie del Central Park de Nueva York, o unos 800 campos de fútbol. La generación de imágenes se ha expandido rápidamente junto con este crecimiento del uso general de la IA.

Los análisis públicos de los datos de las plataformas indican que solo entre 2022 y 2023 se generaron más de 15 000 millones de imágenes mediante algoritmos de conversión de texto a imagen, y las estimaciones sugieren que en 2023 se generaron aproximadamente 34 millones de imágenes generadas por IA cada día⁷⁴.

Tras este auge inicial, las herramientas de generación de imágenes se integraron directamente en sistemas de IA conversacional, software creativo, plataformas de diseño y aplicaciones de consumo, lo que aumentó considerablemente su frecuencia de uso. Una parte significativa de la actividad de generación de imágenes tiene lugar fuera de las plataformas centralizadas. Los modelos de código abierto basados en difusión representan la mayoría de las imágenes generadas por IA hasta la fecha, aunque gran parte de esta actividad no queda reflejada de forma exhaustiva en las estadísticas públicas de uso. En consecuencia, es probable que las cifras comunicadas subestimen la verdadera magnitud global de la generación de imágenes, especialmente fuera de las principales plataformas con sede en EE. UU.

A la luz del crecimiento observado y de la adopción de herramientas de IA en el uso generalizado, suponiendo que aproximadamente 300 millones de imágenes generadas por IA

consumo medio de electricidad por consulta en aplicaciones comunes de IA. La clasificación básica de texto y la generación de textos breves requieren una energía mínima.

Consumo energético de la IA por consulta

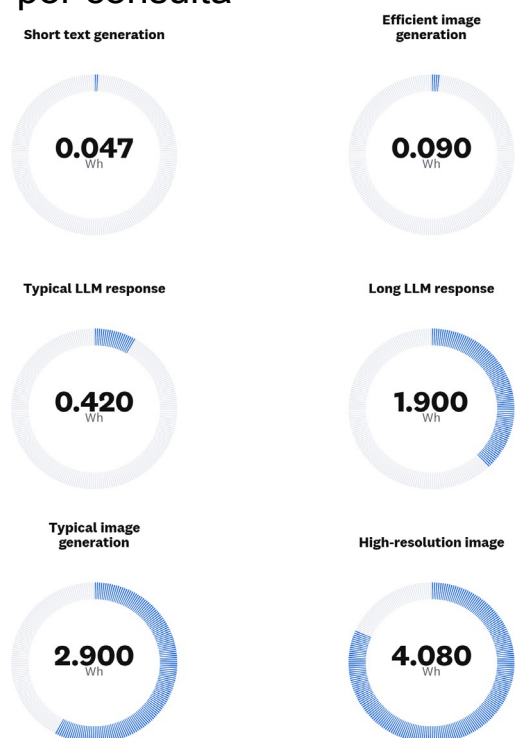


Figura 11. Energía por consulta para tareas representativas de generación de texto e imágenes. Esta figura compara el

se producen a diario, la energía global necesaria solo para la generación típica de imágenes (2,9 Wh) alcanzaría aproximadamente los 318 GWh de electricidad al año, suficiente para satisfacer las necesidades domésticas anuales de casi 2,5 millones de personas

en el África subsahariana, y una huella de carbono correspondiente de más de 134 000 toneladas de CO₂e al año, cuya compensación requeriría más de 2,2 millones de plantones de árboles cultivados durante 10 años. Esto supone una huella hídrica de más de 3 000 millones de litros al año, suficiente para satisfacer las necesidades domésticas mínimas de agua de más de 400 000 personas en el África subsahariana durante todo un año, y una huella de tierra de casi 4,8 km², lo que equivale aproximadamente a 665 campos de fútbol.

Actualmente, el vídeo representa una fracción mucho menor del total de interacciones con la IA que el texto o las imágenes, pero cada resultado requiere un más exigente desde el punto de vista computacional. Las herramientas de vídeo generativo han avanzado rápidamente, pasando de ser demostraciones de investigación a su implantación comercial y de consumo, incluyendo clips de formato corto, animaciones y efectos visuales integrados en software creativo y plataformas de redes sociales. Aunque las estadísticas globales exhaustivas sobre su uso siguen siendo limitadas, la trayectoria de la adopción de la generación de imágenes ofrece un paralelismo útil: a medida que las capacidades multimodales se integran en sistemas de uso generalizado, las nuevas tareas crecen proporcionalmente al uso general de la IA, aunque sigan siendo casos de uso minoritarios.

Suponiendo que la generación mundial de vídeo mediante IA alcance los 25 millones de clips al día en un futuro próximo, cabría esperar un impacto medioambiental considerable. Si todos los vídeos fueran clips cortos y relativamente eficientes, con un consumo medio de unos 90 Wh cada uno, esto supondría aproximadamente 821 GWh de electricidad al año, suficiente para cubrir el consumo doméstico de más de 6 millones de personas en el África subsahariana.

Esto generaría unas 347 000 toneladas de CO₂e (lo que requeriría más de 5,7 millones de plantones de árboles cultivados durante 10 años —más de 300 veces el número de árboles del Central Park de Nueva York—), más de 8 000 millones de litros de agua (suficientes para cubrir las necesidades domésticas mínimas anuales de agua de más de un millón de personas en el África subsahariana) y una huella territorial de unos 12 km², es decir, más de 1 700 campos de fútbol.

