



## Data Centres: Digitalisation Powerhouse and Energy Efficiency Potential

Cardoso, Ana; Camarasa Hernando, Clara; Køien, Geir M.; Wang, Xiao; Deschamps, Sophie

*Publication date:*  
2020

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Cardoso, A., Camarasa Hernando, C., Køien, G. M., Wang, X., & Deschamps, S. (2020). *Data Centres: Digitalisation Powerhouse and Energy Efficiency Potential*.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



INFORME 2

# Centros de datos: Central de la Digitalización y Potencial de eficiencia energética

## MENSAJES CLAVE

- La digitalización de la economía en todo el mundo y las innovaciones tecnológicas como la inteligencia artificial (AI), el Internet de las cosas (IoT) y Blockchain están impulsando un crecimiento exponencial de la demanda de servicios de los centros de datos.
- Los centros de datos consumen aproximadamente 200 TWh de electricidad al año, lo que corresponde aproximadamente al 1% de la demanda mundial de electricidad<sup>iv</sup>.
- Para frenar el rápido crecimiento del consumo de energía de los centros de datos, es fundamental que la futura demanda de servicios de centros de datos sea satisfecha por centros de datos de elevada eficiencia energética y que se acelere su transición a energía de fuentes renovables.
- Los responsables de desarrollo de políticas deberían establecer un mecanismo sólido para reunir datos y publicar estadísticas sobre el uso de energía de los centros de datos, de manera similar a lo que se ha hecho para otros sectores de gran consumo de energía.



### ¿QUÉ ES UN CENTRO DE DATOS?

Un centro de datos es un edificio dedicado o una sala separada, que alberga la tecnología para el procesamiento, el almacenamiento y la comunicación de datos de una o más organizaciones. Este espacio se utiliza exclusivamente para la colocación de equipos de tecnologías de la información (TI), como equipos informáticos (servidores), dispositivos de almacenamiento de datos (unidades de disco duro y de cinta), todo el equipo de red (enrutadores, conmutadores, módems) para la comunicación de datos, y la infraestructura de energía y refrigeración necesaria. El centro de datos también está equipado con una fuente de energía confiable, conectividad de gran ancho de banda, sistemas de seguridad sofisticados y controles para la gestión del edificio, incluida su climatización.

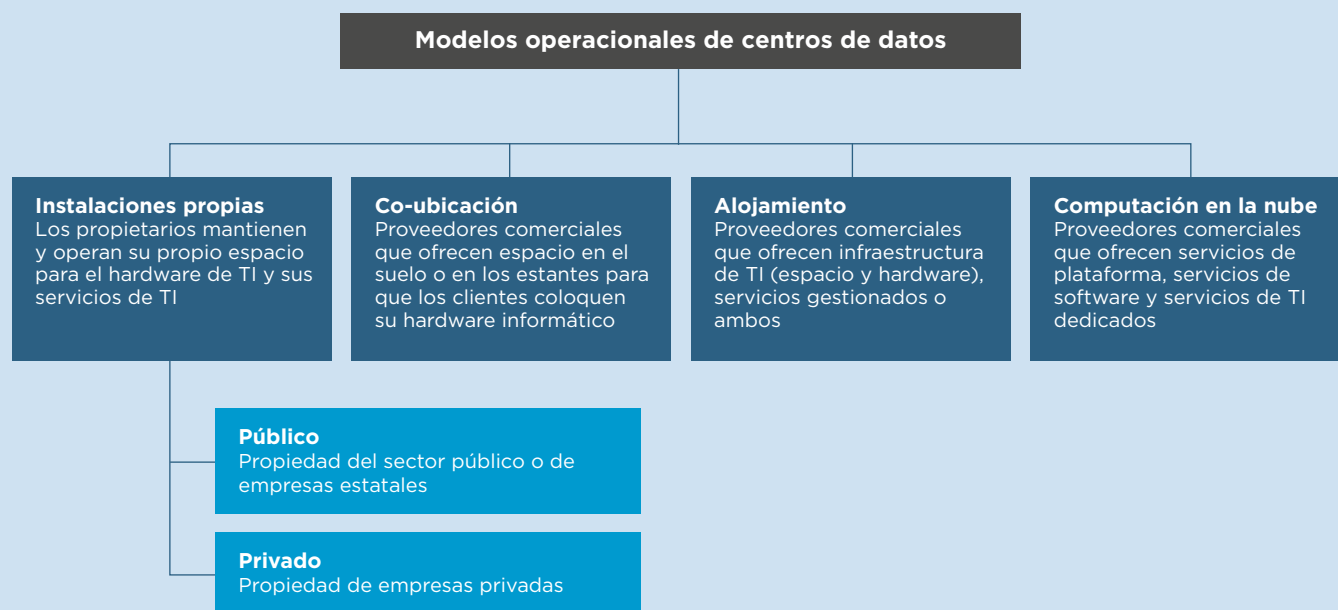
Algunas organizaciones tienen salas de almacenamiento en las que se albergan algunos servidores, entre otros equipos, pero esto no se considera un centro de datos porque no se trata de una infraestructura dedicada al procesamiento, almacenamiento y comunicación de datos.

