

El coste de los CPD

AiP - 01

24.04.2025



Profesor: López Álvarez David.

Autores: Lafuente González Alex, Smyhelskyy Yaskevych Sergio.

Índice

El coste de los CPD	1
1. Los Centros de Procesamiento de Datos: Fundamentos y relevancia	3
1.1. ¿Qué son los CPD?	3
1.2. Tipologías de CPD	4
1.3. Importancia actual y desafíos	6
1.4. Tendencias futuras	8
2. Impacto ambiental y energético	10
2.1. Consumo energético actual de los CPD	10
2.2. Emisiones de CO ₂ : Una contribución global	12
2.3. Causas de la alta demanda energética	15
2.3.1. Densidad computacional	15
2.3.2. Refrigeración y climatización	15
2.3.3. Redundancia y sistemas de respaldo	16
2.3.4. Expansión del tránsito de datos	17
2.4. Datos estadísticos clave	19
2.5. Consecuencias ambientales adicionales	23
3. Costes de operación	25
3.1. Costes energéticos	25
3.2. Refrigeración y climatización	26
3.3. Mantenimiento y actualizaciones de hardware	28
3.4. Personal y gestión	30
3.5. Licencias y software	32
3.6. Impacto de la localización geográfica	33
3.7. Comparativa global de costes operativos	36
4. Análisis de servicios digitales populares	39
4.1. Twitter (X): El Impacto Acumulado de los Mensajes Cortos	39
4.2. TikTok: El Coste Energético del Desplazamiento Infinito	40
4.3. Criptomonedas	44
4.4. Modelos de IA	46
5. Comparación y análisis de costes	49
6. Conclusiones	53
7. Referencias	56
8. Uso de IA	64

1. Los Centros de Procesamiento de Datos: Fundamentos y relevancia

1.1. ¿Qué son los CPD?

Los **Centros de Procesamiento de Datos (CPD)**, también conocidos como **datacenters**, son instalaciones físicas dedicadas a alojar sistemas informáticos críticos, almacenamiento de datos a gran escala y centralizar sus operaciones IT.

Aunque la complejidad puede variar según el tamaño y su propósito, los componentes principales de los CPD se concentran en:

- **Servidores:** Ordenadores de alto rendimiento que realizan las tareas de cálculo, procesamiento y gestión de datos. Su carga en los racks son el factor clave para el diseño térmico y energético.
- **Sistemas de Almacenamiento de Datos (Storage):** Dispositivos dedicados a guardar los grandes volúmenes de datos.
- **Equipos de Comunicaciones (Networking):** Dispositivos que interconectan los CPD entre sí y con redes externas (como por ejemplo Internet).
- **Infraestructura de Soporte:** Otros componentes informáticos que no procesan los datos directamente, junto con la infraestructura necesaria para garantizar su funcionamiento (energía [power], refrigeración [cooling], controles ambientales, seguridad, etc.).

Objetivo: Proporcionar un entorno estable donde los sistemas críticos puedan operar las 24 horas del día, brindando servicios de **almacenamiento, procesamiento y transmisión de datos** a usuarios o aplicaciones.

Desde el punto de vista técnico, un CPD incorpora diversas capas de infraestructura: sistemas de energía (alimentación primaria, generadores de respaldo, baterías UPS), sistemas de **refrigeración** (climatización de salas, contención de pasillos fríos/calientes, chillers, etc.), **sistemas de detección y extinción de incendios**, y altos niveles de seguridad de acceso. Todos estos elementos trabajan en conjunto para mantener un entorno controlado donde los servidores puedan operar sin interrupciones.

Por ello, a menudo se habla de **Tier o niveles de CPD** según estándares internacionales, que reflejan la redundancia y tolerancia a fallos de la infraestructura (Tier I a IV, del más básico al más redundante)¹

En resumen, los CPD sostienen a las empresas y sus servicios, permitiendo que la información esté **siempre disponible** para quien la necesite, cuando la necesite, y eso tiene asociado una larga serie de gastos que no se pueden pasar por alto.

1.2. 1.2 Tipologías de CPD

No todos los CPD son iguales. Existen diversas formas de **clasificar los CPD**, según su tamaño, su nivel de redundancia (storage tiering: Tier I a Tier IV), su arquitectura o su propósito.

Una manera común de diferenciarlos es por su **modelo de propiedad y uso**:

- **CPD empresariales (Enterprise Data Centers | Privados):**

Son aquellos operados por y para una sola organización. Suelen estar ubicados en las instalaciones de la empresa o en sitios especialmente acondicionados para ello. Están diseñados a la medida de las necesidades de la empresa.

Tradicionalmente, la mayoría de medianas y grandes empresas tenían su propio CPD, aunque en la actualidad muchas han migrado parte de sus cargas a la nube o centros de terceros.

Ejemplo: Centro de datos propio de un banco, de una compañía aseguradora o de un minorista.

- **CPD comerciales o de collocation:**

Son centros de datos operados por proveedores especializados (terceros) que **alquilan espacio, energía y conectividad** a múltiples clientes. También conocidos como **centros de datos multiusuario**, en ellos una empresa (cliente de terceros) puede alojar sus servidores en racks dedicados o compartir racks, pagando por el espacio físico (en racks o por metros cuadrados), por la potencia eléctrica asignada (kW) y por la conectividad.

Los CPD comerciales aportan economías de escala: infraestructura muy robusta, compartida entre muchos clientes, con altos niveles de eficiencia (costes operativos).

Proveedores como Equinix, Digital Realty, NTT, entre otros, ofrecen este tipo de instalaciones en todo el mundo.

- **CPD de nube pública (Cloud Data Centers | Hiperescala (Hyperscalers)):**

Son los gigantescos centros de datos que pertenecen a proveedores de nube como Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google Cloud (GCP), etc.

Estos proveedores ofrecen recursos informáticos (cálculo, storage, IA, etc.) como un servicio bajo demanda a través de internet (modelos IaaS, PaaS, SaaS).

Estos se caracterizan por una **escala masiva**, altísimos niveles de automatización y estandarización, y por estar distribuidos globalmente en regiones.

Aunque físicamente son similares a un CPD comercial (muchos equipos en filas de racks, con gran densidad), su operativa es diferente, ya que el proveedor de nube gestiona completamente el hardware y ofrece capacidades virtualizadas a los clientes. Suelen tener diseños modulares y muy optimizados en costos (por ejemplo, diseños propios de servidores y racks).

- **CPD institucionales o científicos:**

Aquí englobamos los centros de datos dedicados a proyectos específicos de organismos públicos, académicos o de investigación. Estos suelen contar con **supercomputadoras o clústeres** especializados en cómputo intensivo, y en muchos casos están orientados a cálculos científicos, simulaciones, Big Data, etc., más que a servicios web tradicionales.

Ejemplos: Los centros de supercomputación (HPC) de universidades o centros de investigación (como el Barcelona Supercomputing Center, o los centros que procesan datos de experimentos científicos tipo CERN), o los CPD de organismos gubernamentales que alojan datos sensibles de la administración pública.

- **CPD Edge (Perimetrales):**

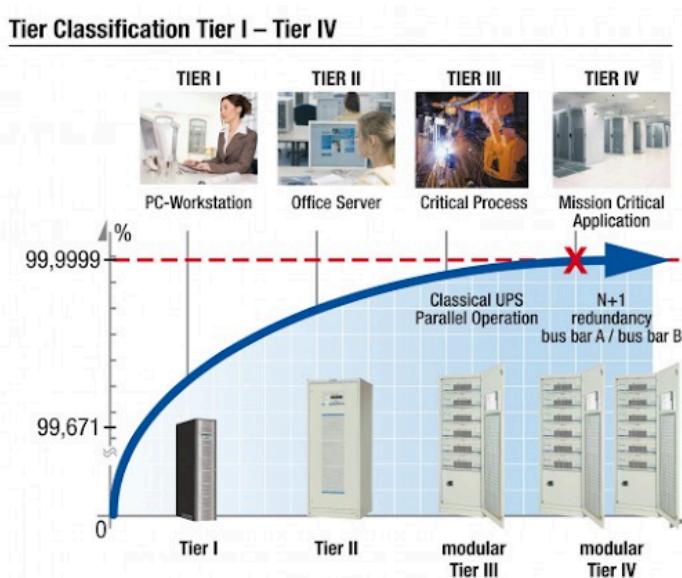
Más que un tipo de CPD centralizado, el **edge computing** representa una tendencia hacia la descentralización.

Es una categoría emergente en años recientes son los mini-centros de datos **distribuidos en la periferia de la red**, cerca de los usuarios o dispositivos. Estos son de menor tamaño (pueden caber en un contenedor de transporte o en una pequeña sala) y se ubican estratégicamente para reducir latencias.

Ejemplos: En antenas 5G, en instalaciones industriales, en oficinas regionales, etc.

La idea es acercar parte del procesamiento (como el de IoT (aplicaciones de baja latencia), contenidos de vídeo locales, cachés) al lugar donde se consumen los datos, para complementar a los grandes CPD centrales.

Otra forma de tipificar los CPD es mediante su **nivel de resiliencia**, como mencionamos, a través de la clasificación **Tier I a IV** del estándar ANSI/TIA-942.¹ Un **Tier I** es básicamente un cuarto de servidores sin redundancia (susceptible a interrupciones por mantenimiento o fallos), mientras que un **Tier IV** es un centro de datos de máxima tolerancia a fallos (toda la infraestructura es redundante y permite disponibilidad del 99.995% o más). Entre medio, Tier II y III ofrecen grados crecientes de redundancia en energía y enfriamiento. Esta tipología se usa para certificar CPD en cuanto a su diseño y operación.



En la práctica, los CPD pueden también diferenciarse por su **tamaño físico o capacidad**: desde micro CPD de unos pocos racks (en una empresa pequeña), pasando por CPD medianos (decenas de racks, unos cientos de kW de consumo), hasta **mega-centros** de decenas de MW.

Figura 1: Tier Classification. Fuente: [CPDs y sus Tiers | Blogs La Salle | Campus Barcelona²](http://CPDs y sus Tiers | Blogs La Salle | Campus Barcelona)

1.3. Importancia actual y desafíos

Los CPD se han convertido en la infraestructura fundamental sobre la cual descansa casi toda la actividad digital moderna. Su importancia trasciende el mundo empresarial y tecnológico, impactando directamente la vida cotidiana de miles de millones de personas. Sin CPD operativos, la mayoría de los servicios digitales que damos por sentados dejarían de funcionar.

Su importancia radica en que son el **pilar de la transformación digital**: sin centros de datos robustos, no habría comercio electrónico seguro, ni redes sociales globales, ni análisis de grandes volúmenes de datos (*Big Data*) en tiempo real.

Algunos ejemplos incluyen:

- **Funcionamiento de Internet:** Hosting de páginas web, servidores DNS, gestión de tráfico-
- **Servicios Cloud, Big Data:** Storage y procesamiento de grandes volúmenes de datos.
- **Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (ML)**
- **Entretenimiento Digital (+ Redes Sociales)**
- **Comercio Electrónico y Comunicaciones**

Debido al crecimiento de estos, resaltan los siguientes desafíos clave actuales:³

1. Sostenibilidad

Ahora bien, uno de los más destacados es el **desafío de la sostenibilidad y eficiencia energética**. Los centros de datos consumen en conjunto una fracción nada despreciable de la electricidad mundial (como veremos en secciones siguientes), lo que plantea preocupaciones ambientales y de costos.

1.1. Cumplimiento de normativas de sostenibilidad

La presión por reducir su **huella de carbono** es creciente, tanto por parte de la sociedad (exigiendo tecnologías más verdes) como de reguladores que empiezan a poner la lupa en las emisiones de la industria tecnológica.

1.2. Reto de la refrigeración

Los métodos de refrigeración por aire más avanzados se enfrentan al reto de un consumo energético y una producción de calor cada vez mayores. Cada vez más, se está mirando la tecnología de la **refrigeración líquida**.

Ligado a esto, el **enfriamiento eficiente** de los CPD en un contexto de cambio climático (con temperaturas ambientales más altas en muchos lugares) es un reto técnico: se requieren innovaciones para refrigerar con menos consumo de energía y agua.

2. Escalabilidad

Otro desafío es el **crecimiento exponencial de la demanda** de procesamiento y almacenamiento de datos. La cantidad de datos globales se duplica cada pocos años y se proyecta llegar a 175 Zettabytes en 2025.⁴

Esto implica que los CPD deben escalar en capacidad *constantemente*.

Aun con la mejora de la densidad computacional (más poder de cómputo por chip), se necesitan más centros de datos o ampliación de los existentes. Sin embargo, expandir CPD no es trivial: implica inversiones multimillonarias, disponibilidad de energía eléctrica suficiente (varios megavatios por instalación) y en algunos casos se topa con limitaciones de espacio físico o aceptación local (zonificación, comunidades preocupadas por el consumo de recursos).

3. Seguridad

La **seguridad** es otro frente desafiante. Los CPD son blancos atractivos para ciberdelincuentes y, en el caso de instalaciones críticas, incluso para ataques físicos.

3.1. Seguridad digital

Mantener actualizadas las defensas contra intrusiones, malware, y garantizar la integridad de los datos almacenados es una tarea continua.

3.2. Seguridad física

La **seguridad física** (control de accesos (biometría, tarjetas), videovigilancia (CCTV), personal de guardia) también es vital para prevenir sabotajes o accesos no autorizados que puedan comprometer sistemas. Además de sistemas de monitorización ambiental y de rendimiento (DCIM - Data Center Infrastructure Management).

4. Gestión

Un reto adicional es la **complejidad de la gestión**. Operar un CPD moderno involucra coordinar múltiples sistemas (TI, eléctrico, mecánico, seguridad) y a veces miles de dispositivos.

4.1. Atracción de talento

Se requieren profesionales altamente capacitados en administración de sistemas, redes, ingeniería de instalaciones, etc. La industria adolece de falta de personal especializado suficiente, lo que puede dificultar la operación óptima.

4.2. Automatización

Automatizar tareas mediante inteligencia artificial y mejores herramientas de gestión es una necesidad, pero a su vez incorpora nuevas tecnologías que requieren dominio.

5. Complejidad

Finalmente, los CPD deben adaptarse a **nuevas cargas de trabajo** y paradigmas.

5.1. Explosión de la IA

La **Inteligencia Artificial (IA)** genera demandas distintas (GPU aceleradoras, interconexiones de muy baja latencia entre nodos) que difieren de los servidores tradicionales; esto obliga a rediseñar partes de la infraestructura para soportar entrenamientos masivos de modelos de IA.

5.2. Impacto del Edge Computing

Asimismo, la tendencia hacia la **computación distribuida** (edge, IoT) requiere integrar y orquestar recursos dispersos manteniendo coherencia y rendimiento.

En resumen, los CPD son vitales en el mundo actual, pero encaran desafíos en **sostenibilidad, escalabilidad, seguridad, gestión y complejidad**. Su importancia hace imperativo superar estos retos mediante innovación tecnológica y buenas prácticas, dado que la demanda de servicios digitales no hará más que aumentar en el futuro próximo.

1.4. Tendencias futuras

De cara al futuro, se anticipan varias tendencias que definirán los CPD en la próxima década por los beneficios que estas presentan para poder superar los retos que presentan estos complejos sistemas y la creciente demanda de datos. En esta sección exploraremos las principales direcciones en que se enfocaran las organizaciones respecto al diseño de sus *datacenters*.

Eficiencia energética y sostenibilidad

Tanto los fabricantes, como los operadores están trabajando en **nuevos métodos de refrigeración**: la **refrigeración líquida directa** o la **inmersión** (sumergir servidores en líquido dieléctrico), que reducirán el consumo destinado a la climatización. Otra técnica estudiada que puede complementar a la anterior es el **enfriamiento gratuito** (*free cooling*), la cual se centra en seleccionar ubicaciones y diseños que aprovechen el aire exterior o agua de mar/lagos en climas fríos para minimizar la necesidad de *chillers* tradicionales.

Complementariamente, las organizaciones apostarán por **CPD más verdes**, lo que incrementará el uso de **energías renovables** para el abastecimiento eléctrico (paneles solares propios, compra de energía eólica, acuerdos de compra de energía verde a largo plazo, etc.) Algunos operadores líderes ya afirman **utilizar 100% energía renovable** en sus centros de datos.^{5, 6}

Adicionalmente, las empresas buscan alcanzar la **neutralidad de carbono** en la industria en los próximos años, mediante iniciativas como el **Climate Neutral Data Centre Pact** en Europa.⁷ Estas fijan objetivos para reducir emisiones y reportar transparencia en el consumo energético y de agua.

Debido a que los CPD generan mucho calor, hay proyectos que empiezan a emplear técnicas de **reciclaje de calor residual**, donde el calor se canaliza para calefacción urbana o invernaderos cercanos, aprovechándolo en vez de desperdiciarlo.

Microcentros de datos distribuidos geográficamente

Con la integración hacia la ya presente red 5G y la futura 6G, aumentará este tipo de CPD, con el fin de procesar datos localmente cuando se requiera latencia mínima. Esto creará una topología más jerárquica:

- **CPD centrales** (núcleo *cloud*)
- **CPD de borde** interconectado.

Para gestionar estas extendidas infraestructuras, se emplearán tecnologías de **orquestación distribuida**, contenedores y plataformas capaces de mover cargas dinámicamente entre **core** y **edge** según se necesite.

Automatización e inteligencia

Se prevé que cada vez más CPD integren IA con el objetivo de optimizar operaciones. Una aplicación de estos es los **algoritmos de distribución de workload**, los cuales aprovechan

horas de bajo uso/consumo, o ajustan dinámicamente la temperatura deseada de los climatizadores. Esta automatización podría evolucionar hacia CPD autogestionados en gran medida, con mínima intervención humana.

Por otro lado, el modelo de **Software-Defined Data Center (SDDC)**, es una propuesta prometedora. En estos, toda la infraestructura (cómputo, red, almacenamiento e incluso funciones de enfriamiento/energía) se abstrae y se controla mediante software, permitiendo una gran flexibilidad y respuesta rápida a las necesidades de negocio.⁸

También se incorporarán **nuevos materiales/arquitecturas de hardware** como las siguientes:

- **Procesadores especializados:** ASICs, TPUs, GPUs para tareas de IA, entre otras.
- **Computación cuántica híbrida:**

Es posible que a medio plazo se empiece a incorporar **computación cuántica híbrida**, como racks de computadores cuánticos en CPD o dispositivos de **almacenamiento avanzado** (memorias no volátiles, ultrarrápidas integradas, almacenamiento óptico para frío, etc.). Las propuestas de **comunicación cuántica** a través de **interconexiones ópticas** dentro del CPD reducirían la latencia y el tráfico de la red.

Tendencia a nivel de negocio

Desde el punto de vista de la **transparencia y regulación**. Es posible que gobiernos implementen normativas que obliguen a reportar el consumo energético de los CPD y sus emisiones asociadas, estableciendo estándares de eficiencia mínimos. También veremos una mayor colaboración en la industria para compartir mejores prácticas (por ejemplo, abiertos a través del **Open Compute Project**, que impulsa diseños eficientes de hardware).⁹

En conclusión, los CPD del futuro serán más **eficientes, distribuidos e inteligentes**. Seguirán creciendo en capacidad, pero con un énfasis en minimizar su impacto ambiental y en adaptarse rápidamente a nuevas tecnologías. Todo esto buscando sostener la imparable demanda digital de la sociedad moderna de forma responsable y resiliente, aunque esta gran demanda inevitablemente aumentará el consumo energético global y tendrá asociado un impacto ambiental considerable.

2. Impacto ambiental y energético

El remarcable crecimiento de la infraestructura digital a nivel mundial trae consigo un **alto costo ambiental y energético**. Los CPD, al concentrar miles de equipos electrónicos funcionando continuamente, demandan grandes cantidades de electricidad y recursos para su funcionamiento.

En esta sección examinaremos el panorama actual del consumo energético de los centros de datos y su impacto ambiental (principalmente en términos de emisiones de CO₂), explorando por qué consumen tanto, qué datos ilustran esta situación y cuáles son las consecuencias para el medio ambiente.