Sin embargo, la generación de vídeos abarca una amplia gama de intensidades computacionales. Si solo el 20 % de estos vídeos, es decir, unos 5 millones de clips al día, fueran vídeos de mayor complejidad que requirieran aproximadamente 415 Wh cada uno (mientras que el 80 % restante se mantiene en el nivel inferior de 90 Wh), la demanda total de electricidad para la generación de vídeos mediante IA asciende a aproximadamente 1,4 TWh al año. Bajo esta hipótesis de uso mixto, la

huella hídrica supera los 13 000 millones de litros, y la huella territorial se extiende a más de 21 km² —una superficie aproximadamente seis veces mayor que la de Central Park en Nueva York. La demanda eléctrica asociada sería suficiente para satisfacer las necesidades domésticas anuales de electricidad de unos 11 millones de personas en el África subsahariana, mientras que el agua necesaria cubriría las necesidades domésticas mínimas anuales de casi 2 millones de personas.

Las emisiones anuales de carbono asociadas, de 600 000 toneladas de CO₂e, requerirían casi 10 millones de plantones de árboles cultivados durante 10 años para su compensación, lo que equivale a 550 veces el número de árboles de Central Park. Estas estimaciones ilustran cómo una proporción relativamente pequeña de puede influir de manera desproporcionada en la huella medioambiental global de la IA cuando se extrapola a escala mundial, así como la importancia de las herramientas y la elección de las tareas, además del volumen total de consultas, a la hora de comprender los impactos medioambientales de la IA.

34 Búsqueda convencional frente a búsqueda mejorada con IA

A menudo se estima que una búsqueda web convencional sin un componente LLM cuesta alrededor de 0,3 Wh de electricidad por consulta⁷⁵. Con una estimación de 5 billones de búsquedas anuales⁷⁶, esto supone aproximadamente 1,5 TWh de electricidad al año. Si cada una de esas búsquedas se actualizara a un modo mejorado con IA que consumiera 3 Wh por consulta —diez veces la energía de una búsqueda convencional—, la demanda energética anual aumentaría hasta unos 15 TWh, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas domésticas anuales de 115 millones de personas en el África subsahariana, lo que requeriría más de 100 millones de plantones para compensar su huella de carbono (casi 5.800 veces el número de árboles del Central Park de Nueva York).

La huella hídrica sería suficiente para satisfacer las necesidades anuales de agua para uso doméstico de unos 20 millones de personas en el África subsahariana, y las



Líneas de transmisión eléctrica a lo largo del corredor W&OD en Ashburn, Virginia, que transportan electricidad hacia una de las mayores concentraciones del mundo de centros de datos en la nube y de IA. Fuente: Foto de Kit Case (Flickr).

huella de suelo equivale a 31 000 campos de fútbol.

En la práctica, el consumo energético de las búsquedas basadas en IA varía considerablemente. Algunos modelos ligeros de recuperación aumentada funcionan a unos 0,003–0,01 Wh por consulta, comparable a la búsqueda convencional. Otros motores de respuesta generativos consumen más energía: análisis recientes indican que las consultas a modelos de lenguaje grande (LLM) oscilan entre 0,05 y 0,3 Wh cada una para longitudes de prompt y tamaños de modelo estándar⁷⁷. La conclusión clave es que la búsqueda mediante IA de tipo «recuperación» puede acercarse a la eficiencia de la búsqueda convencional, pero las funciones de búsqueda generativa que producen texto nuevo pueden aumentar rápidamente el consumo de energía por consulta; y, al multiplicarse por miles de millones de consultas, estas diferencias se acumulan de forma espectacular.

35 Mejora de la eficiencia y efectos rebote

A medida que la tecnología y el conocimiento mejoran, se utilizan diferentes técnicas para reducir el consumo energético por consulta. La compresión de modelos, la poda, la cuantificación, la destilación de conocimiento, el enrutamiento mediante «mezcla de expertos», la ejecución en el propio dispositivo y los aceleradores especializados pueden reducir el



Vista aérea del río Rin durante la grave sequía de agosto de 2022, que muestra unos niveles de agua excepcionalmente bajos que interrumpieron un importante corredor industrial europeo. La continua expansión de grandes centros de datos a lo largo del Rin, algunos de ellos diseñados para utilizar agua del río para la refrigeración, ejerce presión sobre una masa de agua que ya se encuentra sometida a estrés medioambiental. Fuente de datos: imágenes de Sentinel-2.

energía necesaria para la inferencia. Sin embargo, estas mejoras no se traducen automáticamente en un menor impacto medioambiental total. Una mayor eficiencia suele ir acompañada de un aumento del consumo general (paradoja de Jevons), al hacer que los servicios y productos resulten más baratos y atractivos, lo que fomenta nuevos usos y mayores volúmenes. En el contexto de la IA, cuando los modelos se vuelven más baratos y rápidos, se espera que las personas

se espera que las utilicen con más frecuencia y para más tareas, lo que erosiona o incluso revierte el ahorro derivado de las mejoras en la eficiencia.

Por lo tanto, las políticas eficaces deberían combinar la eficiencia con límites de recursos (por ejemplo, límites máximos de tokens, horas de GPU o kilovatios-hora) y dar prioridad a los modelos pequeños y a las opciones de «recuperación primero» para tareas rutinarias como la búsqueda de datos, los cálculos sencillos y la síntesis básica.