### ¿POR QUÉ NECESITAMOS CENTROS DE DATOS?

Las actividades cotidianas como leer un correo electrónico, presentar una declaración de impuestos, hacer una transferencia bancaria, pagar una factura, buscar una pa-

labra en Internet y utilizar un teléfono inteligente están respaldadas por centros de datos. La economía digitalizada y la sociedad conectada dependen de los datos y de la conectividad, que deben ser gestionados de forma segura y eficiente. Los centros de datos son una parte fundamental de la infraestructura nacional porque los datos sustentan muchas actividades en los sectores público y privado. No es una exageración decir que los centros de datos posibilitan economías de servicios, como en el pasado las industrias pesadas posibilitan las economías industriales. En un mundo cada vez más digitalizado con una demanda creciente de gestión, procesamiento y almacenamiento de datos, los centros de datos desempeñan un papel fundamental como infraestructura de apoyo a la economía digitalizada. La aplicación de la AI, el despliegue del IoT y la minería de cripto-divisas contribuyen también al crecimiento de la demanda de servicios de los centros de datos. Se estima que en 2021 habrá 7,2 millones de centros de datos en el mundo, que almacenarán alrededor de 1,3 exabytes de datos. Esto representa un aumento de casi ocho veces la cantidad de datos almacenados, en comparación con 2015, debido principalmente al crecimiento del almacenamiento de big data<sup>ii</sup>.

**Figura 1: Modelos operacionales típicos de los operadores de centros de datos. Adaptación de Hintemann (2015)**



## ¿CÓMO PODEMOS CARACTERIZAR LOS CENTROS DE DATOS?

### MODELOS OPERACIONALES DE CENTROS DE DATOS

El funcionamiento de los centros de datos se basa en dos tipos de activos principales: 1) la infraestructura física, es decir, edificio y equipo, y 2) la oferta de servicios, es decir, almacenamiento, gestión y mantenimiento, y seguridad de los datos. La propiedad de estos activos y su gestión pueden adoptar formas diversas en cada caso, lo que se traduce en diferentes modelos de funcionamiento (Figura 1). Aparte de las organizaciones que optan por tener sus propios centros de datos, hay proveedores comerciales que ofrecen diferentes configuraciones de servicios a los clientes.

Los modelos operacionales más comunes para los servicios de procesamiento y almacenamiento de datos son:

- **Instalaciones propias:** también conocidos como centros de datos in situ, el principio clave de este modelo es que la organización, ya sea pública o privada, gestiona su propio espacio para la tecnología de procesamiento y almacenamiento de datos que utiliza. Normalmente, el departamento de TI de la organización será responsable de todos los aspectos de la infraestructura y la gestión del centro de datos. Ejemplos de empresas con centros de datos propios son los bancos comerciales y las telecomunicaciones.
- **Co-ubicación:** la empresa operadora del centro de datos construye y es propietaria del edificio dedicado y alquila espacio en el mismo con la infraestructura de suministro energético y refrigeración necesaria. Los