2.1. Consumo energético actual de los CPD

Actualmente, los centros de datos y la IA consumen el 13% de la electricidad utilizada en España. A pesar de los avances en eficiencia, los centros de datos en conjunto consumen una porción significativa de la electricidad mundial. Estudios recientes indican que en **2022 los CPD consumieron alrededor de 460 TWh** de electricidad a nivel global.⁶

Para poner esto en contexto, 460 TWh equivale aproximadamente al doble del consumo eléctrico anual de un país como España.⁶

Datos Globales:

Visto de otra forma, los CPD consumen en el orden del **2% de la electricidad mundial**, una cifra comparable al consumo de algunos países desarrollados.

- **Entrenamiento de modelos de IA:** El desarrollo de sistemas ChatGPT puede requerir **1.287 MWh** (referencia: GPR-3) por modelo, generando **552 toneladas de CO₂**
- **Minado de Criptomonedas:** El minado de Bitcoin consume **150 TWh anuales**, superando el consumo total de países como Malasia.
- **Redes Sociales:** TikTok y Twitter (X) procesan miles de peticiones por segundo en tiempo real continuamente, con un coste energético 24/7 asociado a servidores y enfriamiento.

Si consideramos el porcentaje sobre toda la energía (no solo la eléctrica) utilizada en el mundo, los CPD supondrían cerca del **1% del consumo de energía primaria**. Sin embargo, dado que funcionan enteramente con electricidad, es más relevante compararlos con la electricidad mundial producida.

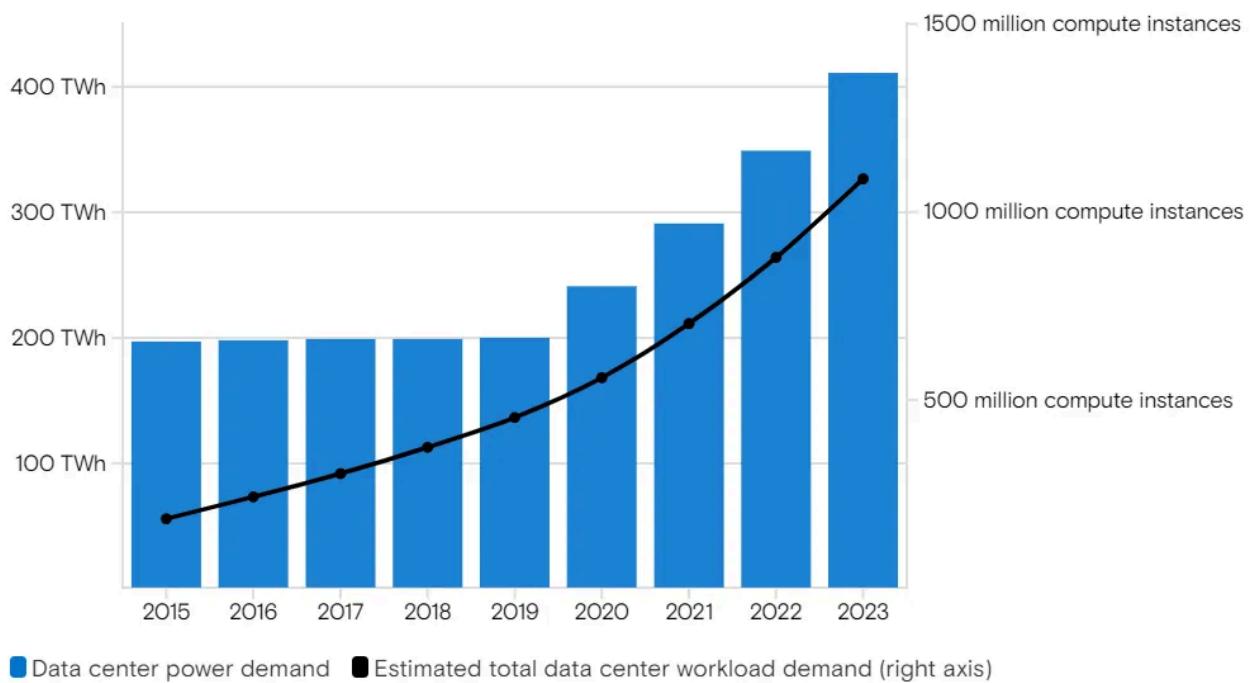
Proyecciones de consumo eléctrico global de los CPD

Un informe de la ONU en 2024 destaca que la demanda eléctrica de los centros de datos podría **doblararse para 2026**, alcanzando cerca de 920 TWh (lo que rondaría el 4% del consumo global de electricidad) de mantenerse las tendencias actuales de digitalización e introducción de IA.⁶

- Se prevé que el consumo energético de los CPD crezca un 30% hasta 2030, impulsado por la IA, el 5G y el *cloud computing*.¹⁰
- En Europa, el sector ya superó los 201 MW de consumo eléctrico de 2021.

The workload demand for data centers...

...and the power they consumed



■ Data center power demand ■ Estimated total data center workload demand (right axis)

Source: Masanet et al. (2020), Cisco, IEA, Goldman Sachs Research
The data center power demand for 2023 is an estimate.

**Goldman
Sachs**

Figura 2: Tendencia de la Carga de Trabajo para los CPDs [2015-2023]

Fuente: [Articulo Goldman Sachs¹¹](#)

Este crecimiento acelerado contrasta con la relativa estabilidad que se observó en la década de 2010, cuando mejoras de eficiencia (virtualización, mejores PUE) mantuvieron el consumo contenido a pesar del aumento de cargas.

Crecimiento acelerado impulsado por la IA

Ahora, la nueva ola de demanda (servicios en la nube, streaming masivo de video, IA generativa, etc.) está impulsando un alza notable.¹²

De acuerdo con los datos de reportes del IDC, se estima que los CPD dedicados a IA experimenten un crecimiento anual compuesto (CAGR) del 40,5% hasta el 2027. Este crecimiento exponencial tiene una traducción directa en términos energéticos: el consumo de energía de los centros de datos dedicados a IA se incrementará a un ritmo todavía más acelerado, con un CAGR del 44,7%, llegando a los **146,2 TWh** el 2027.

La diferencia entre el crecimiento de la capacidad (40,5%) y el consumo energético (44,7%) pone de manifiesto una realidad preocupante:

"A medida que los modelos de IA se vuelven más complejos y las aplicaciones más sofisticadas, la intensidad energética por unidad de capacidad computacional también aumenta" - [IDC Report¹³](#).

Esto significa que, a pesar de las mejoras en eficiencia energética a nivel de componentes individuales, la escala y complejidad creciente de las cargas de trabajo de IA está superando estas ganancias de eficiencia.

Implicaciones operativas y económicas

Para entender magnitudes: un solo centro de datos **hiperescala** puede demandar entre 20 y 50 megavatios (MW) de potencia continua, y los mayores superan **100 MW**, con gastos anuales que oscilan entre 10-25 millones de euros en electricidad. Esto significa que una gran instalación de CPD puede consumir tanta electricidad como decenas de miles de casas.

En países desarrollados, los CPD típicamente ya representan un porcentaje visible de la demanda eléctrica nacional. Por ejemplo, en Estados Unidos, los data centers consumieron unos **176 TWh en 2023, alrededor del 4.4% de la electricidad total del país.**¹⁴ En algunos países pequeños con alta concentración de centros (ej. Irlanda o Singapur), se estima que los CPD pueden llegar a más del 10% del consumo eléctrico nacional.

Métricas de Eficiencia: El PUE como Indicador Clave

Un concepto relacionado es la **eficiencia en el uso de la energía** en los CPD, a menudo medido por el indicador **PUE (Power Usage Effectiveness)**. Este ratio compara la energía total consumida por el centro de datos con la energía utilizada exclusivamente por el equipamiento TI (servidores, almacenamiento, networking).

$$\text{PUE} = \frac{\text{Total facility power}}{\text{IT equipment energy}}$$

El PUE teórico mínimo es 1.0 [PUE ideal: toda la energía va a los equipos TI (físicamente imposible)], pero en la práctica **siempre es mayor a 1** porque hay sobrecarga de enfriamiento, conversión eléctrica, iluminación, etc. En los últimos años, muchos CPD han mejorado sus PUE a valores cercanos a 1.2 o incluso menos en casos óptimos (frente a 1.5-2.0 típicos de hace una década).

En resumen, el consumo energético actual de los CPD es muy elevado y va en aumento. Esta dependencia energética no solo tiene un impacto económico, sino que también pone en riesgo los objetivos climáticos globales si no se priorizan fuentes renovables y diseños más eficientes.

2.2. Emisiones de CO₂: Una contribución global

Como gran parte de la electricidad a nivel mundial todavía proviene de combustibles fósiles, el consumo energético de los CPD se traduce en **emisiones indirectas de dióxido de carbono** (CO₂) y otros gases de efecto invernadero.

Respecto a esto, se estima que los centros de datos son responsables aproximadamente de entre **1.5% y 3.2% de las emisiones globales de CO₂.**⁶ Esto es comparable a las emisiones de la **industria de la aviación civil mundial**, que es de un ~3.5%.¹⁵

Un análisis de la industria indicaba ya **en 2020** que **~2.2% de las emisiones de CO₂** correspondían a los CPD, cifra que actualmente podría ser ligeramente mayor dado el incremento de consumo.¹⁶

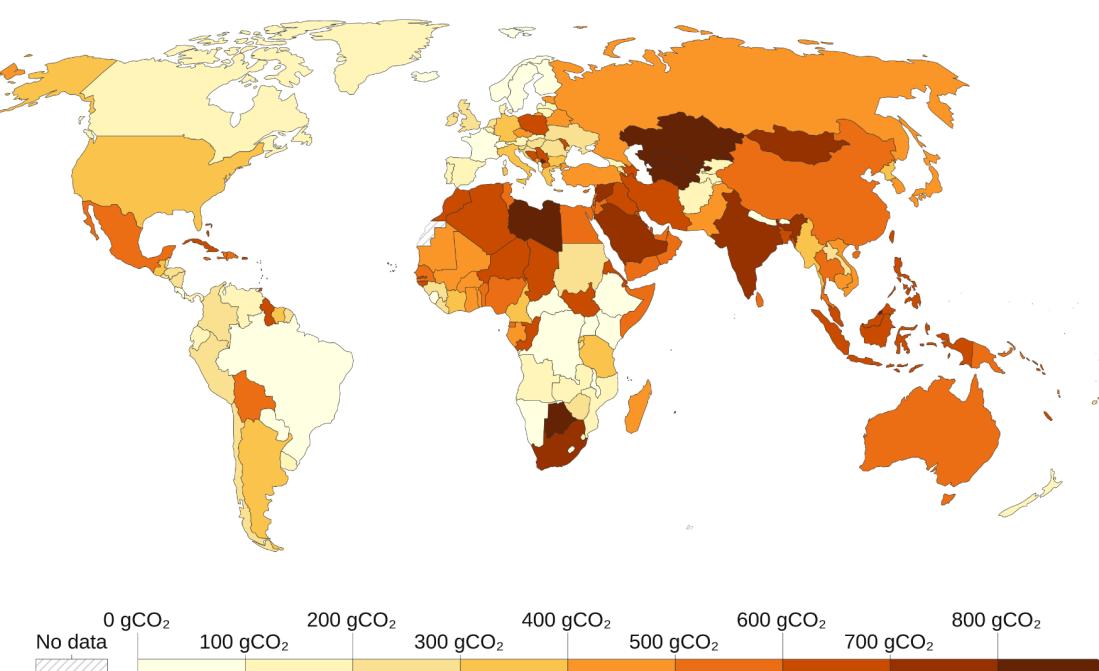
Para visualizarlo mejor, el consumo de **~460 TWh** actual por parte de los CPD, implicaría alrededor de **170.2 millones de toneladas de CO₂**, asumiendo el factor de emisión promedio en EE. UU. de **~0.37 kg CO₂/kWh**.¹⁷

Sin embargo, hay que tener en cuenta que los CPD situados en países con **electricidad más limpia** (ej. países nórdicos con hidroeléctrica) generan **menos emisiones** por kWh consumido, mientras que en **regiones dependientes del carbón** (ej. algunas zonas de Asia) la huella de carbono por kWh es mucho mayor. Es por esto que el impacto de un CPD en CO₂ **depende fuertemente de dónde consume su energía**.

Carbon intensity of electricity generation, 2023

Our World
in Data

Carbon intensity is measured in grams of carbon dioxide-equivalents¹ emitted per kilowatt-hour² of electricity generated.



Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Figura 3: Intensidad de carbono de la generación de electricidad.

Fuente: [Carbon intensity of electricity generation - Our World in Data¹⁸](#)

Ciertas empresas pioneras han intentado reducir este impacto mediante el uso de energías renovables. Por ejemplo, **Google logró compensar el 100% de su consumo anual** con compras de energía renovable desde 2017.⁵

Sin embargo, **no necesariamente están usando electricidad limpia en tiempo real** para alimentar sus centros de datos. En su lugar, están adquiriendo mecanismos financieros o contractuales que les permiten equilibrar su consumo energético (que puede provenir de

fuentes contaminantes) con inversiones en proyectos renovables. Esto se hace mediante dos herramientas principales:

- **Créditos de energía renovable (REC):**

Certificados que acreditan la generación de una cantidad equivalente de energía renovable en otro lugar de la red eléctrica. Estos créditos se compran para "compensar" el uso de energía no renovable del CPD.

- **Contratos de compra de energía renovable (PPA):**

Acuerdos a largo plazo para financiar la construcción de plantas renovables (ej. parques eólicos) que inyectan energía limpia a la red general, aunque no estén conectadas físicamente al centro de datos.

Esto puede causar una situación en la que un CPD dependa de combustibles fósiles, pero, por ejemplo, financie un parque eólico de manera que las reducciones se compensen. Al fin y al cabo, lo único que se garantiza es que, por cada kWh sucio que usan, se añade un kWh renovable a la red global, pero **no cambia la fuente directa de energía del centro de datos**.

Realmente, en la industria de centros de datos apenas un **15% de la energía consumida proviene directamente de fuentes renovables**, mientras que la media del conjunto de la red eléctrica global ronda el 25%.¹⁶

Por esto, **muchos CPD aún están lejos de llegar a las cero emisiones**. Sobre todo, teniendo en cuenta que si excluyéramos a Google, Amazon, Microsoft (que sí invierten fuertemente en renovables), el porcentaje de energía renovable usada en el resto de centros de datos sería significativamente menor.¹⁶

Más allá del CO₂, hay emisiones generadas por los CPD que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente. Estas son causadas por **generadores diésel de respaldo** que muchos CPD emplean en caso de caída de la conexión eléctrica. Estos generadores pueden emitir (además de CO₂) **monóxido de carbono y NOx** (óxidos de nitrógeno), liberando hasta **80 mg/km** de estos últimos, siendo **estos tres gases el 99% de la masa total** del diésel.^{19, 20}

La **construcción** de los CPD tiene una huella de carbono incorporada (acero, hormigón, fabricación de equipos), aunque el grueso del impacto ambiental suele provenir de la fase operativa (energía consumida durante años).

Por otro lado, gracias a mejoras en la eficiencia energética, se ha logrado **controlar el crecimiento del consumo energético** respecto al volumen de cómputo procesado. Un ejemplo citado frecuentemente es que entre 2010 y 2018 aproximadamente, el tráfico de centros de datos global se multiplicó varias veces mientras que el consumo eléctrico total de los CPD **aumentó solo un 6%**, debido a **migraciones** de centros *on-premise* ineficientes, a servicios *cloud* altamente eficientes, aunque esta tendencia se podría desviar a causa de la creciente demanda de la IA.²¹

En conclusión, los CPD producen emisiones de efecto invernadero, comparables a las de otras industrias más tradicionales, y se deben de tratar de reducir mediante el uso de energías renovables, diseño eficiente y nuevas tecnologías.

2.3. Causas de la alta demanda energética

Las **causas de la alta demanda energética** de los CPD se pueden agrupar en varios factores principales que explican el gran consumo eléctrico de estas infraestructuras:

2.3.1. Densidad computacional

La primera razón es la propia **potencia de cómputo concentrada** dentro de un CPD moderno. Los servidores actuales contienen procesadores muy avanzados, con miles de millones de transistores funcionando a altas frecuencias, múltiples núcleos, aceleradores como GPU, etc. Esta **densidad computacional** implica también una **alta densidad de consumo eléctrico** por unidad de área.

Ejemplos y datos clave:²²

- **Evolución histórica:** Hace dos décadas, un rack promedio consumía ~5 kW. Actualmente, la densidad media promedio es de **12.8 kW por rack**, mientras que en instalaciones *hiperescala*, es de **36.1 kW por rack**, con proyecciones de alcanzar **48.7 kW para 2027**.
- **Cargas de trabajo intensivas:** Los racks con GPU diseñadas para IA, como las NVIDIA Blackwell (que requieren **700 - 1200 W por unidad**), o sistemas HPC (*High Performance Computing*), pueden superar **50 - 100 kW por rack**, especialmente cuando se combinan con refrigeración líquida directa al chip 11.
- **Optimización del espacio:** La presión por maximizar la capacidad en áreas limitadas lleva a operadores a saturar racks hasta el límite térmico, incrementando la *power density* (kW/m²). Por ejemplo, centros como los de CyrusOne ya planifican racks de **300 kW** usando tecnologías de inmersión o refrigeración líquida híbrida.

Paradoja de la eficiencia energética

Aunque los procesadores modernos son más eficientes (más operaciones por watt), esto se contrarresta por **tareas más complejas**, como algoritmos de IA, análisis de big data o simulaciones HPC exigen un uso intensivo de recursos, aumentando el consumo base. También por las **altas tasas de utilización**, donde en CPD *cloud*, los servidores operan cerca del 100% de capacidad para optimizar costos, lo que eleva el consumo continuo.

2.3.2. Refrigeración y climatización

El **enfriamiento** de los equipos es el otro gran componente del consumo de un CPD. Toda la potencia eléctrica que consumen los servidores se convierte en calor que hay que extraer del ambiente para mantener los equipos en temperaturas seguras.

Tradicionalmente, los centros de datos han empleado **sistemas raised-floor de climatización por aire acondicionado** industrial, donde se fuerza el aire mediante la distribución de cabinas en **cold y hot aisles**, que fuerzan aire frío a través de los racks y extraen el aire caliente. Este proceso de refrigeración puede **consumir entre un 30% y un 55% de la electricidad total de un centro de datos** en configuraciones convencionales.²³

En otras palabras, por cada 1 kW que va a los servidores, hasta 0.55 kW extras podrían gastarse en enfriarlos.

El sistema de refrigeración convencional consume, en promedio, el **40% del consumo energético total** de un CPD típico.²³

¿Por qué consume tanto enfriar?

- Porque la diferencia entre la temperatura de operación ideal de la electrónica, alrededor de 18 - 27 °C, y la temperatura que alcanzaría sin enfriamiento activo es muy grande.²⁴ Sin aire acondicionado, una sala de servidores se sobrecalearía muy rápido.²¹ Los aires acondicionados requieren compresores, ventiladores potentes y en muchos casos ciclos de enfriamiento que involucran gases refrigerantes y torres de enfriamiento externas. Todo eso gasta energía.
- Muchos CPD se encuentran en lugares donde la temperatura exterior es alta gran parte del año, lo que limita el uso de enfriamiento gratuito y obliga a sistemas de climatización intensiva.
- Además del aire acondicionado, muchos centros usan **free cooling** de los cuales existen dos tipos:²⁵
 - **Free cooling directo o Fresh cooling:** Consiste en la aportación directa de aire frío exterior a través de climatizadores- Utilizan sensores, conductos y reguladores para conseguir la entrada de volúmenes apropiados de aire exterior que satisfacer los requerimientos de enfriamiento del CPD.
 - **Free cooling indirecto o enfriamiento gratuito del fluido:** Consiste en aprovechar las bajas temperaturas de aire exterior para refrigerar el agua.

Este sistema, aunque ahorre algo de electricidad, consume **grandes volúmenes de agua**.

Cabe notar que en los CPD punteros, la refrigeración se ha optimizado al punto que **la mitad o más de la energía total va a TI en lugar de cooling** (más información en la sección 2.4), pero en centros tradicionales o más pequeños a menudo el **cooling puede igualar o superar al consumo TI** (PUE ~2.0).

En resumen, la necesidad de **mantener frescos** a miles de dispositivos funcionando sin parar supone gran parte del alto consumo de los CPD.