36 Costes energéticos relacionados con el comportamiento: la elección del modelo y las indicaciones del usuario importan

Una simple clasificación de spam, una breve respuesta en un chat, una respuesta de texto extensa, una imagen generada por IA, y un breve clip de vídeo se perciben como una única «consulta» desde el punto de vista , pero tienen resultados radicalmente diferentes en el espectro energético. Incluso dentro de la misma categoría de tareas de IA, la huella medioambiental de una consulta concreta puede variar en varios órdenes de magnitud dependiendo de la elección del modelo (relacionada con su eficiencia computacional y la intensidad medioambiental de sus servidores) y la configuración del modelo⁷⁸.

En el ámbito de los modelos de imágenes por difusión, las comparaciones publicadas sugieren que el consumo energético puede variar en varias docenas de veces entre las distintas arquitecturas e implementaciones, lo que significa que elegir un modelo de imagen eficiente puede reducir el consumo energético por imagen en más de un orden de magnitud en comparación con las alternativas de gama alta. Estas diferencias suelen ser invisibles para los usuarios, pero son clave para comprender cómo las decisiones cotidianas de diseño y uso se traducen en impactos medioambientales significativos.

Los resultados de aspecto similar suelen ocultar costes de recursos muy diferentes. Como consecuencia, los usuarios y las instituciones carecen actualmente de la información necesaria para tomar decisiones ambientalmente informadas sobre cómo y cuándo utilizar la IA.

Esto convierte la transparencia en un requisito previo para un uso responsable de la IA: sin visibilidad sobre la intensidad relativa de los recursos, ni las mejoras en la eficiencia ni los cambios de comportamiento pueden reducir de forma significativa la huella medioambiental de la IA.

La elección del modelo no es la única variable que define cómo utilizamos la IA. Incluso la longitud y la estructura

de las indicaciones, las expectativas de los usuarios y la configuración de los resultados, así como la forma de interacción con el usuario, son importantes. Una respuesta conversacional típica de un modelo de lenguaje puede consumir unas 200 veces más energía que una tarea de clasificación y entre 8 y 10 veces más que la generación de textos breves. Las respuestas más largas o elaboradas aumentan aún más este consumo, alcanzando entre 500 y 1.000 veces la energía de la clasificación, a pesar de seguir desempeñando la misma función básica de generación de texto. En la práctica, la elección del modelo y la longitud de la respuesta pueden dar lugar fácilmente a diferencias de hasta dos órdenes de magnitud en las interacciones de texto cotidianas.

Dentro de las tareas basadas en texto, la generación de textos breves a partir de modelos de lenguaje compactos o destilados suele requerir entre 10 y 25 veces más energía que la clasificación de textos, a pesar de que a simple vista parezcan similares. El paso a los modelos de lenguaje conversacionales de gran tamaño, que son los más habituales, aumenta la demanda energética en otro orden de magnitud. En cuanto a la generación de imágenes y vídeos, la elección del modelo y los ajustes de calidad dan lugar a una variación aún mayor. La generación de vídeos parece situarse en lo más alto de la escala de intensidad y muestra la mayor sensibilidad a ajustes como la resolución, los fotogramas y los pasos de eliminación de ruido.

Consumo energético de la generación de vídeo mediante IA con diferentes ajustes de calidad

El área de cada cuadrado equivale al porcentaje del consumo energético de referencia

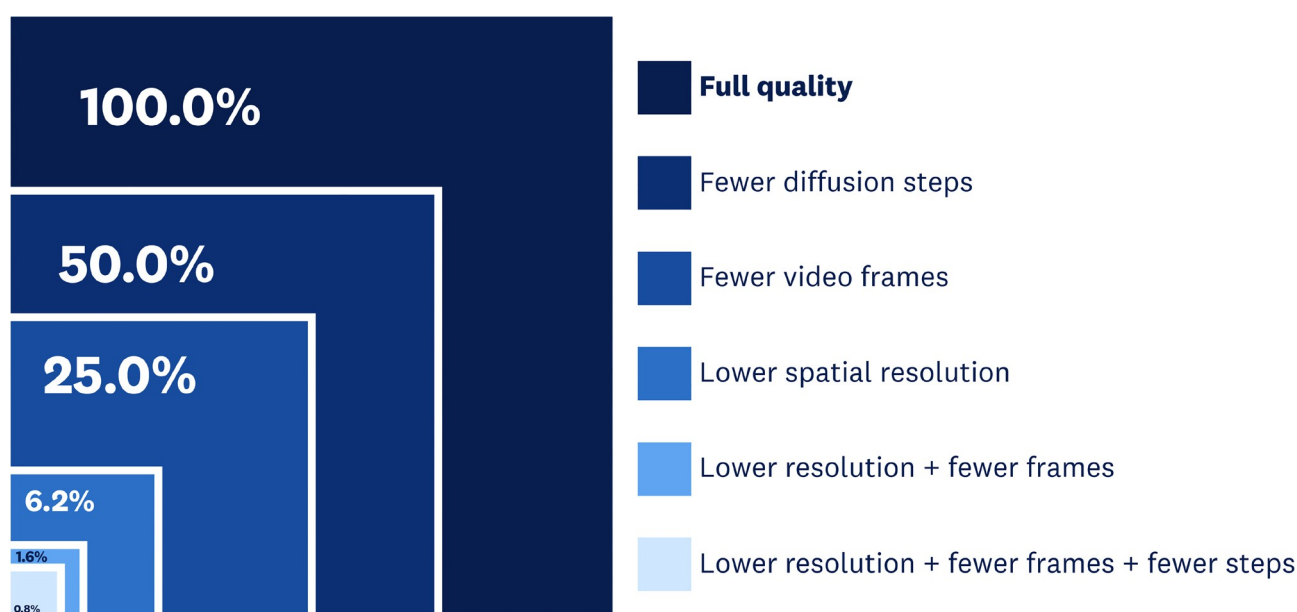


Figura 12. Cómo influyen los ajustes de generación de vídeo en la demanda energética. Las barras muestran el consumo energético relativo de la generación de texto a vídeo con diferentes ajustes de resolución, número de fotogramas y pasos de eliminación de ruido, normalizados con respecto a una referencia de configuración completa. La reducción de la resolución espacial, el número de fotogramas y los pasos disminuye drásticamente la demanda energética, y las reducciones combinadas suponen un ahorro superior al 99 % a costa de una menor calidad de vídeo.