2.3.3. Redundancia y sistemas de respaldo

Los centros de datos están diseñados para ser fiables, lo que implica tener **redundancia** en prácticamente todos sus subsistemas.

a) Coste de la Fiabilidad:

La exigencia de alta disponibilidad (*uptime*, evitar caídas) añade cargas adicionales (sistemas redundantes) que también incrementan el consumo energético total. **Esto tiene un coste energético directo.**

b) Consumo en Espera:

Por ejemplo, muchos CPD mantienen equipos eléctricos redundantes: dos unidades de alimentación (UPS) donde una suele estar en espera o compartiendo carga; líneas eléctricas duplicadas (A/B) para cada rack, etc.

En algunos casos, se mantienen **servidores de respaldo activos** para entrar en acción si falla un servidor principal (clústeres con tolerancia a fallos). Todo hardware redundante consume energía aunque esté en espera (por pérdidas en inversores, UPS, fuentes de poder, etc., y porque a veces no están completamente *apagados* sino en estado de baja utilización).

Asimismo, la gestión de picos y fallos momentáneos requiere sistemas como **bancos de baterías** o **volantes de inercia** en línea, que si bien su consumo directo es pequeño, representan ineficiencias (las UPS tienen pérdidas de conversión del orden de 5-10% de la energía).

c) Pruebas y Mantenimiento

Las pruebas periódicas de sistemas de soporte, como por ejemplo los **generadores de respaldo**, se prueban periódicamente y también **consumiendo recursos (combustible)**, añadiendo coste operacional. Incluso la iluminación permanente de salas y pasillos de un CPD 24/7 suma una pequeña fracción.

d) Replicación de Datos

En cuanto a redundancia de datos, muchos centros duplican información entre sitios (replicación, espejos en diferentes CPD para recuperación ante desastres). Aunque esto escapa al consumo de un único CPD, a nivel global significa que se están almacenando **múltiples copias de datos en diferentes centros** (lo que implica más discos girando, más servidores dedicados a backup, etc.).

Por razones de seguridad y resiliencia, esta duplicación es necesaria, pero **multiplica globalmente la energía necesaria para el almacenamiento (aumentando la huella energética)**.

En suma, la filosofía de "*nada puede fallar*" en un centro de datos crítico conlleva un coste energético: sistemas redundantes que **duplican consumo en cierta medida**, y equipos corriendo en paralelo o en estado de espera activa, listos para asumir carga.

El desafío es lograr esa resiliencia con el **mínimo impacto**.

Esto se puede lograr, por ejemplo, usando arquitecturas activas-pasivas donde el equipo pasivo realmente consuma muy poco hasta ser requerido, o aprovechando la redundancia para balancear carga normalmente.

En la práctica, la redundancia añade sobrecarga y es otro factor de la alta demanda.

2.3.4. Expansión del tránsito de datos

Por último, pero no menos importante, está la **expansión exponencial e imparable del tráfico de datos (generados, procesados y transmitidos) y la demanda de servicios digitales**, siendo el motor principal del coste que fuerza a disponer cada vez de más infraestructuras funcionando.

$$\text{MÁS DEMANDA} = \text{MÁS MAQUINARIA} = \text{MÁS ENERGÍA}$$

El gran volumen de datos que atraviesa los centros de datos se ha multiplicado en la última década, proveniente de:

- Más usuarios de Internet (actualmente ~5 mil millones de personas conectadas),
- Más dispositivos (IoT sumando decenas de miles de millones de sensores)
- Aplicaciones mucho más intensivas en datos (video streaming en 4K, realidad virtual, respaldo de grandes volúmenes, etc.)

Obliga a **desplegar más servidores, más sistemas de almacenamiento y más equipos de red**, la cual se traduce directamente en **mayor consumo energético absoluto**.

Cada vez que consumimos un vídeo, realizamos una búsqueda, o enviamos un mensaje, hay servidores en CPD procesando esas solicitudes. La **economía del dato** implica que las empresas almacenan todo lo que pueden y lo analizan, aumentando la necesidad de servidores de almacenamiento y de cálculo.

Escala Masiva

Un informe de IDC pronostica que el conjunto de datos globales (la "datasfera") crecerá de 33 Zettabytes en 2018 a **175 Zettabytes en 2025**, lo cual dimuestra la magnitud del crecimiento. Para manejar ese torrente de información, la única opción ha sido desplegar más centros de datos y más equipos en cada uno.⁴

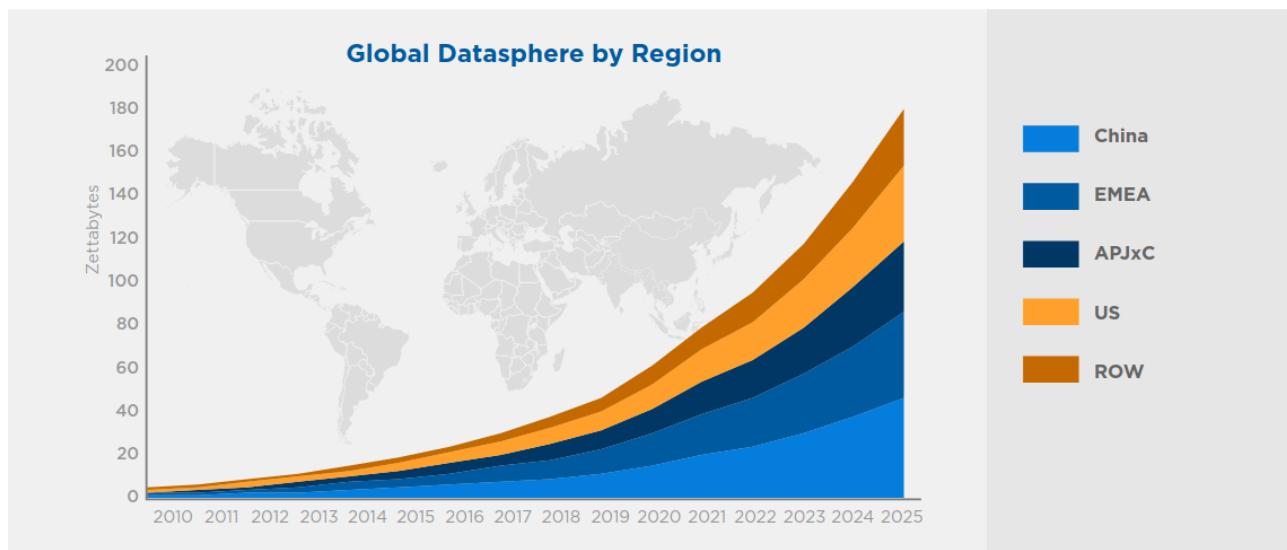


Figura 4: Predicción de magnitud de datos (ZB). Fuente: [IDC's Data Age 2025²⁶](#)

Redes más rápidas

En paralelo, la **velocidad de las conexiones** de red ha subido (ej. adopción de 5G, fibra óptica al hogar), lo que facilita consumir contenidos de mayor calidad y más rápidamente, removiendo cuellos de botella y alimentando el uso, **incrementando la carga de trabajo y la demanda energética sobre los CPD**.

Esta mejora en conectividad conlleva que los CPD tengan que servir más datos por segundo y responder a más operaciones por segundo. Por ejemplo, el auge de plataformas como Netflix, YouTube, TikTok (videos de alta resolución) implicó que proveedores de contenidos instalen miles de servidores de *caché* por el mundo, y que en los CPD centrales se almacenen y procesen petabytes de vídeo.

Demanda de servicios

Otro aspecto es la **globalización de servicios**: antes, un solo CPD local servía a usuarios locales. Ahora, servicios globales tienen CPD distribuidos y balanceo de carga global, manteniendo centros activos en varias regiones para dar cobertura mundial, lo que incrementa el número total de CPD en funcionamiento simultáneo (y, por tanto, el consumo agregado).

- El crecimiento global de la demanda de servicios digitales es tan grande que a menudo **superan las ganancias de eficiencia**, resultando en un aumento del consumo energético total.

Resumiendo, el **aumento inexorable del tráfico y procesamiento de datos** es una causa raíz que impulsa a la industria a desplegar más capacidad, lo que a su vez aumenta la energía consumida.

Aunque por unidad de bit transmitido o almacenado se ha logrado ser más eficiente año a año, la **demandada total crece más rápido que la eficiencia**, resultando en mayor consumo absoluto (un fenómeno conocido como **paradoja de Jevons**, donde mejoras de eficiencia fomentan aún más uso).

2.4. Datos estadísticos clave

Para comprender mejor la magnitud del fenómeno, recopilamos a continuación **algunos datos estadísticos clave** relacionados con el consumo de recursos de los CPD:

- **Consumo energético global de CPD:** Alrededor de **460 TWh en 2022**, lo que representa **1.8 - 2%** de la electricidad mundial.⁶ Se espera un posible aumento al doble (~**920 TWh** para 2026) debido al auge de la IA y la continua digitalización.⁶ En términos comparativos, 460 TWh es más del triple de toda la energía que consume España en un año (133,786,868 TWh).²⁷
- **Porcentaje de emisiones de carbono:** Los CPD serían responsables de **2.2%** de las emisiones globales de CO₂, según estimaciones recientes.¹⁶ Esto es parecido a las emisiones de todo el sector de la aviación comercial. El sector TIC en general (incluyendo CPD, redes, dispositivos) se estima entre **1.5% y 3.2%** de las emisiones.⁶

- **Uso de energías renovables:** Aproximadamente solo **15%** de la energía que consumen los CPD proviene de **fuentes renovables** actualmente, en comparación con ~25% de penetración renovable en la red eléctrica global.¹⁶ Los grandes proveedores de nube suelen contratar renovables equivalentes al 100% de su consumo anual, y por ello no refleja necesariamente el **uso de electricidad limpia en tiempo real**.
- **Intensidad de uso de agua (WUE):** Un indicador importante es el **Water Usage Effectiveness (WUE)**. Un CPD corporativo típico (*on-premises*) puede tener un WUE medio de **~1.8 litros de agua por kWh** consumido, mientras que los centros de datos profesionales de última generación bajan a **~0.4 L/kWh** gracias a mejores sistemas (el CPD MAD4 de Digital Realty logra 0.3 L/kWh).²⁸ Esto significa que un CPD convencional **puede usar casi 2 litros de agua por cada kWh que queman sus equipos**, mayormente en sus torres de enfriamiento evaporativas. La consumición de agua de los CPD se puede ilustrar con la siguiente tabla:²⁹

Consumo de agua	<i>Hiperescala*</i>	Venta al por mayor y al por menor*
<i>Por día</i>	2.1 millones de litros	68000 litros
<i>Por año</i>	760 millones de litros	24.9 millones de litros

Consumo de una sola instalación CPD

- **PUE medio de la industria:** El indicador de eficiencia PUE ha mejorado de ~2.0 - 2.5 en la década de los 2000 a valores medios de **~1.56** en 2024, según encuestas del *Uptime Institute*, como se puede observar en la siguiente figura:³⁰

Industry average PUE holds steady

What is the average annual PUE for the largest data center your organization owns / operates?
(n=526)

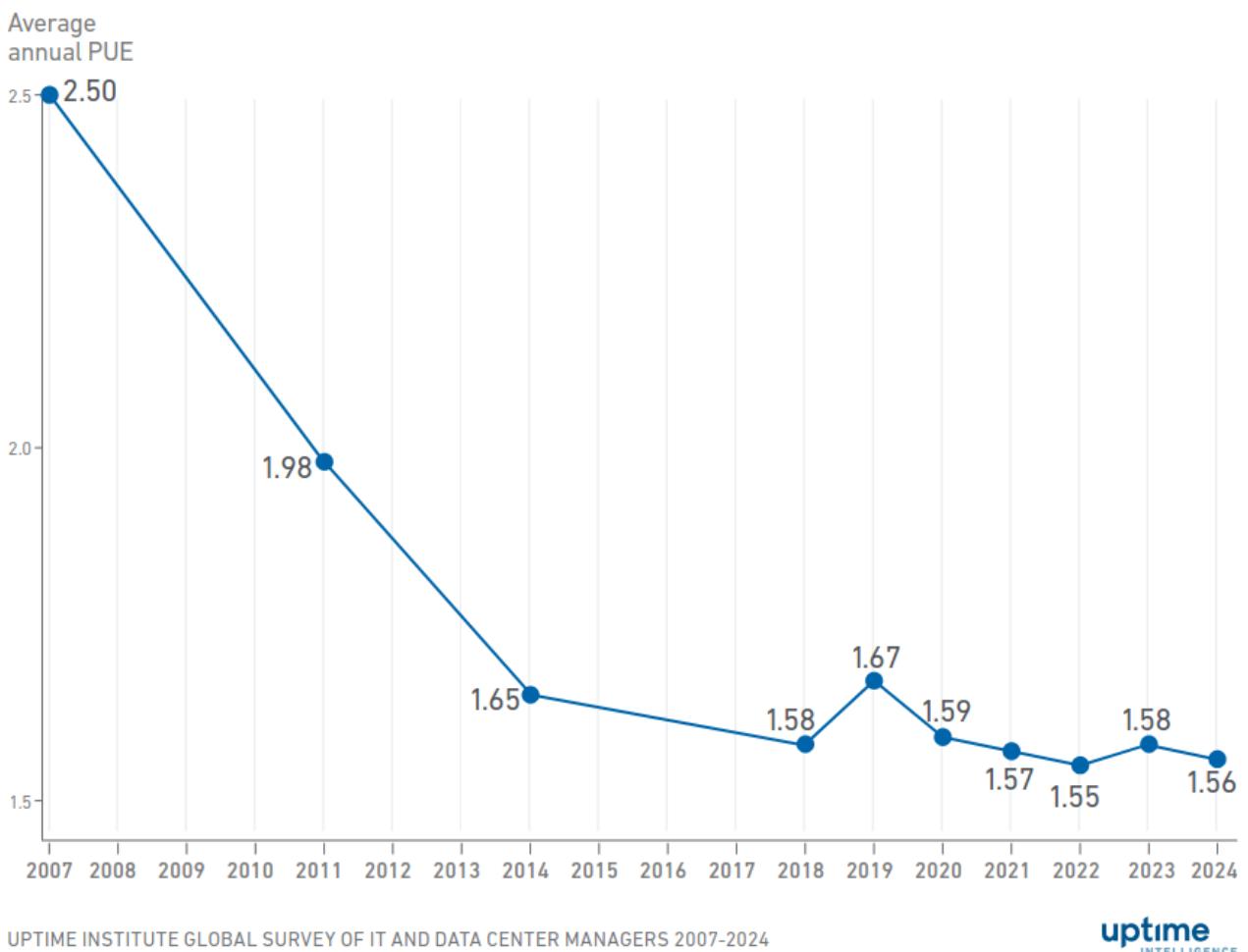


Figura 5: What is the average annual PUE for the largest data center your organization owns / operates?.

Fuente: [Uptime Institute Global Data Center Survey 2024](#)³⁰

- Encuestas del año 2023 muestran que los CPD con instalaciones más grandes son todavía más eficientes, alcanzando incluso un **PUE de 1.44**.³¹ Esto se debe a que tienden a usar equipamiento más moderno, con refrigeración y controles mejorados, como se muestra en la figura siguiente:

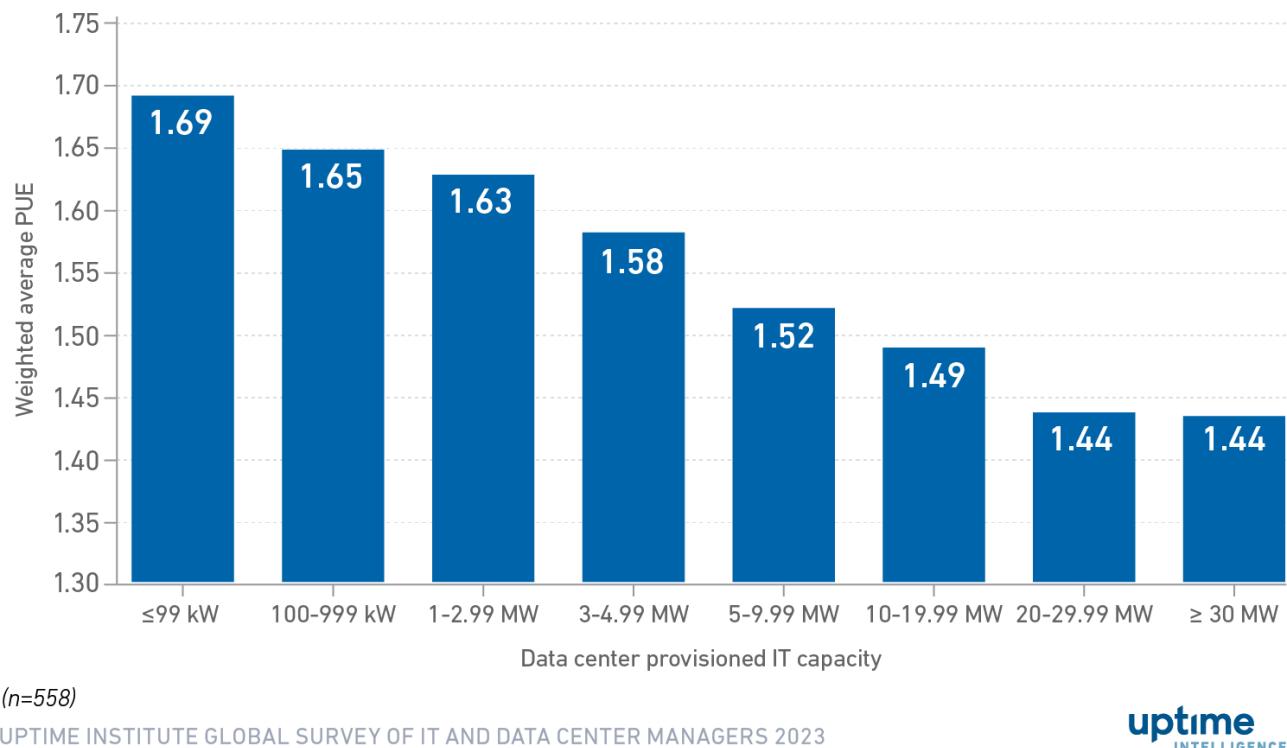


Figura 6: Weighted average PUE by data center IT capacity.

Fuente: [Large data centers are mostly more efficient, analysis confirms³¹](#)

- Cabe tener en cuenta, respecto a las instalaciones más pequeñas, que la probabilidad de que la modernización no suele generar un retorno de la inversión a partir del ahorro energético.
- Encuestas de 2024, indican que los nuevos diseños de CPD, optimizan el PUE a valores de ~1.3 de manera consistente, y a veces lo mejoran incluso más.³⁰
- **Capacidad instalada:** La potencia total instalada en centros de datos a nivel mundial en 2023 superó los **20 gigavatios (GW)** de carga TI activa (sumando *hiperescala*, colocation y enterprise), con varios GW adicionales en construcción. Tan solo los mayores proveedores de nube cuentan con más de 300 centros de datos mayores a 10 MW cada uno distribuidos globalmente.

Estos datos ponen en perspectiva el fenómeno: los CPD son grandes consumidores de electricidad y agua, con una huella climática relevante. Sin embargo, también hay indicadores de mejora (PUE, uso renovables en aumento en líderes) y diferencias según prácticas (un CPD moderno puede ser sustancialmente más eficiente que uno obsoleto, tanto en energía como en agua). Los números también evidencian **paradojas**, como que acciones digitales triviales, multiplicadas por miles de millones, resultan en impactos acumulados enormes (ej. trillones de interacciones en redes sociales sumando miles de toneladas de CO₂). En la siguiente sección profundizaremos en algunas de esas consecuencias ambientales más allá de la energía y el CO₂.

2.5. Consecuencias ambientales adicionales

Además del consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero, la proliferación de centros de datos conlleva otras **consecuencias ambientales** que merecen atención. Entre las principales podemos destacar: el impacto en el entorno local (posible **calentamiento urbano** o generación de calor residual), la contribución a los **residuos electrónicos (e-waste)** y efectos indirectos sobre recursos naturales y biodiversidad por la fabricación y desecho de equipos.

Calentamiento urbano y ruido

Un CPD en operación **genera calor** que usualmente se disipa al aire exterior (mediante condensadores en la azotea, torres de enfriamiento que expulsan aire cálido y húmedo, etc.). En conglomerados urbanos, un gran centro de datos puede contribuir al fenómeno de **isla de calor urbana** a escala muy local, liberando megavatios de calor. Aunque comparado con el calor emitido por el asfalto o el tráfico puede ser menor, no es despreciable. Por eso, a veces se ubican en polígonos industriales o zonas apartadas.