Eficiencia a nivel de mensaje («modo conciso»)

La mayor parte del uso de ChatGPT se enmarca en categorías de gran volumen, como la orientación práctica, la búsqueda de información y la redacción. Dado que la energía de inferencia varía proporcionalmente al número de tokens procesados, reducir la verbosidad puede suponer un ahorro significativo a escala de la plataforma. A modo de ejemplo, si un modo conciso redujera los tokens en aproximadamente un 30 % para las interacciones habituales, recortando la energía por consulta en unos 25 %, suponiendo un promedio de 0,42 Wh por solicitud y entre 16 000 y 18 000 millones de consultas semanales, se ahorrarían aproximadamente entre 87 y 98 GWh de electricidad al año, lo que equivale al consumo eléctrico residencial anual de entre 672 000 y 756 000 personas en el África subsahariana, suponiendo 130 kWh por persona al año.



Techo de un centro de datos en el que se aprecian los equipos de refrigeración y los generadores de emergencia. Estos sistemas garantizan el control de la temperatura y la continuidad del suministro eléctrico para las operaciones informáticas de alta densidad, gestionando el calor y proporcionando electricidad in situ durante los cortes de suministro. Foto de Rspark3 (Wikimedia Commons).

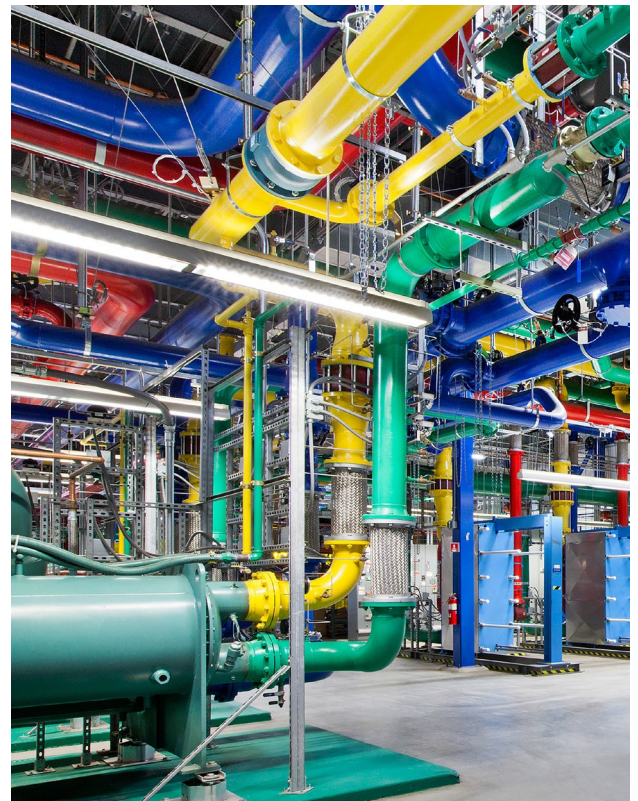
3.7 Hacia un uso y una escala sostenibles

Dependiendo de la tarea, la huella medioambiental de la IA varía enormemente: la generación de un solo vídeo de alta fidelidad puede consumir tanta electricidad como decenas de miles de clasificaciones de texto. Esta disparidad señala dónde son más importantes las intervenciones: optimizar las tareas que consumen mucha energía, reducir las inferencias innecesarias y dar prioridad a las arquitecturas ligeras y a las herramientas basadas en la recuperación de información para las necesidades cotidianas. La huella medioambiental de la IA no viene determinada únicamente por el tamaño del modelo ni por la energía necesaria para entrenarlo una sola vez. En cambio, son dos factores entrelazados los que determinan su impacto: cuánto utilizamos la IA y para qué la utilizamos. Cuando miles de millones de personas interactúan con la IA cada día, incluso unos pocos milivatios-hora de energía por consulta se suman hasta alcanzar gigavatios-hora de demanda.

Estos patrones tienen claras implicaciones en materia de justicia. La electricidad consumida y los recursos medioambientales afectados para generar respuestas proliferas en chats, imágenes creadas por IA o vídeos de alta fidelidad son recursos que pueden no estar al alcance de comunidades que aún carecen de un suministro eléctrico fiable o de agua potable.

Al optar por interacciones concisas siempre que sea posible, dar prioridad a herramientas de bajo impacto para tareas sencillas y combinar la eficiencia técnica con una gestión responsable de la demanda, los usuarios,

los desarrolladores y los responsables políticos pueden aprovechar los beneficios de la IA al tiempo que la orientan hacia una trayectoria más justa y sostenible. La concienciación sobre los recursos en la toma de decisiones puede reducir las emisiones evitables y los efectos rebote.



Tuberías de entrada y salida de agua en el centro de datos de Google en The Dalles, Oregón.

4. El camino a seguir



Sesión de la conferencia «AI for Good 2025» celebrada en Ginebra el 8 de julio de 2025, en la que se reunieron responsables políticos, organismos de las Naciones Unidas y expertos en tecnología para debatir sobre la gobernanza mundial de la IA, la innovación responsable y la coordinación de políticas a nivel internacional. Foto de Rowan Farrell / ITU Pictures (Flickr).

La inteligencia artificial forma parte ya de nuestra vida cotidiana y determina cómo aprendemos, creamos, nos comunicamos y gobernamos. Cada interacción conlleva un coste material, que se traduce en el consumo de energía y, a través de esta, en las huellas de carbono, agua y tierra que acompañan a la generación de electricidad. Este informe de la UNU-INWEH muestra que la huella de la IA no es simplemente una cuestión de cuánto utilizamos estos sistemas, sino de cómo los utilizamos: el tipo de tarea, la elección del modelo, el despliegue y las prácticas de los usuarios influyen en el impacto, a menudo en órdenes de magnitud. El objetivo de poner de relieve las huellas medioambientales de la IA no es frenar el progreso, sino alinear la innovación con la gestión responsable, para crear sistemas de IA más capaces que también utilicen los recursos de forma sensata y justa.

También es fundamental reconocer los impactos más allá de las huellas cuantificadas en este informe. Cuestiones como la extracción de minerales críticos, la durabilidad del hardware hasta el final de su vida útil y las prácticas de refrigeración directa en los centros de datos conllevan importantes implicaciones medioambientales y sociales, algunas de las cuales se concentran en el Sur Global (por ejemplo, la contaminación derivada de la extracción de tierras raras). Si bien este informe se ha centrado en las huellas relacionadas con la energía —agua, tierra y carbono—, las políticas y las prácticas también deben abordar estas dimensiones más amplias e interrelacionadas —materiales, sociales y de justicia— para garantizar que la responsabilidad medioambiental y la sostenibilidad se extiendan a lo largo de toda la cadena de suministro de la IA.

4.1 Principios rectores para un ecosistema de IA responsable

Un ecosistema de IA sostenible depende de seis principios que se refuerzan mutuamente y que determinan cómo se construyen, se implementan y se utilizan los sistemas:

1. La transparencia hace visibles los impactos mediante la divulgación estandarizada y comparable del consumo energético y de las huellas hídricas, territoriales y de carbono resultantes. Una información clara permite la rendición de cuentas, el escrutinio público y la elección informada.
2. La eficiencia desde el diseño garantiza que la energía y otros recursos se utilicen de forma sensata. Esto incluye la cuantificación, la poda, la destilación, el enrutamiento mediante «mezcla de expertos», la reutilización de la capacidad de cálculo y la ejecución en el propio dispositivo cuando sea factible.
3. La equidad y la justicia garantizan que las personas que viven en zonas con una mayor intensidad de carbono, agua y suelo en la red eléctrica, o con recursos limitados, no soporten cargas desproporcionadas derivadas del

4. La responsabilidad sobre el ciclo de vida reconoce que cada unidad de energía utilizada por la IA conlleva impactos asociados en el consumo de agua, el uso del suelo y las emisiones de carbono, y que la producción de hardware, el abastecimiento de minerales y la eliminación de residuos también tienen consecuencias. La responsabilidad debe extenderse desde los materiales hasta la fabricación, el uso y el fin de la vida útil.
5. La cooperación global armoniza los métodos, la divulgación de información y las salvaguardias para que los beneficios se compartan en lugar de fragmentarse.
6. El uso sostenible reconoce que las decisiones cotidianas, como elegir tareas de baja huella, modelos más pequeños o la búsqueda convencional cuando sea apropiado, son componentes fundamentales de una aplicación responsable de la IA.

En conjunto, estos principios constituyen una base. El siguiente paso es convertirlos en prácticas concretas para la medición, el diseño, la gobernanza y el uso cotidiano.



Mineros artesanales que trabajan en el cinturón del cobre de Katanga, en la República Democrática del Congo, extrayendo cobre utilizado en servidores de IA, centros de datos e infraestructuras eléctricas. Aunque este trabajo sustenta la economía mundial de la IA, las comunidades locales suelen seguir expuestas a condiciones de trabajo inseguras y a daños medioambientales, y reciben una parte muy reducida de los beneficios económicos que obtienen las empresas tecnológicas y los países de altos ingresos. Foto de Bas van Abelé/Fairphone (Flickr).

Principles for a Responsible AI Ecosystem



Figura 13. Seis principios rectores para la puesta en práctica de una IA responsable. Este marco orienta a la IA hacia la gestión medioambiental y la responsabilidad social. Hace hincapié en la transparencia, la eficiencia desde el diseño, la equidad y la justicia, la responsabilidad a lo largo del ciclo de vida, la cooperación global en materia de medición y gobernanza, y el uso sostenible para promover opciones con menor huella ecológica.

42 De la medición a la acción

La eficiencia y el uso inteligente deben ir acompañados de equidad en cuanto a dónde recaen los impactos y quién se beneficia.

Hacer visible lo invisible. Los desarrolladores de IA y los proveedores de servicios deberían publicar informes claros y estandarizados sobre la huella energética y medioambiental del entrenamiento y la inferencia, expresados en unidades estandarizadas. La presentación de informes debe ser coherente entre modelos, tareas y regiones, de modo que los resultados puedan verificarse y compararse. Los proveedores deben separar el entrenamiento, el despliegue y la inferencia a nivel de tarea, para que los usuarios y los responsables políticos puedan ver qué cargas de trabajo generan los mayores impactos. Los pueden acelerar la convergencia hacia las buenas prácticas y desalentar la divulgación selectiva que crea impresiones engañosas sobre el progreso.