El ruido es otra externalidad: los enfriadores y ventiladores industriales pueden ser muy ruidosos, afectando a comunidades cercanas si no se controlan (ha habido casos de protesta vecinal por zumbido constante de CPD). Estas cuestiones son más de ordenamiento local, pero cuentan como impacto ambiental en términos de calidad de vida humana y fauna local (el ruido continuo puede ahuyentar aves, por ejemplo).

Residuos electrónicos (e-waste):

La industria de centros de datos también aporta al creciente problema de los **residuos electrónicos**. Los servidores, switches, unidades de almacenamiento y otros equipos tienen una vida útil limitada (típicamente 3 - 5 años en ambientes de producción antes de ser reemplazados por nuevos más potentes o eficientes). Esto significa que constantemente se **retiran equipos obsoletos**. Si no se gestionan adecuadamente, estos terminan en flujos de desechos, que a menudo van a parar a rellenos sanitarios o, peor, a vertederos informales en países en desarrollo, donde liberan sustancias tóxicas (metales pesados, retardantes de flama) al ambiente. En 2022 se generaron **62 millones de toneladas** de residuos electrónicos a nivel mundial (sumando todo tipo de dispositivos, no solo de CPD), y la cifra crece cada año. Los centros de datos aportan a ello con miles de toneladas de chatarra electrónica anuales (placas de servidores, discos duros, módulos de memoria, etc.).³²

Un aspecto preocupante es el auge de ciertos servicios que aceleran el recambio de hardware: por ejemplo, la **inteligencia artificial generativa**. Un estudio en *Nature Computational Science*, predice que solo el entrenamiento de modelos de IA generativa podría generar **12.2 - 5 millones de toneladas desde 2023 a 2030**, debido al ritmo acelerado de renovación de *hardware* que están adoptando las grandes tecnológicas en este campo.³³ Ya en 2023, se calculaba que las IA produjeron unas **2600 toneladas de residuos electrónicos** por la sustitución de servidores y GPU para aumentar capacidad.³³

Aunque muchas empresas tengan programas de reciclaje (reventa de hardware usado, recuperación de metales preciosos, etc.), solo se documentó como recogido y reciclado un **22.3% del e-waste global.**³²

Esto supone una pérdida de materiales valiosos (cobre, oro, aluminio en los equipos) y una carga contaminante. Algunos componentes terminan en países en desarrollo, en vertederos de basura electrónica, afectando ecosistemas y salud pública.

Impacto en recursos y biodiversidad

La construcción y mantenimiento de CPD también implica impacto *upstream* en la cadena de suministro. La producción de los millones de servidores y equipos de un *hiperescalada* requiere **minerales** (como litio, cobalto para baterías; tierras raras para componentes electrónicos; sílice para chips; acero, hormigón para la estructura del CPD).

La extracción de estos materiales conlleva degradación ambiental en minas, alto consumo de agua y energía, y en ocasiones violaciones de derechos humanos. Un informe de 2024 menciona que la demanda de **minerales críticos** como grafito, litio y cobalto crecerá 500% en 25 años en parte por las tecnologías digitales.⁶

Asimismo, los grandes terrenos necesarios para construir los CPD, pueden implicar cambios de uso de suelo y en algunos casos se han talado bosques o afectado ecosistemas para su construcción.

Un aspecto positivo es que, a diferencia de otras industrias, los CPD no generan vertidos químicos ni emisiones directas contaminantes (salvo el CO₂ indirecto energético). Su impacto es sobre todo por **consumo de recursos**. Por eso, muchas mitigaciones se centran en la **economía circular**: reutilizar servidores viejos, reciclar componentes, usar energía verde, etc., para minimizar la extracción adicional y residuos.³⁴

En conclusión, los CPD impactan el ambiente en múltiples dimensiones: climática (CO₂), hídrica, desechos, ruido y calor. Esto refuerza la necesidad de enfocar la expansión digital con criterios de sostenibilidad amplia, abarcando no solo la eficiencia energética, sino también la **eficiencia en uso de agua y materiales**, y la correcta gestión de residuos.

3. Costes de operación

Operar un centro de datos no solo conlleva desafíos técnicos y ambientales, sino también un costo económico muy elevado. Los **costes de operación (OPEX)** de un CPD incluyen diversos gastos: desde la factura eléctrica hasta el personal, pasando por mantenimiento, licencias de software y más.

Estos costes operativos son precisamente los que sostienen el funcionamiento diario de los servicios que hemos estado mencionando, como por ejemplo las redes sociales. Es fundamental entender que **el impacto económico de la OPEX está directamente relacionado con el impacto ambiental**.

En esta sección desglosamos los principales componentes de costo en la operación de los CPD, compararemos cómo varían en distintas geografías y revisaremos estrategias empleadas para reducir dichos costes sin sacrificar rendimiento ni disponibilidad.

3.1. Costes energéticos

El **coste de la energía eléctrica** es, por lo general, el **componente más significativo del OPEX** en el presupuesto operativo de un CPD. Diversas fuentes indican que la electricidad puede suponer entre **30% y 60%** (o incluso más) del costo operativo de un CPD, e incluso se ha citado que puede llegar a representar **60-70% del total** en algunos casos.^{35, 36}

Esto tiene sentido considerando que un CPD grande consume decenas de megavatios continuamente: multiplicando la potencia por las horas del año y por el precio por kWh, obtenemos cifras astronómicas:

- Por ejemplo, un centro de 10 MW funcionando a plena carga todo el año consumiría ~87600 MWh en un año. Si el precio de la electricidad es, digamos 0.10 € por kWh (100 € por MWh, un valor moderado), el coste anual sería 8.76 millones de euros solo en energía.

Muchos centros de datos operan con contratos especiales de suministro (a largo plazo, a precio negociado) porque son clientes mayoristas de las eléctricas. En mercados competitivos, un objetivo típico es lograr tarifas inferiores a **0,05 \$/kWh** para ser rentable, e incluso hay operaciones asegurando menos de **0,04 \$/kWh** en regiones con excedentes.³⁶

Aun así, cualquier variación en el coste de la energía impacta fuertemente la cuenta de resultados de un CPD. Por ejemplo, la crisis energética en Europa en 2022, con precios disparados (alcanzando máximos de 0,30-0,40 €/kWh), puso en aprietos a algunos data centers europeos cuyos costes se triplicaron respecto al año anterior.³⁷

Los **costes energéticos** incluyen tanto la energía consumida por los equipos TI como la de los sistemas auxiliares (refrigeración principalmente). Aunque mejorar el PUE no reduce la factura total (ya que igual esa energía la pagas, sea que la use un servidor o un ventilador), sí **aumenta la fracción de energía útil**.

Algunas métricas interesantes:

- según la Cámara de Comercio de EE. UU., un data center típico gasta ~40% de su presupuesto de operación en energía eléctrica, lo que promedia unos 7.4 millones de dólares al año (dato de centros medianos en EE. UU.).¹⁴

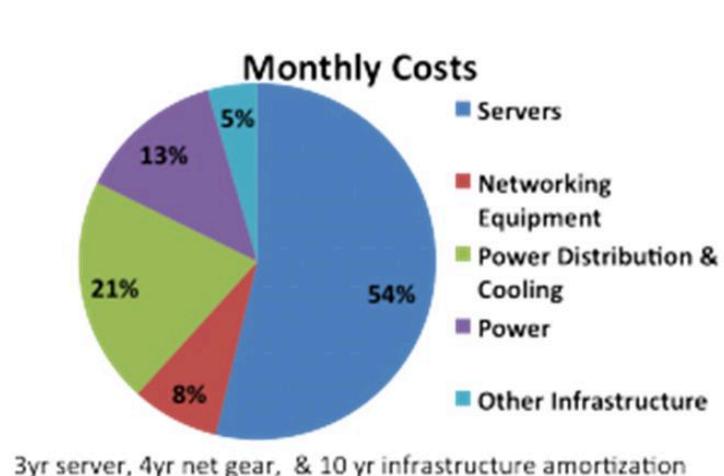
En cualquier caso, la electricidad es un costo ineludible: un CPD debe alimentarse 24/7 con suficiente potencia. Los operadores buscan constantemente reducir este costo de varias maneras: ubicándose en lugares con electricidad más barata (ver sección 3.6), comprando directamente a generadores (PPA de renovables, por ejemplo, para asegurar precio fijo bajo a largo plazo), optimizando el uso (apagar o ralentizar servidores o iluminación en horas de poco trabajo), e incluso **generando in-situ** parte de la energía (instalando paneles solares en techos, aunque generalmente eso cubre solo una fracción).

Un concepto emergente es la **flexibilidad de demanda**: algunos CPD colaboran con la red reduciendo carga en momentos de punta (si pueden trasladar cargas no críticas) a cambio de incentivos. Pero en servicios en tiempo real esto es limitado.

En resumen, el coste energético es el factor dominante para muchas de las decisiones de negocio de los CPD: dónde ubicarte, cuánta capacidad instalar, cómo enfriar más eficientemente, etc. Un CPD con mala eficiencia energética no solo impacta el ambiente, sino que tendrá **costes operativos mucho mayores**, restándole competitividad.

3.2. Refrigeración y climatización

Un concepto relacionado al punto anterior, pero con sus propias consideraciones, es el **costo de refrigeración**, puesto que constituye otra porción importante del OPEX de un CPD.



Aquí se comprenden los gastos en electricidad para los sistemas de climatización, pero también otros costos: torres de enfriamiento, ventiladores, agua utilizada, etc.

Figura 7: Diagrama de porcentaje de costes mensuales de un CPD

Fuente: Blog ClimAtec

En centros de datos grandes, a veces se instalan **sistemas HVAC** (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) redundantes, lo que incrementa el costo de capital y de mantenimiento. **Son el segundo consumidor de energía más grande** dentro de un CPD, después de los propios equipos IT.

Además, la complejidad de las instalaciones de enfriamiento requiere personal técnico especializado y monitoreo constante, que son costes asociados.

Un fallo en el aire acondicionado puede provocar desde un susto (temperaturas suben y se debe cortar carga) hasta un desastre (sobrecalentamiento de equipos). Por eso, *no se escatima* en sistemas de climatización, pero todo ello suma costo.

Como podemos ver en la anterior figura, podemos estimar que la refrigeración (energía + mantenimiento) suele rondar entre el **15% y 30%** de los costes operativos totales de un centro de datos, dependiendo de la eficiencia de la instalación y del clima local.

Impacto en el Diseño y el Clima

En ubicaciones con climas fríos, los costes de enfriamiento se reducen (pudiendo usar "free cooling" (usar aire exterior frío) buena parte del año, ahorrando electricidad y agua), mientras que en climas cálidos y húmedos son mucho mayores (sistemas trabajando todo el año y sin posibilidad de enfriamiento pasivo).

El **uso de agua** también puede representar un coste significativo donde se paga por el suministro de agua municipal. Por ejemplo, un CPD con torres evaporativas que consume decenas de miles de litros al día tendrá una factura de agua considerable, además de la consideración ambiental. Algunas jurisdicciones empiezan a aplicar tarifas caras respecto al uso industrial intensivo del agua, agregando presión financiera en este rubro.

Mantenimiento de la Refrigeración

Los sistemas como *chillers* tienen ciclos de vida: necesitan limpieza de condensadores, recarga de gases refrigerantes, tratamiento anti-legionela (bacterias que proliferan en agua con temperaturas de 20 a 45 °C) en las torres de enfriamiento ([Managing Installations in Data Centers : the Hidden Risk of Legionella - Diamidex](#)), etc.³⁸

Todos estos son **costos de operación continua** (contratos con empresas de mantenimiento, productos químicos, recambios de piezas).

En años recientes, ciertos CPD experimentales han reducido drásticamente estos costes adoptando enfoques novedosos.

Por ejemplo, los centros de datos **submarinos** (como el proyecto Natick de Microsoft) aprovecharon el agua del mar para enfriar directamente sin coste de energía por enfriamiento, o CPD en lugares árticos que casi no requieren sistemas activos. Sin embargo, la gran mayoría de estos operan en entornos convencionales y tiene que asumir este gasto.³⁹

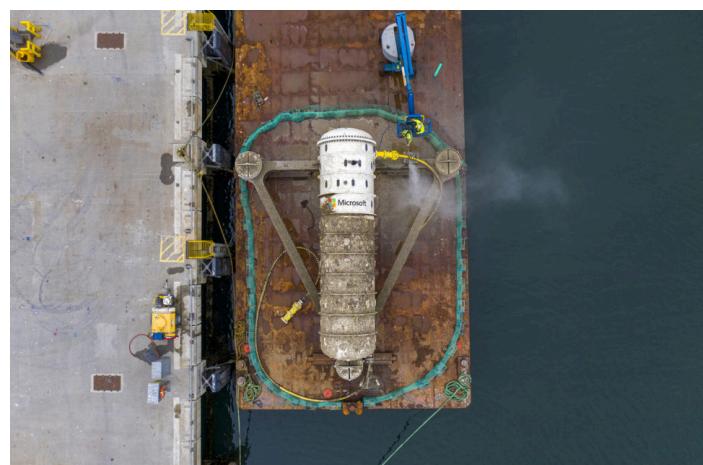


Figura 8: Proyecto Natick Microsoft

Fuente: Microsoft EMEA

Por tanto, los costes de refrigeración son el segundo gran mordisco al presupuesto después de la energía de TI. Invertir en **eficiencia térmica** (mejorar aislamiento, contención de aire, mantenimiento proactivo) suele verse recompensado con ahorros directos en factura eléctrica y prolongación de vida de equipos, así como menores riesgos.

Empresas especializadas ofrecen auditorías térmicas para optimizar la distribución de aire y así **ahorrar hasta un 20% en costos de enfriamiento** en CPD existentes. En un centro muy grande, eso son ahorros de cientos de miles de euros al año.

En conclusión, mantener un CPD “fresco” es caro, y cualquier innovación que reduzca el coste de climatización (sea por diseño, tecnología o ubicación) mejora significativamente la estructura de costos de la operación de centros de datos.

3.3. Mantenimiento y actualizaciones de hardware

Un centro de datos requiere una atención continua en términos de **mantenimiento preventivo y correctivo** de sus sistemas. La maquinaria (servidores, discos, switches, etc.) tiene una vida útil limitada y está sujeta a fallos.

Bajo este apartado se engloban los costos OPEX asociados a mantener funcionando toda la infraestructura física y de TI: recambios de componentes averiados, contratos de soporte, actualizaciones periódicas de hardware obsoleto, etc.

Contratos de Mantenimiento

Por el lado de la **infraestructura (facilities)**, implica mantener en buen estado los:

- **Sistemas Eléctricos:** revisiones de UPS y baterías, pruebas de generadores diésel – incluyendo combustible para pruebas, calibración de sistemas de distribución eléctrica.
- **Sistemas de Seguridad:** sensores de incendio, CCTV, controles biométricos.
- **Sistemas de Climatización:** Cambio de filtros, limpiar intercambiadores, bombas, motores.

Todas estas tareas suelen realizarse mediante **contratos de mantenimiento** con proveedores especializados que hacen visitas programadas al sitio. Los costos se pueden calcular como un porcentaje del valor del equipamiento: por ejemplo, mantener un UPS y baterías puede costar X euros anuales en inspecciones y reemplazar las baterías cada ciertos años; mantener un generador incluye cambiar aceite, filtros y pruebas bajo carga que consumen combustible.

Además, los **componentes de TI** (servidores, storage, redes) también requieren mantenimiento. Las grandes organizaciones firman **contratos de soporte con fabricantes (SLA)** que aseguran reemplazos rápidos (en un tiempo determinado por el contrato) de piezas en caso de fallo (por ejemplo, tener garantizado un disco de repuesto en 4 horas si uno se rompe). Estos seguros de soporte tienen un costo anual que suele ser un porcentaje del precio del equipo (~10-15% del CAPEX por año).

Alternativamente, algunas empresas compran repuestos y manejan ellas mismas el stock para cambios, lo que implica inversión en piezas y personal capacitado (coste de piezas de recambio + mano de obra).

Hardware Refresh

Las **actualizaciones de hardware** representan otra faceta: típicamente cada cierto ciclo (3-5 años) se planea una **renovación tecnológica**. Por ejemplo, sustituir servidores antiguos por nuevos más eficientes (lo que reduce consumo energético unitario, pero también responde a mayor demanda de rendimiento).

Esto ya es CAPEX (gasto de capital), pero como ocurre de forma periódica y necesaria, a veces se considera dentro de los costos de operación a largo plazo. Las empresas grandes suelen amortizar los servidores en 3 años, por lo que cada 3 años invierten en nuevos (se puede ver como un costo anualizado de renovación).

El costo de actualizar puede ser parcialmente compensado vendiendo el hardware usado (mercado de segunda mano) o recicrándolo con valor (algunos componentes se recuperan).

Por tanto, la gestión del **e-waste** (residuos electrónicos) generado es un coste creciente.

No hay que olvidar el mantenimiento de **software de base** de los equipos, ya que sin actualizaciones de firmware o parches, el hardware puede quedar inutilizable por fallos o vulnerabilidades; si bien esto es más mano de obra que costo monetario directo, a veces implica comprar licencias de software de gestión, etc.

En resumen, mantener un CPD es como mantener un edificio + una flota de equipos de alta tecnología. Un descuido puede resultar en averías costosas o caídas de servicio. Por eso, en los presupuestos se destina una cantidad importante a estos contratos de mantenimiento y a la reposición de equipos averiados (por ejemplo, se calcula una tasa de fallo anual de cierto porcentaje de discos duros, fuentes de poder, etc., y se pre adquiere ese porcentaje como repuestos).

Algunas métricas indican que el **mantenimiento (facilities + TI)** pueden suponer en torno al **10-15% del OPEX** anual de un centro de datos, aunque varían. En CPD pequeños puede ser menor proporción en comparación a la energía, pero en CPD *hiperescala* (con energía barata), el mantenimiento humano y material puede pesar más.

Una tendencia para controlar costos es **outsourcing**: muchas empresas prefieren alojar su equipo mediante servicios *collocation* o *cloud* y transfieren parte de estos costes de mantenimiento al proveedor (que por escala puede optimizarlos mejor). Sin embargo, para quien opera el CPD, es un costo real que debe gestionar eficientemente.

3.4. Personal y gestión

Aunque los centros de datos tienden a la automatización, siguen necesitando **personas** para funcionar correctamente. Los **costes de personal** incluyen los salarios y beneficios del equipo técnico que opera la instalación, así como de los administradores y gestores asociados.

En un CPD empresarial típico, se requiere personal en varias áreas:

- **Técnicos de operaciones de data center:** Responsables de tareas físicas como recableado, cambios de servidores y monitoreo in situ.
- **Ingenieros de infraestructura:** Gestionan sistemas eléctricos, climatización y parámetros ambientales para garantizar la operatividad.
- **Administradores de sistemas y redes:** Manejan la capa lógica, incluyendo servidores, almacenamiento y seguridad de la información.

Dependiendo del tamaño del CPD, puede haber turnos 24/7 con personal presencial o guardias remotas que intervienen solo cuando es necesario. Además, se requieren roles de soporte como:

- **Seguridad física:** Guardias contratados, a menudo subcontratados a empresas especializadas, para controlar accesos.
- **Limpieza especializada:** Personal dedicado a mantener un entorno libre de polvo, crucial para el hardware.
- **Gestión y administración:** Gerentes de centros de datos y personal administrativo que coordinan inventarios, compras y proveedores.

Los costos laborales varían significativamente según la región. En países como EE. UU. o Europa occidental, un ingeniero de data center puede tener un salario elevado, mientras que en regiones como Europa del Este o Asia los costos son menores. Grandes operadores eligen ubicaciones considerando la disponibilidad y el costo de mano de obra calificada.

Un modelo académico desarrollado por Patel y Shah permite calcular los costos de personal en función del número de racks activos. La fórmula es:⁴⁰

$$\text{Coste personal por rack} = S_{\text{prom}} \times M_{\text{total}}$$

Donde:

- S_{prom} es el coste promedio mensual del personal, incluyendo beneficios
- M_{total} es la relación entre el personal total y el número de racks (e.g., 0.05, equivalente a una persona por cada 20 racks).
- Por ejemplo, con $S_{\text{prom}} = \$10,000$ y $M_{\text{total}} = 0.05$, el coste por rack es de \$500 al mes.

En conjunto, el costo de personal puede no ser tan elevado como la energía en CPD muy grandes (donde pocos operadores manejan miles de servidores), pero sigue siendo significativo. Se puede estimar que representa entre **10% y 20%** de los costos operativos en muchos casos.

Por ejemplo, un CPD mediano que requiera 10 empleados full-time para su operación (en turnos y diferentes roles) fácilmente incurre en, digamos, 500 mil a 1M de euros anuales en costes laborales (dependiendo de salarios locales).

En *collocation* y *cloud*, la eficiencia de personal es mayor (pocos admins manejan enormes granjas gracias a la estandarización), con ratios de servidores por técnico muy altos; pero en CPD empresariales privados a veces hay personal que solo gestiona unos racks.

También entra la **capacitación** continua del personal, un costo a veces ignorado pero necesario debido a la rápida evolución tecnológica y a procedimientos de seguridad.

La **gestión** incluye asegurarse de cumplir normativas (por ejemplo, revisiones eléctricas legales, cumplimiento de estándares de certificación, relaciones con autoridades locales). Puede implicar costos en trámites o consultorías.

Por otro lado, la tendencia a la **automatización** ha reducido la necesidad de personal en ciertas tareas, pero sigue requiriendo inversión en el *software* y personal cualificado para gestionar estas herramientas (por ejemplo, monitorización ambiental y de sistemas se hace con software, alertando solo cuando hay problemas).

En algunos CPD avanzados, apenas hay personal permanente, se opera casi en remoto y solo van técnicos cuando hay que cambiar hardware. Esto baja costes de personal, pero incrementa la dependencia en software y soporte externo.

En definitiva, si bien un centro de datos no tiene tantos trabajadores como una fábrica, requiere **especialistas bien capacitados y pagados** para mantenerse, y su costo acumulado es relevante a largo plazo. Muchos operadores buscan localizaciones donde puedan encontrar talento pero a un coste razonable, equilibrando estos factores.

Aspecto	Detalles
Roles principales	Técnicos, ingenieros, administradores, seguridad, limpieza, gestión
Costo por rack (ejemplo)	\$500/mes (1 persona por 20 racks, \$10,000 salario promedio)
Porcentaje de costos operativos	10-20% (estimación)
Impacto de automatización	Reduce personal, pero requiere software y personal cualificado
Variación regional	Altos en EE. UU./Europa occidental, menores en Europa del Este/Asia

En conclusión, los costos de personal y gestión en los centros de datos son un factor crítico que combina la necesidad de especialistas con la optimización mediante automatización y ubicación estratégica.

3.5. Licencias y software

Otro componente de costo operativo, a veces subestimado, son los **costes de software y licencias** asociados a la operación del CPD. Esto abarca **varias categorías**:

- **Licencias de software de infraestructura:** **sistemas operativos comerciales** (si no se usa *Linux* gratuito), **software de virtualización** (por ejemplo, VMWare *ESXi* tiene costos de licencia por servidor o por núcleo), **software de gestión de almacenamiento** (algunas cabinas de disco requieren licencias por características), **software de backup y recuperación**, herramientas de monitoreo especializadas, etc. Muchas de estas licencias son costos recurrentes (anuales o suscripciones). Por ejemplo, la licencia de **Microsoft System Center Datacenter Edition** tiene un precio de \$3968, permitiendo la gestión ilimitada de máquinas virtuales y contenedores Hyper-V.⁴¹ **Soluciones empresariales** de este tipo pueden costar entre **\$10,000 y \$100,000 al año**, dependiendo de la escala y el proveedor.⁴²
- **Software de negocio alojado:** En CPD empresariales que alojan aplicaciones como ERP de Oracle o SAP, o bases de datos comerciales como *Oracle Database* o *SQL Server*, los costos de licencias y soporte anual son considerables. Estas licencias suelen calcularse por núcleo o procesador, pudiendo alcanzar decenas de miles de euros anualmente. Aunque estos costos no son estrictamente operativos del CPD, forman parte del gasto global de TI.
- **Herramientas de Data Center Infrastructure Management (DCIM):** Muchos centros usan *suites de software* para gestionar inventarios de activos, mapa de racks, control de energía por rack, etc. Herramientas como *Schneider EcoStruxure*, *Vertiv Trellis*, etc., que suelen ser soluciones *enterprise* con coste anual de mantenimiento.
- **Seguridad informática:** *Firewalls* de red, sistemas IDS/IPS, herramientas antivirus corporativas, etc., también conllevan contratos y licencias que deben renovarse. En CPD de empresas grandes, la seguridad de red y de perímetro (ej. firewalls de nueva generación) puede costar decenas de miles anuales en contratos de soporte y suscripción a listas de actualizaciones. Por ejemplo, *Fortinet* establece un rango de \$700 - \$1000 para las empresas pequeñas, y \$1,500 - \$4,000 para empresas de más de 15 a 100 usuarios, tan solo en lo que se refiere al *hardware* de los *firewalls*.⁴³
- **Software de respaldo de energía/ambiental:** A veces se instalan sistemas software para gestionar UPS (unidades de suministro ininterrumpido), generadores o control climático, suelen incluir software de terceros con costes de soporte asociados.

Impacto en los costos operativos

En general, si el CPD aloja infraestructura de TI tradicional, el **costo de licenciamiento de software puede ser muy alto**, a veces incluso mayor que el costo del propio hardware subyacente. Se dan casos donde empresas migran cargas a la nube, no por evitar coste de hardware, sino para convertir esos costes de licencia a modelos más flexibles (o porque en la nube a veces se incluyen licencias en el servicio).

Para dimensionar: cada licencia de sistema operativo Windows Server Datacenter por cada servidor cuesta varios miles de euros.⁴⁴ Sumando todo, en ciertos CPD corporativos los costes de software anualizados pueden representar el **20-30% del presupuesto de TI**. Además, un informe indica que cerca del 50% de los costos operativos anuales de un CPD sustancial se destinan a *hardware, software e infraestructura de red*, con una parte importante dedicada a renovaciones de licencias.⁴⁵

Sin embargo, en modelos de *collocation*, solo existen costes de software relacionados con herramientas de gestión (como monitoreo), ya que los clientes gestionan sus propias licencias. Por ello, su impacto es menor.

En centros de datos hiperescala como los de nube pública, suelen usar mucho software open source o desarrollado in-house para reducir este rubro; por ello logran economías. En cambio, un CPD empresarial convencional apoyado fuertemente en soluciones comerciales tendrá esta carga.

En conclusión, **las licencias de software suponen un gasto económico constante**, y la adopción de soluciones de **código libre** es en parte motivada por ahorros en licencias, a costa de quizás mayor costo de personal o comunitario para mantenerlas, al no contar con soporte comercial.

3.6. Impacto de la localización geográfica

La **ubicación** de un centro de datos **influye enormemente en sus costes operativos OPEX a largo plazo**. Hay varios factores geográficos que afectan los costos: el precio de la electricidad local, el clima (que repercute en costos de enfriamiento), la estabilidad de la red eléctrica, los impuestos o incentivos locales, el costo de la mano de obra, y la disponibilidad de conectividad de fibra. Elegir bien la localización puede suponer diferencias de decenas de por ciento en el OPEX.

Costo de la electricidad

Probablemente el **factor más determinante**. La tarifa eléctrica varía entre países y regiones. Por ejemplo, en 2020 el precio medio para empresas era ~\$0.12/kWh a nivel mundial, pero con grandes diferencias: en Europa ~0.18 \$/kWh, en EE. UU. ~0.12, en algunos países de Oriente Medio con subsidios <0.05, etc.⁴⁶

Países como Noruega o Suecia ofrecían electricidad muy barata (~0.05 \$/kWh o menos) gracias a abundante hidroeléctrica, lo cual ha atraído CPD (como los de Facebook en Luleå). Lugares con energía cara (ej. Alemania o Japón) hacen que operar un CPD sea mucho más costoso. Incluso dentro de un mismo país, puede haber diferencias: en EE. UU., estados como Luisiana tenían ~0.09 \$/kWh mientras Massachusetts ~0.22 \$/kWh.⁴⁶

Por eso, empresas como Google han puesto data centers en Iowa (donde la electricidad es barata y con eólica disponible) en vez de en California (mucho más cara). Un estudio señala que **usuarios de CPD persiguen precios < \$0.05/kWh** y en algunos casos logran ~0.035 \$ con negociaciones especiales o autogeneración.³⁶

Clima y costos de enfriamiento (HVAC)

Ubicar un CPD en un clima fresco puede ahorrar gran parte del coste de climatización. En regiones **nórdicas o canadienses**, el aire exterior frío se utiliza para refrigerar la mayor parte del año (*free cooling*), reduciendo la necesidad de *chillers*.

Además, la menor temperatura ambiente mejora la eficiencia de los equipos. En cambio, en climas **tropicales** o desérticos, se gasta más energía en enfriar y posiblemente más agua. Un estudio comparativo sugiere que un CPD en Escandinavia puede tener costos de enfriamiento un 30-50% menores que uno en Oriente Medio por la diferencia de clima.³⁵

También la **humedad** influye: climas muy húmedos dificultan el enfriamiento evaporativo y requieren des humidificación (gasto extra). Por ello, hay regiones con un clima ideal: fresco y seco (ej. Montana, Finlandia) ideales para CPD. Un buen ejemplo: Islandia ofrece refrigeración natural casi todo el año y energía geotérmica barata; varios CPD de alta densidad se han establecido allí.

Incentivos e impuestos

Muchas localidades ofrecen **incentivos fiscales** para atraer data centers, como exenciones de impuestos a la energía, al suelo, etc. Estados de EE. UU. compiten bajando impuestos de propiedad o ventas a empresas de CPD (por ejemplo, no cobrar IVA en la compra de servidores si se instalan en tal estado).

A nivel países, algunos lugares con economías en desarrollo ofrecen terrenos baratos y exenciones con tal de que se instalen CPD que dinamizan la región y crean empleos. Esto puede reducir mucho los costes fijos. Por el contrario, hay ciudades donde los impuestos locales elevan el coste (ej. tasas ambientales o altos costos de licencias).

Disponibilidad de renovables

Relacionado con energía, ubicarse cerca de fuentes renovables baratas (hidroeléctrica, eólica) no solo baja el coste, sino que **cumple objetivos de sostenibilidad verde**.

Por ejemplo, en Patagonia (Chile/Argentina) o Quebec (Canadá) la abundancia hidroeléctrica hace la electricidad barata y limpia. Google y Microsoft han localizado centros cerca de parques eólicos en regiones planas de EE. UU. (Oklahoma, Texas) para aprovechar energía barata nocturna eólica.

Costo de la conectividad

Un CPD necesita estar bien conectado a las redes de fibra troncales. Lugares remotos pueden implicar costos mayores de telecomunicaciones (líneas dedicadas caras). En hubs urbanos la conectividad es excelente y económica, pero el suelo/energía suele ser más caro.

Por eso, muchos CPD se ubican en **áreas estratégicas**: relativamente cerca de ciudades para conectividad, pero donde suelo y energía sean más accesibles (Por ejemplo, en Virginia, Ashburn es un hub con muchas fibras y energía barata de dominion energy, convirtiéndolo en la "capital de data centers").

Mano de obra y estabilidad política

En regiones con salarios bajos, tener personal 24/7 cuesta menos. Sin embargo, algunos operadores dudan de países con inestabilidad política o riesgo de cortes de red prolongados. La **fiabilidad del suministro eléctrico** local es crucial: lugares con red débil implican más uso de generadores (más coste de combustible y mantenimiento). Se prefiere países con infraestructura robusta.

En resumen, la localización geográfica impacta prácticamente todos los costes: energía, enfriamiento, personal, impuestos.

Es por ello que hemos visto concentración de data centers en ciertas áreas "*favorables*": **Virginia del Norte, Dallas, Silicon Valley** (por conectividad, a pesar de costo alto, en SV), **Pacific Northwest** (Washington/Oregón por hidroeléctrica barata), **Escandinavia, Singapur** (hub de Asia), etc.

Por ejemplo, Noruega argumenta que sus CPD pueden tener costos energéticos un 40% menores que el promedio europeo.^{35, 66}

La **elección de ubicación** es una **decisión estratégica fundamental** para cualquier operador de CPD. De ella depende en buena medida la estructura de costos durante 10-15 años de vida de la instalación. Una vez construido, poco se puede hacer para cambiar factores locales, así que escoger bien es fundamental.

3.7. Comparativa global de costes operativos

Es interesante comparar cómo varían los costos operativos de los CPD en distintas regiones del mundo, dadas las diferencias mencionadas. A grandes rasgos, podemos delinear algunas tendencias:

América del Norte (EE. UU. / Canadá): Dispone de algunas de las ubicaciones más competitivas en costo gracias a energía moderadamente barata (sobre todo en el centro del país) y un mercado maduro.

- **EUA:** En EE. UU., regiones como el **"Data Center Alley" en Virginia** tienen costos totales relativamente bajos: electricidad \$0.06/kWh, impuestos reducidos, gran conectividad. Esto ha atraído una enorme densidad de centros (más de 1 GW de capacidad instalada solo en Ashburn, VA). Otras zonas baratas son **Oregón** (energía hidro + clima fresco) y **Texas** (energía barata, aunque clima cálido).
- **Canadá:** Quebec ofrece los costos más bajos de energía (\$0.05/kWh hidro) con clima frío, resultando en OPEX muy bajos, aunque la conectividad internacional es menor que en EE. UU. En cambio, operar en ciudades como Nueva York o California es más caro por energía (~\$0.15/kWh en California) y costos laborales altos, por lo que se tiende a evitarlas para *hiperescala*.

Europa Occidental: Aquí la electricidad **tiende a ser más cara** (antes de crisis ~0.15 \$/kWh negocios; durante 2022 subió temporalmente mucho).

Sin embargo, algunos países ofrecen ventajas:

- **Escandinavia** se destaca por costo y ecología: Suecia, Noruega, Finlandia tienen energía barata y limpia, y climas fríos; así, Facebook, Google, Microsoft tienen centros en la zona.
- **Fráncfort (Alemania)** es otro hub tradicional por conectividad, pese a la energía cara. Los costos operativos allí son de los más altos, pero se justifica por cercanía a negocios.
- **Sud de Europa (España, Italia)** tiene electricidad de coste medio-alto y clima cálido en gran parte, por lo que **no ha sido un gran hub tradicional** (aunque está creciendo en Madrid por necesidad regional de *cloud*).
- En **Europa del Este (Polonia, etc.)** la electricidad puede ser algo más barata que en el oeste, y mano de obra más barata, pero menor conectividad y confianza.

Asia-Pacífico: Caso muy variado.

- **Hubs establecidos:**

Singapur es un hub importante (excelente conectividad, entorno estable), pero la energía es cara (importada, mix gas natural) ~0.20 \$/kWh y clima tropical (alto coste de enfriamiento). Aun así, alberga muchos CPD aunque con PUE altos dado el clima. **Hong Kong** tiene retos similares. **Japón** tiene electricidad cara y riesgo sísmico, pero altas demandas locales.

- **Otras regiones:**

Australia: energía moderada pero distancias grandes.

India: energía subsidiada en algunas áreas, mano de obra barata, pero clima cálido y red no siempre fiable (uso intensivo de generadores).

China: en regiones como Guizhou o Mongolia Interior, el gobierno ha impulsado mega CPD con energía barata (a veces de carbón, o hidroeléctrica en Sichuan) – allí los costos energéticos son bajos, pero obviamente es un mercado local.

Pacífico Noroeste (Malasia, Indonesia): energía relativamente barata (gas/carbono) pero humedad altísima (coste de enfriamiento).

América Latina: No es aún un gran hub global, pero Brasil tiene muchos CPD para su mercado – energía ~0.10-0.15 \$/kWh, el clima depende la región (algunos en sur de Brasil con clima templado, otros en São Paulo con costos más altos de enfriamiento).

Chile se ha posicionado como un lugar interesante (clima templado/frío en el sur, energía renovable en crecimiento, estabilidad), de hecho Google tiene data center en Chile aprovechando energía solar y clima desértico seco (free cooling nocturno). En la región, los costos laborales son más bajos que en EE. UU./Europa, pero a veces la conectividad internacional es el cuello de botella.



Figura 9: Mapa con la ubicación de Datacenter Certificados

Fuente: [Uptime Institute Awards⁴⁷](#)

Podemos resumir con un cuadro comparativo **hipotético y simplificado** de coste eléctrico + enfriamiento en algunas localizaciones representativas:

Localización	Precio energía (USD/kWh)	Observaciones de coste enfriamiento
Virginia, EE. UU.	~0.06 - 0.08 ³⁶	Clima templado, moderado (enfriamiento costo medio)
Norte Europa (Suecia)	~0.05 - 0.07 ³⁶	Clima frío (enfriamiento muy barato, free cooling)
Singapur	~0.18 - 0.20	Clima tropical (alto costo enfriamiento, PUE > 1.7)
Madrid, España	~0.12 - 0.15	Clima cálido en verano (costo enfriamiento medio-alto)
Oregon, EE. UU.	~0.05 (hidroeléctrica)	Clima fresco, free cooling buena parte del año
São Paulo, Brasil	~0.10 - 0.12	Clima cálido húmedo, enfriamiento costoso
Tokio, Japón	~0.15 - 0.17	Clima templado húmedo, edificios urbanos (difícil enfriamiento)
Quebec, Canadá	~0.05 (hidroeléctrica)	Clima frío (muy bajo costo enfriamiento)

(Nota: Los valores son aproximados y pueden variar con el tiempo, contratos específicos y la geopolítica.)

Como se ve, sitios con **energía barata y clima frío llevan ventaja competitiva clara**. No obstante, la elección no es solo por costo: también importa la **latencia** hacia los usuarios.

Por eso existen CPD en lugares subóptimos en costos, porque necesitan estar cerca de ciertos mercados. Por ejemplo, CPD dentro de ciudades como Londres o París, a pesar de coste alto, para dar servicio de baja latencia a bancos y empresas locales).

A veces las empresas hacen un **enfoque híbrido mix**: despliegan CPD más pequeños y cercanos a los usuarios para tareas críticas sensibles a la latencia (costosos) y concretan centros de *backend* (menos sensibles) en ubicaciones baratas haciendo el trabajo pesado.

4. Análisis de servicios digitales populares

En esta sección realizaremos un análisis del **coste e impacto asociado a algunos servicios digitales populares**; Twitter (X), TikTok, las criptomonedas (particularmente Bitcoin) y los modelos de Inteligencia Artificial como ChatGPT, que por su escala de uso nos permiten dimensionar el consumo de centros de datos desde la perspectiva de servicios concretos. Veremos cuánta infraestructura requieren, cuánta energía consumen o emisiones generan, y qué medidas están tomando (o podrían tomar) para mitigar su huella.

4.1. Twitter (X): El Impacto Acumulado de los Mensajes Cortos

Twitter, renombrada recientemente como **X**, es una red social de mensajes cortos que, aunque no tiene el volumen de datos de servicios de video, opera a nivel global con cientos de millones de usuarios. Cada *tweet* que enviamos viaja a través de servidores en centros de datos de Twitter, donde es almacenado, indexado y distribuido a los seguidores correspondientes.

¿Cuál es el coste energético de "tuitear" y mantener esta plataforma funcionando?

A primera vista, Twitter maneja texto e imágenes pequeñas principalmente, lo que sugeriría un impacto modesto comparado con servicios de streaming. De hecho, ha habido intentos de cuantificar la huella de carbono de un *tweet* individual. Según un estudio de la firma de análisis de carbono Greenly, **un solo tweet genera apenas ~0.026 gramos de CO₂ equivalente.**⁴⁸ Esta cifra es extremadamente baja; equivaldría a emitir lo que genera una bombilla LED en fracción de segundo.

Sin embargo, Twitter procesa una inmensa cantidad de tweets. Greenly estimó en 2022 que con un promedio de ~867 millones de tweets al día (unos 316 mil millones de tweets al año), la **huella anual de Twitter sería de ~8200 toneladas de CO₂.**⁴⁸ Esto se comparó a las emisiones de ~4.700 vuelos de París a Nueva York.⁴⁸

Es interesante desglosar de dónde provienen esas emisiones: la mayor parte se atribuye al **consumo eléctrico de los centros de datos de Twitter**, donde se manejan las peticiones y se almacenan datos.⁴⁸ Twitter tiene (o tenía, antes de cambios recientes) varios centros de datos propios en EE. UU. y posiblemente presencia en Europa, donde aloja sus servidores.