Diseñar pensando en la eficiencia y gestionar el efecto rebote. Las mejoras en los modelos, como la cuantificación, la poda, la destilación y el enrutamiento mediante «mezcla de expertos», pueden reducir sustancialmente el consumo energético por tarea. Las opciones de implementación, como los aceleradores eficientes, los clústeres de alta utilización y el enrutamiento con conciencia de las emisiones de carbono, también reducen el desperdicio. Pero la eficiencia por sí sola no basta. Las organizaciones deben adoptar presupuestos de recursos, medidos en tokens, horas de GPU o kilovatios-hora, y establecer objetivos que tengan en cuenta el crecimiento, de modo que la demanda total no eclipse los ahorros. Cuando los modelos grandes sean innecesarios, la configuración predeterminada de «priorizar los modelos pequeños» y la ejecución en el propio dispositivo deben ser la norma. Esto es

especialmente importante para cargas de trabajo de alta intensidad, como la generación de imágenes y vídeos, en las que el consumo energético aumenta rápidamente con la resolución, la duración y el número de fotogramas. Los ajustes predeterminados eficientes, como una resolución más baja y clips más cortos, pueden generar ahorros sustanciales a gran escala y deben presentarse claramente en las interfaces de usuario. Dado que los ajustes de alta fidelidad en la generación de imágenes y vídeos provocan un aumento desproporcionado del consumo energético, la eficiencia por defecto debe incluir límites explícitos e información sobre la resolución, el número de fotogramas y la duración del resultado.

Utilizar la IA de forma inteligente. Los usuarios, las organizaciones y las instituciones públicas deben adaptar las herramientas a las tareas. No todas las tareas requieren un modelo generativo de gran tamaño. Para muchas búsquedas rutinarias, la búsqueda convencional o las herramientas locales suelen ser más eficientes. Algunos modelos ligeros y específicos para cada tarea pueden consumir muy poca energía y, a menudo, ofrecen mejores resultados en tareas específicas que los grandes sistemas de uso general. Los modelos generativos deben utilizarse cuando aporten un claro valor añadido, y no de forma predeterminada. Las actividades de gran volumen, como la búsqueda, la síntesis y la orientación práctica, se benefician sobre todo de modos concisos y diseños que priorizan la recuperación, en los que reducciones modestas en la verbosidad pueden traducirse en ahorros sustanciales en todo el sistema cuando se aplican a gran escala.

Las prácticas sostenibles incluyen indicaciones y resultados concisos, agrupar tareas relacionadas, reutilizar resultados anteriores y evitar iteraciones innecesarias. En aplicaciones como la generación de imágenes y vídeos, los proveedores deberían ofrecer

que sean visibles e informar a los usuarios cuando sus elecciones aumenten de forma significativa la demanda energética.

Integrar la equidad. Cargas de trabajo idénticas pueden generar huellas muy diferentes en función de la composición de la red eléctrica local. Los informes deben incluir tanto estimaciones basadas en la ubicación como medias globales, de modo que los efectos distributivos sean transparentes. Las estrategias nacionales y la cooperación internacional deben tener en cuenta estas diferencias para garantizar que las comunidades con recursos limitados no se vean afectadas de manera desproporcionada por la expansión de la infraestructura de IA. Las decisiones sobre la ubicación de grandes clústeres de computación deben implicar una participación significativa de las comunidades locales, especialmente cuando la escasez de agua o la sobrecarga de la red eléctrica sean motivo de preocupación.

43 Funciones y responsabilidades

Para traducir estos principios en cambios en el mundo real, la responsabilidad debe compartirse en todo el ecosistema de la IA, con funciones diferenciadas para cada actor implicado en el diseño, la gobernanza, la financiación y el uso de los sistemas de IA.

Los desarrolladores y proveedores deben asumir la responsabilidad directa del diseño, la implementación y la divulgación de los modelos. La eficiencia debe integrarse en las arquitecturas. Debe darse prioridad a una infraestructura eficiente. Las huellas ecológicas deben comunicarse en formatos que permitan su verificación y



Un trabajador clasificando y desmontando residuos electrónicos en Guiyu (China), donde los dispositivos desechados se procesan al aire libre, lo que contamina el suelo, el agua y el aire. A medida que la expansión de la IA aumenta la renovación global de hardware,

Se prevé que aumenten los volúmenes de residuos electrónicos, lo que ampliará la huella medioambiental de la IA más allá de los centros de datos hasta los vertederos. Foto de Bert van Dijk (Flickr).

Comparación justa. Los controles orientados al usuario, como los modos concisos, los límites de tokens, el procesamiento por lotes y los ajustes preestablecidos de baja resolución, deberían hacer que el funcionamiento eficiente sea la opción por defecto. La sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida debería incluir materiales de origen ético, un diseño de hardware duradero y una gestión responsable de los residuos electrónicos.

Los gobiernos y los organismos reguladores deberían considerar habitual la divulgación de información medioambiental relativa a la IA. Las normas deberían exigir la presentación de informes claros sobre la huella a nivel de modelo y de tarea. La planificación climática y energética debería incorporar la demanda prevista de IA. La contratación pública debería premiar las herramientas y la infraestructura de baja huella. Las directrices de ubicación y los incentivos deberían alejar los centros de datos de las regiones con estrés hídrico o con altas emisiones de carbono y fomentar el reparto de beneficios a nivel local.

Los organismos internacionales y de normalización deberían armonizar los métodos para medir y comunicar la huella energética y las huellas medioambientales derivadas. Las normas compartidas deberían ayudar a evitar la divulgación selectiva y permitir la rendición de cuentas transfronteriza. Los foros mundiales deberían potenciar el liderazgo y el desarrollo de capacidades en el Sur Global y vincular explícitamente la gobernanza medioambiental de la IA a los objetivos de sostenibilidad.

Los investigadores y las universidades deberían ampliar las evaluaciones de impacto a toda la cadena de suministro de la IA y desarrollar herramientas de evaluación comparativa abiertas y verificables para el consumo energético a nivel de tarea.

El trabajo interdisciplinar debería vincular los indicadores medioambientales con los resultados sociales y económicos.

Los programas de formación que combinen el aprendizaje automático, la ingeniería de sistemas y la gobernanza medioambiental deberían formar a una mano de obra preparada para crear y regular sistemas de IA sostenibles.

La sociedad civil, las ONG y los medios de comunicación deberían desempeñar un papel central a la hora de hacer visible para el público la importancia de la IA. Deberían hacer un seguimiento de la información divulgada, traducir las huellas ecológicas en comparativas accesibles y amplificar las voces de las comunidades afectadas por la ubicación de los centros de datos, el uso del agua y los impactos de la extracción de minerales críticos. El escrutinio público debe reforzar la rendición de cuentas y mantener la justicia medioambiental en el centro de la gobernanza de la IA.

Los usuarios y las empresas deberían reconocer su influencia cotidiana sobre el impacto medioambiental de la IA.

Deberían optar por opciones de bajo consumo energético cuando estas satisfagan las necesidades y recurrir a modelos generativos solo cuando ofrezcan un valor real. Las organizaciones deberían adoptar o de tokens, fomentar un uso conciso y optar por defecto por modelos más pequeños o integrados en los dispositivos. Las contrataciones públicas deberían incorporar criterios relacionados con la huella medioambiental.

Principios para un ecosistema IA responsable

Principio	Aplicación
Transparencia	Utilizar métricas compartidas y relevantes para la toma de decisiones, así como la divulgación de información sobre la huella eléctrica, de carbono, hídrica, territorial y de materiales, de modo que los impactos sean comparables entre modelos, proveedores y jurisdicciones, y sea posible la rendición de cuentas.
Eficiencia por diseño	Considerar la eficiencia como un requisito de diseño, no como una cuestión secundaria: las arquitecturas, los valores por defecto, las opciones de producto y la experiencia de usuario (modalidad, duración del contexto, fidelidad de la salida) deben minimizar la demanda evitable de recursos y establecer bases de referencia de menor impacto.
Equidad y justicia medioambiental	Garantizar que las comunidades afectadas puedan participar de forma significativa en las decisiones sobre la ubicación y la gobernanza, y que el reparto de beneficios, las salvaguardias y las medidas de reparación se integren allí donde se concentran las cargas locales (estrés por la contaminación, restricciones hídricas, presiones sobre el uso del suelo).
Ciclo de vida Responsabilidad	Gobernar más allá de la energía operativa: abordar los impactos de la extracción y la fabricación en las fases iniciales, las externalidades de la construcción y la cadena de suministro, así como los residuos electrónicos y la gestión al final de la vida útil en las fases finales, para que los impactos no queden fuera del ámbito de aplicación.
Cooperación global	Armonizar las normas de divulgación, los límites de la información y los enfoques de gobernanza a través de las fronteras y las cadenas de valor para reducir el arbitraje regulatorio y el traspaso de cargas, y para apoyar los objetivos comunes y la interoperabilidad.
Uso sostenible	Alinear el despliegue con el valor social y las limitaciones de recursos: la gestión de la demanda, la selección de modelos adecuados para cada finalidad y las normas institucionales de adquisición son importantes, ya que los impactos acumulativos vienen determinados por el volumen y las prácticas cotidianas, y no solo por la eficiencia por consulta.