Si convertimos esas 8200 toneladas CO₂ a consumo eléctrico, asumiendo un factor de 0.5 kg CO₂/kWh, serían unos 16,4 GWh anuales. Es decir, Twitter podría estar consumiendo en torno a **15-20 GWh al año** en sus operaciones centrales (equivalente al uso de unos 3000 hogares europeos). Estas son cifras aproximadas, pero dan orden de magnitud.

En 2023, Elon Musk (tras adquirir Twitter) mencionó planes de cierre de **uno de sus 3 centros de datos principales para ahorrar costes**, lo que sugiere lo onerosos que son. De hecho, se reportó que Twitter buscaba reducir gastos de infraestructura en cientos de millones, migrando carga entre centros. Esto podría afectar la latencia o redundancia, pero ilustra la tensión entre coste y rendimiento en empresas tecnológicas.

Otra perspectiva: **por usuario**, Twitter tenía ~436 millones de usuarios activos mensuales (2022). Si su huella es ~8200 tCO₂, eso es **~0.019 toneladas (19 kg) CO₂ al año por usuario activo** (muy por debajo de otros servicios sociales como veremos con TikTok). Claro que el uso por usuario varía mucho.

En cuanto a **medidas de Twitter/X para eficiencia**, históricamente la compañía ha invertido en optimizar su plataforma a nivel de software (compresión de imágenes, etc.), pero no se ha destacado como líder verde públicamente como sí lo han hecho Google o Facebook. Gran parte de sus servidores estaban en California y Oregón, donde una porción de energía es renovable, pero también usan gas.

El modelo de negocio de Twitter (servicio gratuito, publicidad) hacía que la empresa tuviera que absorber estos costes operativos, que eran significativos. En la gestión de Musk, una prioridad fue recortar costes de servidores y nube, lo cual indica que los **centros de datos representaban un gasto importante** en las finanzas de Twitter.

En resumen, Twitter muestra que incluso un servicio basado principalmente en texto con un tamaño “relativamente pequeño” de datos puede implicar **miles de toneladas de CO₂** y millones de dólares en coste energético.

Es el ejemplo de **impacto acumulado**: un tweet es casi gratis en energía, pero cientos de miles de millones de tweets no lo son. Además, hay que sumar funciones de Twitter como la reproducción de videos cortos, imágenes, GIF, que aumentan su carga. Afortunadamente, comparado con otros, su impacto energético es menor, pero no despreciable.

4.2. TikTok: El Coste Energético del Desplazamiento Infinito

TikTok se ha convertido en uno de los fenómenos de redes sociales más avasalladores, con más de mil millones de usuarios activos consumiendo y produciendo videos cortos a un ritmo vertiginoso. A diferencia de Twitter, TikTok es extremadamente intensivo en datos: videos de varios segundos o minutos, a menudo con música, filtros, etc. Esto supone un uso intensivo de infraestructura de *backend* para almacenar y distribuir los vídeos, además de algoritmos de recomendación (IA) que consumen bastante cómputo. Veamos su impacto.

Un análisis reciente realizado también por Greenly encontró que el **uso promedio de TikTok conlleva una huella de carbono notablemente alta por usuario**. Los usuarios dedican en promedio unos **45.8 minutos diarios** a la plataforma, mucho más que en otras redes (Instagram ~30 min).

Ese hábito intensivo se traduce en que **cada minuto en TikTok genera ~2.921 gramos de CO₂**, casi lo mismo que un minuto de YouTube (2.923 g) y ligeramente más que Instagram (2.912 g). Aunque 2.9 g por minuto puede parecer poco, en 45 min son ~131 gramos al día por usuario.

En un año (365 días), cada usuario activo de TikTok estaría generando **~48.5 kg de CO₂** solo por su uso de la plataforma. Esta cifra es *per cápita* y ya es significativa (es como conducir ~250 km en un coche promedio por persona al año).

[Fuente: [DBG Group Report](#)]⁴⁹

Llevado al total global: Greenly estimó que en **2023 la huella de carbono de TikTok a nivel mundial podría alcanzar ~50 millones de toneladas de CO₂**. Para llegar a ese número, consideraron que en tres países (EE. UU., Reino Unido, Francia) sumaban 7,6 Mt CO₂ y eso representaba ~15% de la base de usuarios, extrapolando al mundo. 50 Mt CO₂ es una enormidad – es más que las emisiones anuales de países como Grecia o Portugal. En otras palabras, el *scroll infinito* de videos cortos está dejando una huella comparable a la de un país mediano en Europa.

¿De dónde proviene este impacto?

Principalmente de tres fuentes:

1. **Centros de Datos:** Almacenan y sirven los videos que se consumen diariamente.
2. **Redes de Transmisión:** Transportar grandes volúmenes de datos de video.
3. **Algoritmos de IA:** Ejecución constante de algoritmos de recomendación.

TikTok requiere infraestructura tanto en la nube (por un tiempo utilizó bastantes servicios en la nube de terceros, como AWS o Azure) como centros propios.

Dado su crecimiento, **ByteDance** (la empresa madre principal) anunció la construcción de grandes **centros de datos dedicados**, por ejemplo en Europa (Irlanda) y planeaba en Estados Unidos para cumplir regulaciones locales.

Esos CPD manejan el ingente tráfico de video. Además, el algoritmo de recomendación de TikTok es intensivo en IA, analizando en tiempo real qué mostrar a cada usuario, lo cual implica clústeres de servidores adicionales procesando datos de interacción y entrenamiento de modelos (aunque parte de ese entrenamiento es offline).

Un punto a destacar es que **TikTok actualmente no publica datos detallados sobre su huella ambiental**, a diferencia de empresas como Meta o Google que sacan informes anuales de sostenibilidad.



La **falta de transparencia de TikTok** dificulta evaluaciones independientes, pero las estimaciones externas indican un gran impacto. TikTok se ha comprometido a ser **neutral en carbono para 2030** e iniciaron su "Project Clover" que incluye construir CPD con la promesa de usar **fuentes de energía 100% renovables** (por ejemplo, uno en Noruega, donde la electricidad es hidroeléctrica 100% verde). Ese centro en Noruega proveería servicio hacia Europa con energía renovable, reduciendo la huella allí.

Figura 10: Migración de Proyecto Clover Fuente: [El proyecto Clover avanza con el comienzo de la migración de datos al centro de datos noruego de TikTok - Sala de prensa⁵⁰](#), [TikTok establece nuevos estándares de seguridad y sostenibilidad a través del programa Proyecto Clover, con una inversión de 12.000 millones de euros - Sala de prensa⁵¹](#)

¿Por qué TikTok tiene huella mayor por usuario que otras redes?

Fundamentalmente por el **tiempo de visionado de video**. El video es de los formatos más costosos en datos: decodificarlo en el dispositivo (consumo eléctrico en móviles), transmitirlo (tráfico por internet) y almacenarlo/servirlo (en CPD). TikTok fomenta un uso prolongado mediante su algoritmo adictivo, lo que se refleja en esos 45 min diarios.

Aunque un minuto de TikTok y YouTube son parecidos en CO₂, el usuario medio de TikTok pasa más tiempo, y además TikTok ha crecido muy rápido sumando cientos de millones de usuarios en poco tiempo, posiblemente sin optimizar tanto su infraestructura como YouTube que lleva más años.

En términos de **costes operativos**, mantener TikTok supone **costos enormes** en:

- **Ancho de banda**: Servidores CDN cercanos a usuarios para bajar latencia.
- **Almacenamiento**: Cada día se suben millones de videos que hay que guardar redundados).
- **Computación** (IA de recomendaciones). ByteDance invierte fuertemente en centros de datos propios ahora para reducir la dependencia de la nube y recortar costes a largo plazo, pero eso implica gastos capitales grandes.

Para dimensionar: si TikTok global realmente implicara ~50 Mt CO₂, asumiendo 0,4 kg CO₂/kWh global, significaría unos **125 TWh anuales** consumidos por todo el ecosistema TikTok (usuarios + red + CPD). Es probablemente una sobreestimación, pero no del todo descabellada, dado el alcance planetario.

En conclusión, **TikTok ejemplifica la nueva generación de servicios ultra-intensivos**: su conveniencia y entretenimiento vienen acompañados de una **factura energética colosal** tras bambalinas.

Mitigar este impacto requiere que ByteDance adopte energías renovables, optimice la entrega de video (por ejemplo, mejor compresión de videos, *caching* eficaz) y posiblemente conciencie a usuarios sobre su uso.

Por ahora, su huella **supera ya a plataformas más antiguas en términos absolutos**, lo cual es asombroso considerando que hace 5 años prácticamente no existía en Occidente.

(Nota: Para comparar, la siguiente tabla resume la emisión media por usuario de varias redes:)

Plataforma	Emisiones anuales por usuario (kg CO ₂)
TikTok	48,5
YouTube	40,2
Instagram	32,5
Twitter (X)	~17 (estimado a partir de 8200 tCO ₂ / 486 millones de usuarios)

Plataforma	Emisiones anuales por usuario (kg CO ₂)
TikTok	48.5
YouTube	40.2
Instagram	32.5
Twitter (X)	~17 (estimado a partir de 8200 tCO ₂ / 486 millones de usuarios)

(Vemos que TikTok lidera en impacto per cápita, aproximadamente un 20% más que YouTube.)

Fuentes: [TikTok deja una huella de carbono que supera las emisiones de Grecia⁵²](#)

[Greenly: The Hidden Environmental Cost of Social Media⁵³](#)

4.3. Criptomonedas

El mundo de las **criptomonedas**, y en particular **Bitcoin**, ha ganado notoriedad no solo por su valor financiero volátil, sino también por su altísimo **costo energético**.

A diferencia de servicios tradicionales, aquí los “centros de datos” no sirven a usuarios finales con contenido, sino que realizan **cálculos criptográficos** para mantener segura la red (lo que se llama *minería* en el caso de Bitcoin). Esto ha llevado a un consumo eléctrico global equiparable al de países enteros, generando preocupación ambiental y exploración de alternativas.

Bitcoin utiliza un mecanismo de consenso llamado **Prueba de Trabajo (Proof of Work)** que requiere que miles de máquinas especializadas (ASIC) compitan resolviendo puzzles matemáticos (“criptográficos”) las 24 horas al día. Este proceso es intencionalmente costoso en cómputo (y, por tanto, en electricidad) para asegurar que falsificar la cadena de bloques sea impracticable.

Consumo Energético de Bitcoin (PoW)

Esto hace que la red Bitcoin consuma hoy tanta electricidad como un país mediano. En 2023 se estimaba que la minería de Bitcoin consumía en torno a **121 TWh al año**, un nivel comparable al consumo eléctrico de **Argentina**. Otras fuentes sitúan la cifra aún más arriba, alrededor de 175 TWh en 2024, con una huella de carbono cercana a **98 millones de toneladas de CO₂ anuales**.

Para dimensionar: **Noruega** consume ~124 TWh al año, **Chile** ~74 TWh; si Bitcoin fuese un país, estaría entre los **30 mayores consumidores** de electricidad del mundo.

El impacto ambiental de Bitcoin ha sido muy criticado: además de emisiones de CO₂, la minería genera calor y **residuos electrónicos**, pues el hardware (ASIC) queda obsoleto rápidamente y se desecha. La ONU advirtió del rápido aumento de la huella digital, señalando a Bitcoin como un ejemplo de cómo se está “monetizando el Antropoceno”.⁶

Pocos sectores tecnológicos únicos han tenido un crecimiento de consumo como el de Bitcoin: entre 2015 y 2023 su gasto energético se multiplicó por 34. Cada transacción de Bitcoin, si se prorrataea el consumo total de la red, conlleva cientos de kWh de electricidad, aunque los defensores argumentan que muchas ocurren fuera de la cadena principal o que se usa energía sobrante. En la práctica, gran parte de la minería se ha relocalizado a regiones con electricidad barata (a veces de fuentes fósiles).

Esto llevó a que en 2020-2021 el **36% de la potencia minera de Bitcoin estuviera en EE.UU.**, donde algunos mineros incluso reabrieron plantas de carbón, y otro porcentaje importante en países con electricidad de carbón (Kazajistán, Rusia) o hidroeléctrica barata (Canadá, países nórdicos). La huella de carbono, por tanto, depende del mix eléctrico utilizado, pero globalmente sigue siendo muy alta.

La Alternativa Eficiente: Prueba de Participación (Proof-of-Stake - PoS)

Frente a este problema, han surgido y consolidado un mecanismo alternativo mucho más eficiente: la **Prueba de Participación (Proof-of-Stake - PoS)**. En PoS, la seguridad de la red no depende de la potencia computacional, sino del hecho que los validadores “bloqueen” o “participen” con una cierta cantidad de criptomoneda nativa como garantía.

El caso más emblemático de esta transición es el de **Ethereum**. La segunda criptomoneda más grande, la cual migró en septiembre de 2022 de PoW a PoS en un evento conocido como *The Merge*.

El impacto energético fue drástico e inmediato:

- Este cambio eliminó la necesidad de mineros compitiendo y, según análisis de la Crypto Carbon Ratings Institute, **redujo el consumo eléctrico de Ethereum en un 99,988%.**⁵⁴
- Pasando de un consumo anual comparable al de países como Finlandia (decenas de TWh) a un consumo residual (estimado en la orden de 0,01 TWh anuales)^{55, 56}

Antes del cambio, la red Ethereum usaba unos **23 millones de MWh al año**; después, apenas ~2.600 MWh. En términos de CO₂, se pasó de ~11 millones de toneladas anuales a solo ~870 toneladas, una diferencia enorme.

Esto demuestra que es posible tener plataformas blockchain funcionales sin el despilfarro energético de PoW. Muchas criptomonedas nuevas (Cardano, Solana, Polkadot, etc.) ya nacieron usando PoS u otros métodos eficientes.

Persistencia de Bitcoin con PoW + Debate sobre Mitigación

Sin embargo, **Bitcoin** se mantiene en PoW y no parece que vaya a cambiar en el corto plazo, por razones ideológicas y técnicas. Así, continúa representando la mayor parte del consumo energético del sector cripto.

Se debate cómo mitigar su impacto:

- Impulsar que la minería use exclusivamente **energías renovables** (hoy estimadas en ~50% de la energía de minado, principalmente hidroeléctrica y eólica)
- Aprovechar el **calor residual** de las granjas de minería para calefacción.
- Uso de **gas natural que de otro modo se quemaría** (flaring) en pozos petrolíferos o gas de metano de residuos (biogás) para alimentar la minería.⁵⁷

Estas soluciones, aunque útiles localmente, no cambian el hecho de que Bitcoin añade una **carga significativa al sistema energético global por diseño**.

En conclusión, las criptomonedas evidencian un **paradigma tecnológico con alto coste oculto**: la descentralización y seguridad de Bitcoin implican un consumo masivo de electricidad. Alternativas tecnológicas ya disponibles (PoS) pueden lograr propósitos similares con fracciones minúsculas del consumo, como se ha visto con Ethereum. El futuro verá si Bitcoin encuentra formas de reducir su huella (por autorregulación o regulación externa) o si seguirá siendo una “paradoja” donde una innovación digital convive con un modelo de gasto energético del siglo XX.

4.4. Modelos de IA

Los **modelos de Inteligencia Artificial (IA)** de última generación, en especial los modelos de **aprendizaje profundo** a gran escala (*large models*), representan otro caso de servicios digitales cuyo funcionamiento depende de considerables recursos computacionales y energéticos.

Un ejemplo muy representativo y conocido popularmente es **ChatGPT** de OpenAI, constando de modelos como GPT-3 y GPT-4.

Estos modelos de lenguaje requieren dos fases intensivas:

- El **entrenamiento** (que se realiza una vez cada cierto tiempo sobre grandes supercomputadoras)
- La **inferencia** (el uso diario para responder preguntas de usuarios, corriendo continuamente en centros de datos).

Los requisitos computacionales del entrenamiento de modelos de IA han crecido exponencialmente. Se calcula que la potencia de cálculo necesaria para entrenar los mayores modelos se duplica aproximadamente cada 100 días.⁵⁸ Por tanto, cada nueva generación de modelos demanda órdenes de magnitud más energía que la anterior. Un estudio citado por el Foro Económico Mundial indica que entrenar el modelo GPT-3 consumió casi 1300 MWh de electricidad, equivalente al consumo anual de 130 hogares promedio en EE.UU.⁵⁸ GPT-4, más avanzado, habría necesitado en su entrenamiento unas 50 veces más electricidad que GPT-3.

Si esa estimación es correcta, estaríamos hablando de ~65000 MWh (65 GWh) solo para entrenar una versión de GPT-4, lo cual equivale al consumo anual de una pequeña ciudad. Este gasto energético se debe a que el entrenamiento involucra miles de GPU/TPU en paralelo durante semanas o meses, procesando inmensas cantidades de datos. Además de energía, conlleva un significativo uso de agua para refrigeración: un informe reciente señaló que responder de entre 20 y 50 preguntas con ChatGPT requiere de unos 500 ml de agua y entre 0.001 y 0.01 kWh: entre un 233% y un 3233% más que una consulta en Google.⁵⁹

Una vez entrenados, los modelos deben **estar activos constantemente** para poder atender las preguntas de los usuarios. Cada consulta de usuario a ChatGPT implica varios **cálculos en GPU** en un centro de datos y se estima que una sola respuesta de ChatGPT puede consumir **10 veces la electricidad de una búsqueda en Google**.⁶⁰ Como las búsquedas de Google usan 0.3 Wh de electricidad, la consumición de las consultas a ChatGPT serían de 3 Wh.

Con **500 millones de usuarios semanales** de ChatGPT en actualmente, la demanda agregada de energía por las inferencias empieza a ser significativa. Aunque aún es una fracción pequeña del consumo total de los centros de datos, está creciendo rápidamente.⁶¹ Empresas como Microsoft (socios de OpenAI) y Google reportaron incrementos fuertes en sus emisiones de gases de efecto invernadero en los últimos años **debido a la expansión de centros de datos para IA**: Microsoft divulgó que sus emisiones de CO₂ aumentaron casi un **30.9%** desde 2020 por ese motivo, y las de Google en 2023 fueron un **48% mayores que en 2019**, en buena parte por la demanda energética de sus nuevos centros para IA ([Environmental Report | Google](#)).^{62, 63}

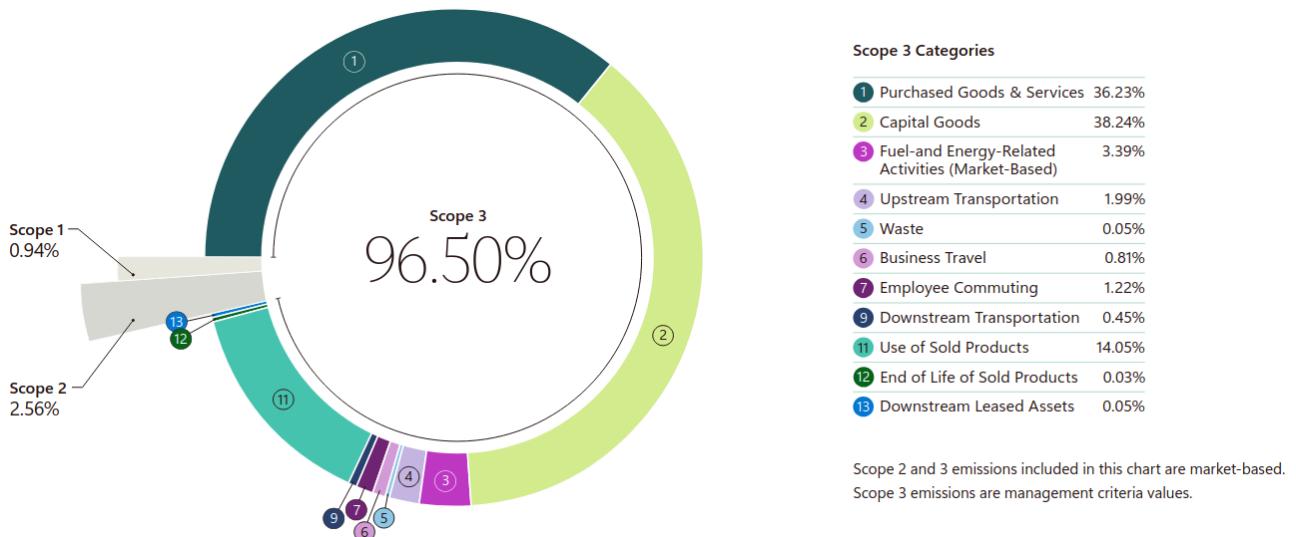


Figura 11: Emisiones de CO₂ anuales de los CPD de Microsoft (scope 3 representa las emisiones derivadas de la construcción y equipamiento de nuevos centros de datos).