Actores y responsabilidades

el ecosistema

Grupo de actores	Gobernanza Implicaciones	Responsabilidades
Gobiernos y organismos reguladores	Las políticas públicas establecen las normas de divulgación, los supuestos de planificación y las condiciones de ubicación de las infraestructuras de IA.	Establecer normas de divulgación y de rendimiento; integrar la IA en la planificación energética, hidrológica y territorial; orientar la ubicación de las instalaciones con medidas de protección y reparto de beneficios; utilizar la contratación pública para premiar la IA con baja huella ambiental; proteger los derechos y prevenir los efectos discriminatorios.
Desarrolladores y productores	Las decisiones de diseño e implementación determinan la huella de referencia y lo que los usuarios pueden ver, elegir y controlar.	Priorizar la eficiencia de forma predeterminada; publicar información comparable sobre la huella; reducir la demanda de recursos informáticos mediante la optimización; reforzar la responsabilidad en el ciclo de vida y la cadena de suministro; ofrecer controles a los usuarios que permitan un uso de bajo impacto.
Universidades y investigadores	Se necesitan métodos y puntos de referencia independientes para validar las afirmaciones y orientar las políticas y las prácticas.	Medir y comparar los impactos; desarrollar métodos y herramientas abiertos; poner a prueba estrategias de mitigación; formar en capacidades interdisciplinarias; apoyar la traslación de la ciencia a las políticas.
Inversores e instituciones financieras	La asignación de capital puede acelerar la creación de infraestructuras eficientes y reforzar la rendición de cuentas a través de las condiciones de financiación.	Exigir la divulgación de información en la diligencia debida; financiar sistemas informáticos y de refrigeración eficientes; integrar el riesgo del ciclo de vida; alinear la inversión con los objetivos de sostenibilidad; condicionar la financiación a la rendición de cuentas.
Empresas y usuarios del sector público	Las opciones del lado de la demanda y las decisiones de contratación pública determinan los efectos de escala y si el uso de alto impacto se convierte en algo habitual.	Adquirir sistemas adecuados para su finalidad; establecer políticas de uso interno (configuraciones predeterminadas, presupuestos, procesamiento por lotes); dar preferencia a las opciones de bajo impacto; realizar un seguimiento del uso y la huella; garantizar un despliegue responsable.
ONG, medios de comunicación y sociedad civil	El escrutinio y la participación públicos son esenciales allí donde se producen los impactos, especialmente en lo que respecta a las instalaciones, el uso del agua y las cadenas de suministro.	Supervisar y dar a conocer los impactos; defender la justicia medioambiental y las salvaguardias; dar voz a las comunidades afectadas; apoyar la transparencia y la protección de los derechos; fomentar la sensibilización pública.



Protestas en Montevideo, Uruguay, en mayo de 2023, después de que una grave sequía agotara las reservas de agua dulce y el aumento de la salinidad hiciera que el agua del grifo no fuera apta para el consumo. La indignación pública se intensificó cuando los planes para un centro de datos de Google, con un elevado consumo de agua, suscitaron preocupaciones por dar prioridad a la demanda industrial frente al consumo humano. Foto de Vivir.solo.cuesta.vida (Wikimedia Commons).

Los inversores y las instituciones financieras deberían acelerar la transición hacia una IA sostenible incorporando la huella medioambiental en la diligencia debida. Deberían financiar infraestructuras eficientes y apoyar productos y servicios de bajo impacto. La gestión responsable debería incluir expectativas en materia de divulgación, mejoras en la eficiencia y responsabilidad a lo largo del ciclo de vida.

Se debe incluir a las comunidades locales, ya que sufren los impactos ambientales y sociales directos de los centros de datos, las explotaciones mineras y otras infraestructuras relacionadas con la IA. Deben participar desde el principio en las decisiones sobre la ubicación de las instalaciones, recibir información transparente y beneficiarse de la reinversión local. Estas acciones y responsabilidades convergen en una agenda común para su aplicación.

4.4 Poner en práctica los principios

El progreso requiere una acción coordinada en materia de normas, divulgación, incentivos, centrado en el usuario, la gestión del efecto rebote, la equidad y la cooperación. Esto incluye metodologías compartidas para calcular las huellas hídricas, territoriales y de carbono derivadas de la energía, la divulgación obligatoria y comparable, una contratación pública que premie el diseño de bajo impacto, interfaces de usuario

que orienten hacia opciones eficientes y presupuestos de recursos que gestionen los efectos rebote.

La equidad debe seguir siendo un aspecto central, especialmente para las comunidades indígenas y las del Sur Global, mediante la presentación de informes transparentes, la toma de decisiones inclusiva y el desarrollo de capacidades específico.

4.5 Conclusión

La IA ofrece un potencial extraordinario, pero cumplir esta promesa de forma responsable requiere un cambio sistémico. Cada interacción consume recursos finitos, y la huella medioambiental total depende de cómo se diseñen los sistemas de IA, con qué frecuencia se utilicen y qué tareas realicen. El progreso real depende de integrar la sostenibilidad en todos los niveles, desde el diseño del hardware y de los modelos hasta su implementación, gobernanza y uso público. Al comprometerse con la transparencia, diseñar con la eficiencia en mente, elegir con sensatez como usuarios e instituciones, proteger a las comunidades que soportan cargas desproporcionadas y cooperar más allá de las fronteras, la sociedad puede garantizar que el progreso en inteligencia vaya acompañado de un progreso en el cuidado. Una IA responsable es posible cuando la capacidad y la gestión responsable crecen juntas dentro de los límites del planeta.



**UNU
INWEH**

Acerca de la UNU-INWEH

El Instituto de la Universidad de las Naciones Unidas para el Agua, el Medio Ambiente y la Salud (UNU-INWEH) es una de las 13 instituciones que conforman la Universidad de las Naciones Unidas (UNU), el brazo académico de las Naciones Unidas. Conocido como «el centro de reflexión de la ONU sobre el agua», el UNU-INWEH aborda retos fundamentales relacionados con el agua, el medio ambiente y la salud en todo el mundo. A través de la investigación, la formación, el desarrollo de capacidades y la difusión de conocimientos, el instituto contribuye a resolver cuestiones urgentes de sostenibilidad global y seguridad humana que preocupan a la ONU y a sus Estados miembros. Con sede en Richmond Hill, Ontario, el UNU-INWEH cuenta con el apoyo y la acogida del Gobierno de Canadá desde 1996. Con un mandato global y amplias alianzas con entidades de las Naciones Unidas, organizaciones internacionales y gobiernos, el UNU-INWEH opera a través de sus centros de la UNU en Calgary, Hamburgo, Nueva York, Lund y Pretoria, así como de una red internacional de afiliados.



UNU
INWEH

unu.edu/inweh