Fuente: [Microsoft 2024 Environmental Report](#)⁶⁴

Legend

- Total emissions
- Business as usual (footprint in absence of PPAs)

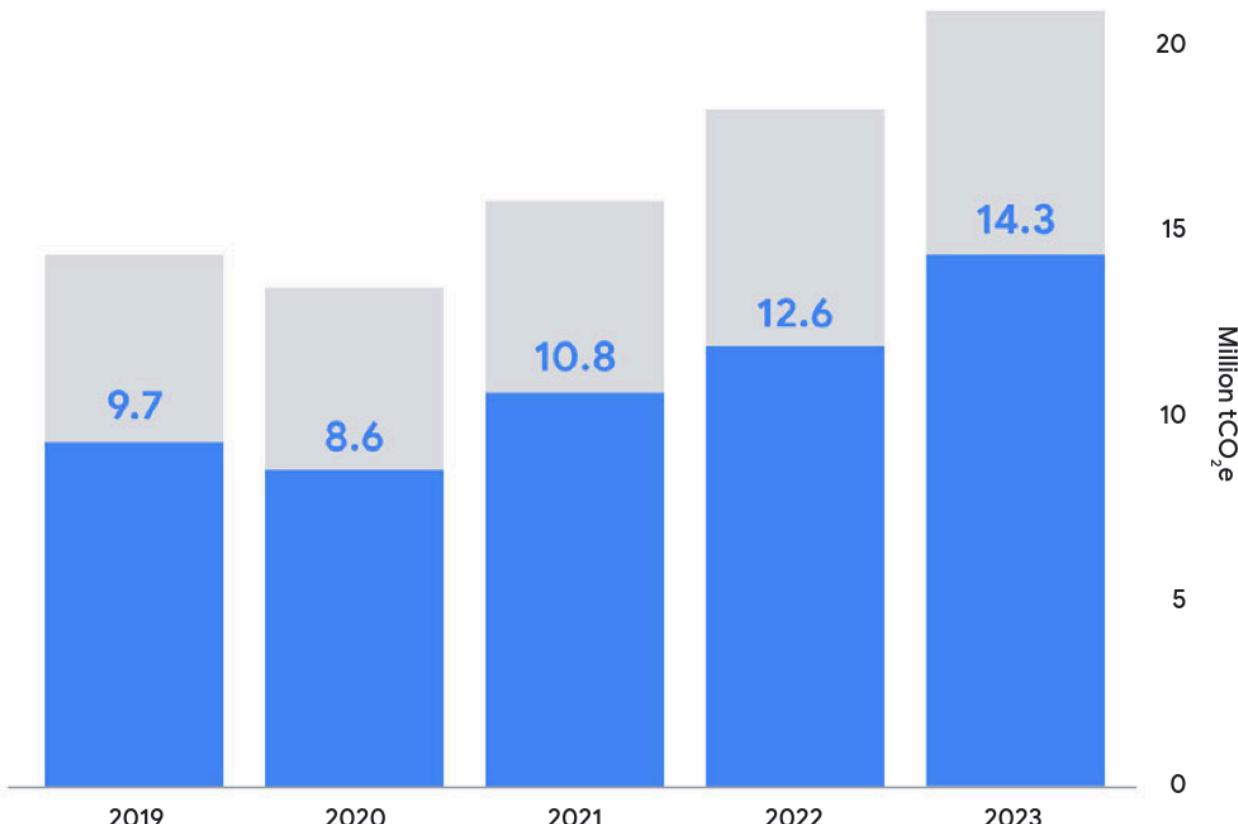


Figura 12: Emisiones de CO₂ anuales de los CPD de Google. Fuente: [Environmental Report](#)⁶³ Google

Esto indica que la carrera por la IA está revirtiendo la tendencia de estabilización de consumo que la industria había adoptado.

Un análisis sugiere que el **consumo eléctrico de los centros de datos globales podría duplicarse de aquí a 2030** hasta los ~945 TWh, debido al creciente uso de la IA: la demanda de **CPD con IA integrada para su operación cuadruplicará el consumo eléctrico de estos.**⁶⁵

En resumen, los modelos de IA de gran escala han abierto una **nueva categoría de uso intensivo de centros de datos**. Desde el entrenamiento que consume gigavatios-hora, hasta la inferencia continua para usuarios, la IA está impulsando la construcción de más CPD y el aumento del consumo energético sectorial. Abordar esta realidad exigirá innovaciones en hardware (chips más eficientes, centros de datos optimizados para IA), en algoritmos (modelos más pequeños o entrenamientos más inteligentes) y en uso de energías limpias para abastecer la voracidad computacional de la inteligencia artificial.

5. Comparación y análisis de costes

Después de explorar distintos servicios y componentes, conviene **comparar los costes energéticos y ambientales** de varios de ellos y reflexionar sobre el panorama global. A continuación se presentan **tablas comparativas y gráficos** que sintetizan algunos datos clave, seguidos de una discusión crítica sobre las paradojas tecnológicas y la percepción pública del coste de los servicios digitales.

Comparativa de impacto energético de servicios digitales: La siguiente tabla resume el consumo estimado de energía y emisiones asociadas de diversos servicios/tecnologías analizados, junto con equivalencias ilustrativas:

Servicio/Plataforma	Consumo energético	Emisiones CO ₂	Equivalente comparativo
Twitter (X) (global)	~16 GWh/año	~8200 toneladas CO ₂	≈ 4700 vuelos París-Nueva York [Greenly]
TikTok (global)	~100 TWh/año (Nota 1)	~50 Mt CO ₂	> Emisiones anuales de Grecia [Greenly]
Bitcoin (red global)	~121 TWh/año	~98 Mt CO ₂	Consumo eléctrico ≈ Argentina [CBECI]
Entrenamiento GPT-3 (único)	~1.3 GWh (por entrenamiento)	~500 ton CO ₂ (est.)	≈ Consumo anual de 130 hogares (EE.UU.) (Nota 2)
Entrenamiento GPT-4	~65 GWh (Nota 3)	~25.000 ton CO ₂ (est.)	Equivalente a una ciudad pequeña durante meses (~65 GWh (Nota 3))

Comparación de consumo energético y emisiones en diversos servicios digitales y tecnologías.

Notas sobre la Tabla:

- **Nota 1:** La estimación de TWh para TikTok es una **derivación aproximada** basada en la huella de CO₂ estimada por Greenly y un factor de emisión global medio (~0.4 kg CO₂/kWh). La cifra directa de Greenly es la de CO.
- **Nota 2:** Este valor corresponde al entrenamiento de **una versión específica (GPT-3) y ya tiene unos años**. Los valores de los modelos actuales son más grandes.
- **Nota 3:** La estimación para GPT-4 es **especulativa**, basada en órdenes de magnitud superiores a GPT-3, y no confirmada oficialmente

Como se observa, hay **diferencias abismales** según el tipo de servicio. Un año de actividad global en TikTok o Bitcoin implica dos órdenes de magnitud más energía que un año de Twitter, y emisiones del orden de decenas de millones de toneladas de CO₂. Entrenar una sola vez un modelo de IA de última generación consume menos que un año de una criptomonedera global, pero sigue siendo elevado comparado con, por ejemplo, operaciones anuales de una empresa mediana (1,3 GWh podrían alimentar todos los servidores de una gran empresa durante meses).

Estos datos ponen de relieve algunas **paradojas tecnológicas**:

Percepción virtual vs. Realidad Física

Por un lado, muchos servicios digitales se presentan como virtuales o "en la nube", y el usuario percibe que usarlos no cuesta nada (no se ve humo ni se palpita un gasto físico).

Pero sumados a escala planetaria, su impacto es muy real y creciente. Es la idea del **impacto acumulado**: un tweet individual o una búsqueda en Google consumen cantidades diminutas de energía, pero miles de millones de ellas diarias acaban requiriendo centrales eléctricas funcionando constantemente para alimentar los centros de datos. Del mismo modo, ver unos vídeos cortos en TikTok parece trivial, pero colectivamente los usuarios de TikTok están demandando decenas de teravatios-hora a las redes eléctricas de varios continentes.

Paradoja de Jevons / Efecto Rebote

Se da asimismo la **paradoja de Jevons o efecto rebote**: a medida que la tecnología se vuelve más eficiente, en lugar de reducirse el consumo total, terminamos usando más el servicio, anulando buena parte del ahorro. Por ejemplo, los centros de datos actuales son mucho más eficientes (mayor computación por watt) que los de hace 10 años; aun así, el consumo total de la industria sigue subiendo, porque hemos multiplicado la cantidad de servicios, datos procesados y usuarios conectados.

Similarmente, la compresión de video mejora, pero la gente ve vídeos de mayor calidad y en mayor cantidad (HD, 4K, streaming continuo), con lo cual el tráfico neto y la energía invertida siguen en alza.

Percepción vs. Realidad del Coste Energético

Otro aspecto crítico es la **percepción contra la realidad del coste energético**. Para la mayoría de usuarios, términos como kilovatios-hora o emisiones de CO₂ son abstracciones difíciles de vincular con su uso digital cotidiano. Existe la percepción de que lo digital es "limpio" comparado con actividades industriales tradicionales.

En parte es cierto que tiene menos contaminación visible directa (no vemos chimeneas cuando enviamos un email), pero la realidad es que **la infraestructura digital global consume recursos masivamente**.

Como señalaba un reporte de la ONU, la huella digital es menos evidente porque "la digitalización no deja humo", pero eso no significa que su efecto no exista. De hecho, ya se estima que el sector TIC (incluyendo CPD, dispositivos, redes) **aporta entre 1.5% y 3% de las emisiones globales de GEI** (Gases de Efecto Invernadero), equiparándose a la industria de la aviación, y podría crecer sin control con tendencias como IA si no se toman medidas.⁶

Responsabilidad Compartida y Concienciación

Esta desconexión genera un **déficit de conciencia**: pocas personas consideran la "electricidad escondida" detrás de un video de YouTube o una transacción de NFT.

Por eso, parte del análisis de costes debe incluir una **responsabilidad ambiental y social** compartida.

Las **grandes corporaciones tecnológicas** tienen la responsabilidad de:

- **Ser transparentes** con sus consumos y huella ambiental (algo que algunas hacen voluntariamente en informes de sostenibilidad, pero otras evitan por razones competitivas).
- Iniciativas como reportes de sostenibilidad (**economía circular** para su hardware), o incluso regulaciones gubernamentales que obliguen a publicar la eficiencia y huella de los centros de datos, serían pasos positivos.
- También tienen la responsabilidad de **invertir en mitigación**, ya sea comprando energía 100% renovable, mejorando el diseño de sus aplicaciones para consumir menos datos, o reciclando proactivamente sus equipos (programas de economía circular).

Los **usuarios y la sociedad** en general, por su parte, también tienen un rol.

- Una mayor **concienciación social sobre el "coste oculto"** de lo digital podría llevar a hábitos más sostenibles:
 - Por ejemplo, usar redes wifi eficientes en lugar de datos móviles (que consumen más energía por bit transmitido).
 - Evitar el streaming continuo de videos en segundo plano que no se están mirando, o preferir videoconferencia solo cuando es necesario.
- **Exigir mayor sostenibilidad** a las empresas y dar soporte a las regulaciones.

Son pequeñas acciones, pero con millones de usuarios pueden marcar diferencia (de forma análoga a apagar la luz al salir de una habitación). Al nivel macro, la sociedad puede exigir a las empresas tecnológicas compromisos ambientales más fuertes y apoyar regulaciones e incentivos para centros de datos verdes.

Impacto acumulado vs. individual

A nivel individual, el coste energético de usar servicios digitales puede parecer insignificante comparado con otras actividades (por ejemplo, un año de uso intensivo de redes sociales quizás sume unos pocos kilovatios-hora por persona, mientras que en transporte o calefacción del hogar se consumen miles de veces más).

Sin embargo, a nivel acumulado, el impacto global es enorme y compite ya con sectores tradicionales. Esto crea cierta disonancia: es difícil para la mente humana sumar mentalmente el efecto de miles de millones de microacciones. Por ello, es fundamental que los estudios y divulgaciones (como este documento técnico) pongan esas cifras en contexto y hagan visible lo invisible.

Limitaciones del Análisis

Finalmente, hay que reconocer las **limitaciones de este estudio comparativo**. Muchas cifras son **estimaciones basadas en datos incompletos o metodologías diversas**, porque las empresas no siempre publican datos detallados (ej. el consumo exacto de TikTok es opaco al no divulgar ByteDance sus métricas).

Además, aislar el consumo específico de cada servicio no es sencillo cuando comparten infraestructuras: por ejemplo, Google ejecuta múltiples servicios (búsquedas, YouTube, Gmail) en los mismos centros de datos, por lo que es difícil determinar cuanta energía viene de cada uno. Los datos usados provienen de estudios y aproximaciones de terceros, lo que introduce cierto margen de error. Pese a ello, las órdenes de magnitud presentadas son útiles para tener una idea clara de qué servicios son más intensivos y cuáles tienen un impacto menor en comparación.

En conclusión, la comparación revela **grandes divergencias de impacto, pero un mensaje común: ningún servicio digital es realmente “gratis” en términos de recursos**. Todos conllevan un coste energético que, sumado globalmente, es significativo. Reconocer eso es el primer paso para gestionar mejor nuestro ecosistema digital y hacerlo más sostenible.

6. Conclusiones

En este documento hemos analizado detalladamente qué son los centros de datos (CPD) y cómo se han convertido en una piedra angular de la sociedad digital actual, a la vez que hemos desgranado los **costes energéticos y ambientales** asociados a su funcionamiento y a diversos servicios digitales populares. A modo de cierre, resumimos los hallazgos clave, reflexionamos sobre la importancia de tomar conciencia del **coste oculto** de lo digital y esbozamos perspectivas futuras y recomendaciones.

Resumen de resultados

Los centros de datos, en sus distintas tipologías (empresariales, comerciales, hiperescalables, etc.), consumen ya del orden del **1.8 - 2% de la electricidad mundial**, contribuyendo aproximadamente con un **1.5% - 3.2% de las emisiones de CO₂**. Su impacto no se limita a la energía: también hacen un uso intensivo de agua para refrigeración y generan residuos electrónicos considerables. Este impacto es **significativo y creciente**, y a menudo es "subestimado" por los usuarios finales, que no ven directamente esas repercusiones.

Los servicios digitales analizados (Twitter, TikTok, criptomonedas, ChatGPT) ejemplifican cómo el **coste energético varía enormemente** según la naturaleza del servicio: redes sociales basadas en texto tienen huellas relativamente bajas, mientras que plataformas de video o *blockchains PoW* tienen huellas enormes, incluso superiores a las de países enteros. Un hallazgo común en todos los casos, es que **el usuario típico no suele ser consciente** de la infraestructura ni la energía involucrada en sus interacciones digitales.

Importancia de la conciencia ambiental digital

A medida que dependemos más de servicios en la nube, IA y conectividad casi ilimitada, se vuelve crucial entender que **lo digital tiene un impacto físico real**. Promover una mayor **concienciación social** sobre el impacto ambiental del uso de CPD y servicios digitales es fundamental, no para desalentar el uso de la tecnología, sino para usarla de forma informada y exigir que se haga lo más sostenible posible.

Por ejemplo, elegir proveedores *cloud* con compromiso de energía renovable, apoyar políticas de energía limpia para centros de datos, o simplemente evitar el desperdicio digital (datos innecesarios, streaming desatendido, etc.). La sociedad en su conjunto debe reconocer el "coste oculto" de su vida online para poder tomar decisiones que mitiguen ese coste.

Responsabilidad ambiental y social

Las empresas tecnológicas que operan grandes CPD tienen una **responsabilidad** ineludible en este tema. Deben liderar con el ejemplo invirtiendo en **energías renovables** para sus operaciones, aumentando la eficiencia de sus centros (mejores diseños, refrigeración innovadora) y extendiendo la vida útil de sus equipos mediante reutilización y reciclaje.

Algunas ya lo hacen: se mencionó como compañías como Google, Amazon o Microsoft financian parques eólicos/solares y se esfuerzan por igualar el 100% de su consumo con renovables. Es vital que estas prácticas se estandaricen en la industria. Asimismo, sería deseable avanzar hacia **estándares de transparencia obligatorios** en el sector: por ejemplo, que las empresas publiquen anualmente la PUE de sus centros, su consumo, uso de agua y huella de carbono. Solo con datos claros se puede monitorear el progreso y señalar áreas de mejora.

Los gobiernos y entes regulatorios también tienen un rol: pueden incentivar (vía créditos fiscales, apoyo a I+D) la construcción de **CPD verdes** y, a la vez, establecer **límites o impuestos al carbono** que reflejen el coste ambiental de la electricidad sucia, forzando un cambio hacia fuentes limpias. También pueden facilitar la **localización estratégica** de CPD en lugares óptimos (clima frío, energías renovables disponibles) en vez de en zonas sensibles o ineficientes.

Perspectivas futuras

Mirando hacia adelante, hay motivos para preocuparse, pero también para mantener la esperanza. En el lado preocupante, las tendencias de uso (Big Data, IA, 5G, IoT masivo) apuntan a un **incremento sostenido de la demanda de centros de datos**. Sin intervención, esto podría llevar el consumo del sector a cuotas insostenibles.

Sin embargo, hay vías para contrarrestar ese crecimiento: los avances en **eficiencia energética** (tanto a nivel de hardware, como algoritmos y arquitecturas) continúan, la adopción de **energías renovables** en el sector está acelerándose, y nuevas técnicas (edge computing, descentralización eficiente, *liquid cooling*, etc.), prometen servir de mitigación.

Se necesitará innovación tanto tecnológica como de modelos de negocio para seguir aumentando la capacidad computacional pero manteniendo a raya el consumo. En particular, en IA se investiga en **modelos más eficientes** y en aprovechar hardware al máximo, lo que podría desacelerar la escalada energética de este campo.

También se debe considerar la **resiliencia vs. eficiencia**: históricamente, los CPD se sobredimensionaban por fiabilidad (redundancias, reservas) pero ahora los esfuerzos deben centrarse en optimizar cada vatio sin comprometer la resiliencia. Encontrar ese balance será clave en la próxima generación de diseños.

Por último, cabe señalar áreas que quedaron fuera del alcance de este documento, pero que son interesantes para futura investigación: por ejemplo, el papel del **usuario final** (dispositivos de usuario eficientes pueden reducir carga en la nube), el análisis de **otros servicios** no cubiertos (ej. videojuegos en línea, realidad virtual, telemedicina) y sus perfiles de consumo, o el impacto de políticas recientes (como la decisión de algunas ciudades de restringir la construcción de nuevos CPD por preocupaciones energéticas).

También sería útil profundizar en la **gestión de la demanda**: si en el futuro los CPD pudieran adaptarse para consumir más cuando hay excedente renovable y menos cuando la red está congestionada, actuarían como actores flexibles del sistema eléctrico en vez de cargas fijas.

Conclusión final

Los centros de datos y la infraestructura digital tienen un coste energético y ambiental muy real, que durante años ha pasado relativamente desapercibido. Hemos llegado a un punto donde ese coste ya es significativo a nivel global y no puede ser ignorado.

Toca a empresas, gobiernos y usuarios **trabajar conjuntamente** para reducir la huella de la economía digital, garantizando que el progreso tecnológico no esté reñido con la sostenibilidad. La tecnología nos impulsó a esta era de información ubicua; ahora debemos usar esa misma inventiva tecnológica y conciencia colectiva para hacerla **sostenible a largo plazo**.

Solo con centros de datos más eficientes, alimentados por energía limpia, y un uso más consciente, lograremos que la revolución digital sea compatible con los objetivos climáticos y el cuidado del planeta.

7. Referencias

1. TIA. "ANSI/TIA-942 Standard." TIA's ANSI/TIA-942 Standard | TIA Online, <https://tiaonline.org/products-and-services/tia942certification/ansi-tia-942-standard/>.
2. Marcen, Roger. "CPDs y sus Tiers | Blogs La Salle | Campus Barcelona." La Salle Campus Barcelona, 26 April 2021, <https://blogs.salleurl.edu/es/cpds-y-sus-tiers>.
3. DATACENTERMARKET. "Estos serán los principales desafíos de los centros de datos." *Estos serán los principales desafíos de los centros de datos*, 21 March 2024, <https://www.datacentermarket.es/tendencias-ti/cuales-son-los-principales-desafios-que-afrontan-los-centros-de-datos/>.
4. Woodie, Alex. "Global DataSphere to Hit 175 Zettabytes by 2025, IDC Says." *BIGDATAWIRE*, 27 November 2018, <https://www.datanami.com/2018/11/27/global-datasphere-to-hit-175-zettabytes-by-2025-idc-says/>.
5. Google. "Energía 100% renovable: solo el comienzo." *Energía limpia: Hito de energía renovable - Sustentabilidad en Google*, December 2016, <https://sustainability.google/intl/es-419/operating-sustainably/stories/announcement-100/>.
6. "Bitcoin mining uses the same amount of energy as Argentina, while laptops need a ton of material." *El País*, 20 August 2024, <https://english.elpais.com/climate/2024-08-20/bitcoin-mining-uses-the-same-amount-of-energy-as-argentina-while-laptops-need-a-ton-of-material.html>.
7. Climate Neutral Data Centre Pact. *Climate Neutral Data Centre Pact – The Green Deal need Green Infrastructure*, <https://www.climateneutraldatacentre.net/>.
8. IBM. "Centros de datos definidos por software." *¿Qué es un centro de datos definido por software? | IBM*, <https://www.ibm.com/es-es/topics/software-defined-data-center>.
9. Open Compute Project. "Scaling Innovation Through Collaboration!" *Home » Open Compute Project*, <https://www.opencompute.org/>.

10. Muscolo Alcazar, Nicolas. "Anàlisi de l'impacte ambiental dels Centres de Processament de Dades. Cas d'estudi: Universitat Politècnica de Catalunya." *Anàlisi de l'impacte ambiental dels Centres de Processament de Dades. Cas d'estudi: Universitat Politècnica de Catalunya*, 16 July 2024, <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/415738>.
11. Goldman Sachs. "AI to drive 165% increase in data center power demand by 2030." *AI to drive 165% increase in data center power demand by 2030* | Goldman Sachs, 4 February 2025,
<https://www.goldmansachs.com/insights/articles/ai-to-drive-165-increase-in-data-center-power-demand-by-2030>.
12. Lawrence, Andy. "Generative AI and global power consumption: high, but not that high." *Generative AI and global power consumption: high, but not that high - Uptime Institute Blog*, 31 July 2024,
<https://journal.uptimeinstitute.com/generative-ai-and-global-power-consumption-high-but-not-that-high/>.
13. IDC. "IDC Report Reveals AI-Driven Growth in Datacenter Energy Consumption, Predicts Surge in Datacenter Facility Spending Amid Rising Electricity Costs." *IDC Report Reveals AI-Driven Growth in Datacenter Energy Consumption, Predicts Surge in Datacenter Facility Spending Amid Rising Electricity Costs*, 24 September 2024,
<https://my.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52611224>.
14. Clean Energy Institute. "Data Center Energy Management." *Data Center Energy Management* - Clean Energy Institute,
<https://www.cei.washington.edu/research/energy-systems/data-center-energy-management/>.
15. IEA. "Aviation - IEA." International Energy Agency, 16 January 2025,
<https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>.

16. Gómez, Ignacio. "CLIMATIZACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA CPD." *CLIMATIZACIÓN-Y-EFICIENCIA-ENERGÉTICA-EN-LA-INDUSTRIA-CPD.pdf*, <https://spain-ashrae.org/wp-content/uploads/CLIMATIZACI%C3%93N-Y-EFICIENCIA-ENERG%C3%89TICA-EN-LA-INDUSTRIA-CPD.pdf>.
17. EIA. "Frequently Asked Questions (FAQs) - U.S. Energy Information Administration." *Frequently Asked Questions (FAQs) - U.S. Energy Information Administration (EIA)*, 11 December 2024, <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11>.
18. Our World in Data. "Carbon intensity of electricity generation, 2023." *Our World in Data*, 20 June 2024, <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity>.
19. Toyota. "Qué es el NOX y cómo evitarlos." *Toyota España*, 22 April 2020, <https://www.toyota.es/world-of-toyota/contaminacion-diesel/que-es-nox-como-afecta-reditucirlo-toyota>.
20. INSST. "EMISIONES DE MOTORES DIÉSEL." *INSST*, 2023, <https://www.insst.es/documents/94886/6645067/DLEP+148++A%C3%B1o+2023.pdf/717843f8-8433-0bcf-2521-451f1a97ebc2?version=1.0&t=1702976918120>.
21. Dannouni, Amane, et al. "Accelerating Climate Action with AI." November 2023, <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/accelerating-climate-action-ai.pdf>.
22. Gooding, Matthew. "Dilemas de densidad." *Dilemas de densidad - DCD*, 12 August 2024, <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/dilemas-de-densidad/>.
23. Zhang, X., et al. "Cooling Energy Consumption Investigation of Data Center IT Room with Vertical Placed Server." *Energy Procedia*, vol. 105, no. 2047, 2017, p. 5, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217306331?via%3Dhub>.
24. ASHRAE. "2021 Equipment Thermal Guidelines for Data Processing Environments." *ASHRAE*, 2021, <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/supplemental%20files/therm-qdlins-5th-r-e-refcard.pdf>.

25. CliAtec. "Freecooling y Freshcooling : Eficiencia en los CPD - Blog CliAtec." *CliAtec*, 12 January 2011, <https://cliatec.com/freecooling-y-freshcooling-eficiencia-en-los-cpd/>.

26. Reinsel, David, et al. "The Digitization of the World From Edge to Core." *Seagate Technology*, May 2020,

<https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/dataage-idc-report-final.pdf>.

27. MITECO. "BALANCE ENERGÉTICO DE ESPAÑA." *Balance energético España*, 16 December 2024,

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Publicaciones/Documents/balance-definitivo-2023/Balance%20Energ%C3%A9tico%20Espa%C3%B1a%202023_v1.pdf.

28. Herranz, Arantxa. "Sed digital: el consumo de agua de los CPD, bajo la lupa." *La Razón*, 20 March 2025,

https://www.larazon.es/economia/sed-digital-consumo-agua-cpd-lupa_2025032067dbbd0cb643760001f7b99e.html.

29. Zhang, Mary. "Data Center Water Usage: A Comprehensive Guide." *Dgtl Infra*, 17 January 2024, <https://dgtlinfra.com/data-center-water-usage/>.

30. Donnellan, Douglas, et al. "Uptime Institute Global Data Center Survey 2024." July 2024, <https://datacenter.uptimeinstitute.com/rs/711-RIA-145/images/2024.GlobalDataCenterSurvey.Report.pdf?version=0>.

31. Davis, Jacqueline. "Large data centers are mostly more efficient, analysis confirms." *Large data centers are mostly more efficient, analysis confirms - Uptime Institute Blog*, 7 February 2024,

<https://journal.uptimeinstitute.com/large-data-centers-are-mostly-more-efficient-analyses-confirms/>.

32. World Health Organization. "Electronic waste (e-waste)." *World Health Organization (WHO)*, 1 October 2024,

[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-\(e-waste\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-(e-waste)).

33. Bourzac, Katherine. "Generative AI Has a Massive E-Waste Problem." *IEEE Spectrum*, 4

November 2024, <https://spectrum.ieee.org/e-waste>.

34. Data Center Knowledge. "Circular Economy in Data Center Operations: Turning Waste into Opportunity." 11 September 2024,

<https://www.datacenterknowledge.com/sustainability/circular-economy-in-data-center-operations-turning-waste-into-opportunity>

35. Datacenters.com. "Impact of Geographic Location on Data Center Energy Costs." *Impact of Data Center Location on Energy Costs: Key Factors and Solutions*, 28 October 2024,

<https://www.datacenters.com/news/impact-of-geographic-location-on-data-center-energy-costs>.

36. R. Comerford, Timothy. "Power Requirements, Energy Costs, and Incentives for Data

Centers." *Power Requirements, Energy Costs, and Incentives for Data Centers*, 1 November 2015,

<https://www.blssstrategies.com/insights-press/power-requirements-energy-costs-and-incentives-for-data-centers>.

37. Howell, David. "How will energy prices affect data center costs in 2024 and beyond?" *ITPro*, 16 May 2024,

<https://www.itpro.com/infrastructure/data-centres/how-will-energy-prices-affect-data-center-costs-in-2024-and-beyond>.

38. Diamidex. "Managing Installations in Data Centers : the Hidden Risk of Legionella."

Managing Installations in Data Centers : the Hidden Risk of Legionella - Diamidex, 22 August 2023,

<https://diamidex.com/learn/cooling-tower/data-centers/managing-installations-in-data-centers-the-hidden-risk-of-legionella>.

39. Microsoft. "Proyecto Natick, el futuro de los centros de datos bajo el mar es fiable, práctico

y sostenible." *Microsoft News*, 15 September 2020,

<https://news.microsoft.com/es-es/2020/09/15/proyecto-natick-el-futuro-de-los-centros-de-datos-bajo-el-mar-es-fiable-practico-y-sostenible/>.

40. "Cost Model for Planning, Development and Operation of a Data Center." (**PDF**) *Cost Model for Planning, Development and Operation of a Data Center*, January 2005,

https://www.researchgate.net/publication/245808024_Cost_Model_for_Planning_Development_and_Operation_of_a_Data_Center.

41. Microsoft. "Try System Center 2025." *Microsoft*,

<https://www.microsoft.com/en-us/system-center/system-center-2025>.

42. Inuva. "An Overview of Data Center Costs (All You Need to Know)." *A Comprehensive Guide to Datacenter Cost and Budgeting Considerations*,

https://intuva.solutions/data-center-costs/?hss_channel=lcp-102803714.

43. Fortinet. "Network Firewall Price: Comparing Security Costs." *Fortinet*,
<https://www.fortinet.com/products/network-firewall-pricing>.

44. Microsoft. "Precios y licencias de Windows Server 2025." *Microsoft*,

<https://www.microsoft.com/es-es/windows-server/pricing>.

45. Howell, Jeff. "Breaking Down Data Center Cost: Building vs. Outsourcing." *Breaking Down Data Center Cost: Building vs. Outsourcing*, 22 October 2024,
<https://encoradvisors.com/data-center-cost/>.

46. Smith, Jared. "The Current Average Cost of Electricity Per Country." *HostDime Blog*, 2 April 2020,

<https://www.hostdime.com/blog/average-cost-of-electricity-per-country/#:~:text=The%20world%20average%20price%20is,more%20than%20Americans%20on%20electricity>.

47. Uptime Institute. "Uptime Institute Issued Awards." *Uptime Institute Awards*,

<https://uptimeinstitute.com/uptime-institute-awards>.

48. Envirotec. "The ecological cost of a tweet | Envirotec." *Envirotec Magazine*, December 2022,

<https://envirotecmagazine.com/2022/12/08/tracking-the-ecological-cost-of-a-tweet/>.

49. DBG Group. "Is TikTok greener? Study finds carbon footprint larger than expected." *DGB Group*, 19 December 2024,

<https://www.green.earth/news/is-tiktok-greener-study-finds-carbon-footprint-larger-than-expected>.

50. TikTok. "El proyecto Clover avanza con el comienzo de la migración de datos al centro de datos noruego de TikTok - Sala de prensa | TikTok." *TikTok Newsroom*, 5 November 2024,
<https://newsroom.tiktok.com/es-es/actualizacion-proyecto-clover-migracion-datos-hamal>.

51. TikTok. "TikTok establece nuevos estándares de seguridad y sostenibilidad a través del programa Proyecto Clover, con una inversión de 12.000 millones de euros." *TikTok Newsroom*, 30 November 2023,
<https://newsroom.tiktok.com/es-es/tiktok-proyecto-clover-noviembre-2023>.

52. A., Luis. "TikTok deja una huella de carbono que supera las emisiones anuales de Grecia." *Teknofilo*, 21 December 2024,
<https://www.teknofilo.com/tiktok-deja-una-huella-de-carbono-que-supera-las-emisiones-anuales-de-grecia/>.

53. Greenly. "The Hidden Environmental Cost of Social Media." *Leaf Media*, 18 November 2024,
<https://greenly.earth/en-gb/leaf-media/data-stories/the-hidden-environmental-cost-of-social-media>.

54. CCRI. "The Merge – Implications on the Electricity Consumption and Carbon Footprint of the Ethereum Network." September 2022,
<https://www.semanticscholar.org/paper/The-Merge-Implications-on-the-Electricity-and-of-https://carbon-ratings.com/dl/eth-report-2022>.

55. Kalnoki, Amy. "Explained: Proof-of-Work vs. Proof-of-Stake Carbon Footprint." <https://www.bitwave.io/blog/explained-proof-of-work-vs-proof-of-stake-carbon-footprint>.

56. Kalnoki, Amy. "Is Proof-of-Stake REALLY More Energy-Efficient Than Proof-of-Work?"

<https://www.bitwave.io/blog/is-proof-of-stake-really-more-energy-efficient-than-proof-of-work>.

57. Batten, Daniel. "Quantifying the Potential Impact of Bitcoin Mining on Global Methane

Emissions." *BATCOINZ*, 2022,

<https://batcoinz.com/quantifying-the-potential-impact-of-bitcoin-mining-on-global-methane-emissions/>.

58. "IA y energía: ¿La IA reducirá las emisiones o aumentará la demanda?" *Foro Económico*

Mundial, 25 July 2024,

<https://es.weforum.org/stories/2024/07/ia-y-energia-la-ia-reducira-las-emisiones-o-aumentara-la-demanda/>.

59. Endesa. "¿Cuánta energía consume ChatGPT?" 11 Septiembre 2023,

<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/eficiencia-energetica/cuanta-energia-consume-chatgpt>.

60. de Vries, Alex. "The growing energy footprint of artificial intelligence." *Joule*, vol. 7, no. 10,

2023, p. 211, [https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(23\)00365-3](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(23)00365-3).

61. Paris, Martine, and Avishek Das. "ChatGPT Hits 1 Billion Users? 'Doubled In Just Weeks'

Says OpenAI CEO." *Forbes*, 12 April 2025,

<https://www.forbes.com/sites/martineparis/2025/04/12/chatgpt-hits-1-billion-users-openai-ceo-says-doubled-in-weeks/>.

62. Smith, Brad, and Melanie Nakagawa. "Our 2024 Environmental Sustainability Report."

Microsoft Blogs, 15 May 2024.,

<https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2024/05/15/microsoft-environmental-sustainability-report-2024/>

63. Google. "Environmental Report." *Google 2024 Environmental Report*, 2024,

<https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>.

64. "Microsoft 2024 Environmental Sustainability Report." *Microsoft*, 2024,
<https://cdn-dynmedia-1.microsoft.com/is/content/microsoftcorp/microsoft/msc/documents/presentations/CSR/Microsoft-2024-Environmental-Sustainability-Report.pdf>.
65. IEA. "AI is set to drive surging electricity demand from data centres while offering the potential to transform how the energy sector works - News - IEA." *International Energy Agency*, 10 April 2025,
<https://www.iea.org/news/ai-is-set-to-drive-surging-electricity-demand-from-data-centres-while-offering-the-potential-to-transform-how-the-energy-sector-works>.
66. Green Mountain. "Data Center Power Costs." *Data Center Power Costs Savings - Green Mountain Data Center*, 1 July 2020, <https://greenmountain.no/data-center-power-costs/>.

8. Uso de IA

Se ha utilizado la versión 4.5 de ChatGPT para el siguiente prompt (adjuntando el enunciado del trabajo):

"Siguiendo este enunciado y que debo hacer el escenario 01.- El cost dels CPDs, propón la estructura que debe seguir el trabajo y detalla la información que se debe incluir en cada sección"

Respuesta de ChatGPT:

Aquí tens una proposta detallada de l'estructura del treball per al tema **01.- El cost dels CPDs**, juntament amb la descripció específica i detallada que ha de contenir cada secció:

Estructura detallada del treball: "El cost dels CPDs"

Portada

Inclou:

- Títol del treball.
- Número del treball.
- Noms dels autors.

- Data de lliurament.
 - Nom del professor/a o assignatura.
-

Índex

Enumera les seccions i subseccions del treball amb la corresponent pàgina on es troben.

1. Introducció

- Presentació clara i concisa del tema escollit.
 - Justificació de la importància i rellevància actual dels CPDs.
 - Objectius específics que es prenenen assolir amb aquest assaig.
 - Explicació breu de l'estructura del treball i del que s'exposarà en cadascuna de les seccions.
-

2. Què és un CPD (Centre de Processament de Dades)?

- Definició tècnica i funcional d'un CPD.
 - Breu repàs històric de l'evolució dels CPDs.
 - Tipologies més comunes de CPDs (per exemple, empresarials, científics, institucionals, comercials).
-

3. Impacte ambiental dels CPDs

- Exposició detallada sobre el consum energètic dels CPDs actuals.
- Relació entre CPDs i emissions globals de CO₂.
- Explicació breu del perquè de la gran demanda energètica actual (servidors, refrigeració, infraestructures associades, etc.).
- Dades estadístiques actualitzades sobre consum i impacte ambiental.

4. Anàlisi de costos energètics de plataformes i serveis digitals específics

4.1 Twitter (X)

- Quantificació de l'ús d'energia per usuari o per operació.
- Cost energètic total dels CPDs relacionats amb Twitter.
- Comparació amb altres xarxes socials.

4.2 TikTok

- Anàlisi del cost energètic de l'emmagatzematge i distribució massiva de vídeos curts.
- Estadístiques sobre la despesa energètica relacionada amb la reproducció i càrrega de contingut.

4.3 Criptomonedes

- Breu explicació sobre mineria i validació blockchain.
- Quantificació del consum elèctric relacionat amb Bitcoin, Ethereum i altres criptomonedes populars.
- Impacte en emissions i costos econòmics directes i indirectes.

4.4 Entrenament de models d'intel·ligència artificial com ChatGPT

- Quantificació energètica dels grans models d'IA.
- Cas pràctic: costos reals de l'entrenament de ChatGPT (exemple i anàlisi del cas OpenAI).
- Discussió sobre tendències futures en el consum energètic dels models d'IA.

5. Estudi de casos específics o notícies rellevants

- Anàlisi crítica de la notícia recomanada a l'enunciat sobre l'impacte crític de la IA en el consum dels CPDs.
- Incloure almenys dos casos addicionals recents (últims 3 anys), amb dades verificables sobre el cost dels CPDs.

6. Comparativa i reflexió crítica

- Comparativa visual (gràfics i taules) entre les diferents plataformes analitzades pel que fa a cost energètic i emissions associades.
 - Discussió crítica sobre la percepció pública del cost energètic de les tecnologies digitals versus la realitat objectiva.
 - Reflexió sobre la responsabilitat ambiental i social associada a l'ús massiu d'aquestes tecnologies.
-

7. Conclusions

- Resum dels punts més importants tractats al treball.
 - Reflexió sobre la importació d'una major consciència sobre l'impacte ambiental real de l'ús dels CPDs.
 - Suggeriments per a futures investigacions o temes relacionats que no s'han pogut tractar en aquest treball però que serien interessants d'estudiar.
-

8. Bibliografia

- Referències bibliogràfiques (articles científics, informes tècnics, webs oficials, llibres especialitzats).
 - Evitar l'ús exclusiu de fonts generals com Wikipedia. Prioritzar fonts acadèmiques i tècniques fiables i actualitzades.
-

9. Annexos

En cas d'utilitzar ChatGPT o una altra eina IA:

- Indicació clara del seu ús i versió utilitzada.
- Inclusió dels prompts inicials, primera versió generada per IA, així com les correccions i validacions posteriors.
- Explicació clara sobre les limitacions trobades i solucions aportades.

Pautes per la presentació oral (transparències)

Preparar una presentació de màxim 15 minuts que inclogui:

- Una breu introducció al tema per captar l'interès.
 - Explicació ràpida i visual dels costos energètics més impactants.
 - Casos concrets destacats amb dades clares i visuals.
 - Conclusions clares, breus i impactants per al públic.
-

Aquesta estructura compleix els criteris de l'enunciat que se t'ha proporcionat, incloent-hi recomanacions específiques de qualitat, profunditat, fonts fiables i format clar i coherent.