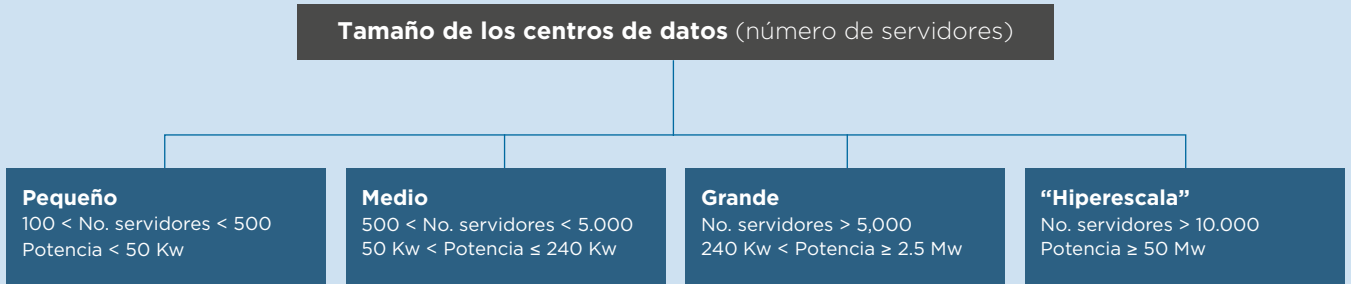
clientes colocan sus propios servidores y dispositivos de almacenamiento de datos allí. Además del espacio, pueden prestarse otros servicios, como por ejemplo el mantenimiento de los equipos informáticos y la interconexión entre los clientes y sus principales socios. La empresa de co-ubicación garantiza la seguridad, la fiabilidad, la conectividad y la potencia. Ejemplos de empresas que ofrecen servicios de co-ubicación son Interxion, GlobalConnect, DigiPlex, Digital Realty y Equinix. En este modelo existen centros de datos al por menor y al por mayor. La co-ubicación minorista consiste en el alquiler de espacio dentro de un centro de datos, a saber, un bastidor, o espacio de bastidor, o un espacio apantallado. Mientras que la co-ubicación al por mayor se refiere al alquiler de salas o edificios enteros.

- **Centros de datos de alojamiento:** la empresa operadora del centro de datos presta diversos servicios que van desde los servicios gestionados hasta el alojamiento. La gama de servicios prestados puede variar: algunos operadores de centros de datos arriendan todo el equipo informático para el procesamiento, el almacenamiento y la comunicación de datos, y los clientes gestionan ese equipo e instalan sus propios programas y aplicaciones; otros también gestionan el equipo y ofrecen recursos informáticos virtualizados; e incluso otros gestionan el equipo informático que es propiedad de sus clientes (servicios de hosting gestionado). Los clientes pagan por los servicios que utilizan y, por lo general, éstos se contratan en virtud de un acuerdo de nivel de servicio. Estos operadores de centros de datos pueden ser propietarios del edificio del centro de datos o pueden alquilar espacio en centros de datos de ubicación

**Tabla 1. Niveles de clasificación de los centros de datos y su caracterización. Fuente: Pitt et al.<sup>iii</sup>**

Nivel de clasificación	Tiempo de actividad (%)	Tiempo de inactividad por año (horas)	Tipo de redundancia
Tier 1	99,671%	28.8	Ninguno
Tier 2	99.749%	22	Parcial (componentes N+1)
Tier 3	99.982%	1.6	Tolerante a fallos (2N+1 componentes)
Tier 4	99.995%	0.04	Tolerante a fallos (2N+1 componentes)

**Figura 2: Clasificación de los centros de datos según su tamaño (número de servidores). Creación de los autores, basada en Schomaker et al.<sup>ix</sup> and Hintemann<sup>i</sup>**



conjunta. Ejemplos de empresas que ofrecen estos servicios son Rackspace y CenturyLink.

- **Computación en la nube:** la empresa operadora del centro de datos construye y dirige el centro de datos completamente, incluyendo toda la infraestructura y el hardware de TI, y vende servicios relacionados con el software y las aplicaciones a los clientes. Las ofertas de servicios incluyen la plataforma como servicio, el software como servicio, la infraestructura como servicio, o los servicios de TI dedicados, ya sea en el mercado o a medida. Los clientes sólo pagan por los servicios que necesitan, y este modelo a veces se denomina modelo de pago por uso. Ejemplos de empresas que ofrecen estos servicios son Microsoft Azure, iCloud de Apple, Google Cloud Platform, Alibaba Cloud, Oracle Cloud, Amazon Web Services, servicios de nube privados de IBM, Fujitsu y Atos.

Mientras que algunos proveedores de centros de datos operan sólo con uno de los modelos anteriores, otros ofrecen una combinación de servicios que combinan elementos de diferentes modelos de funcionamiento.

### NIVELES DE CLASIFICACIÓN DE LOS CENTROS DE DATOS

Los niveles de centros de datos son una forma eficiente de describir los componentes de infraestructura que se utilizan en el centro de datos de una empresa. Aunque un centro de datos de nivel 4 es más complejo que un centro de datos de nivel 1, esto no significa necesariamente que sea el más adecuado para las necesidades de las empresas.

### TAMAÑOS DE CENTROS DE DATOS

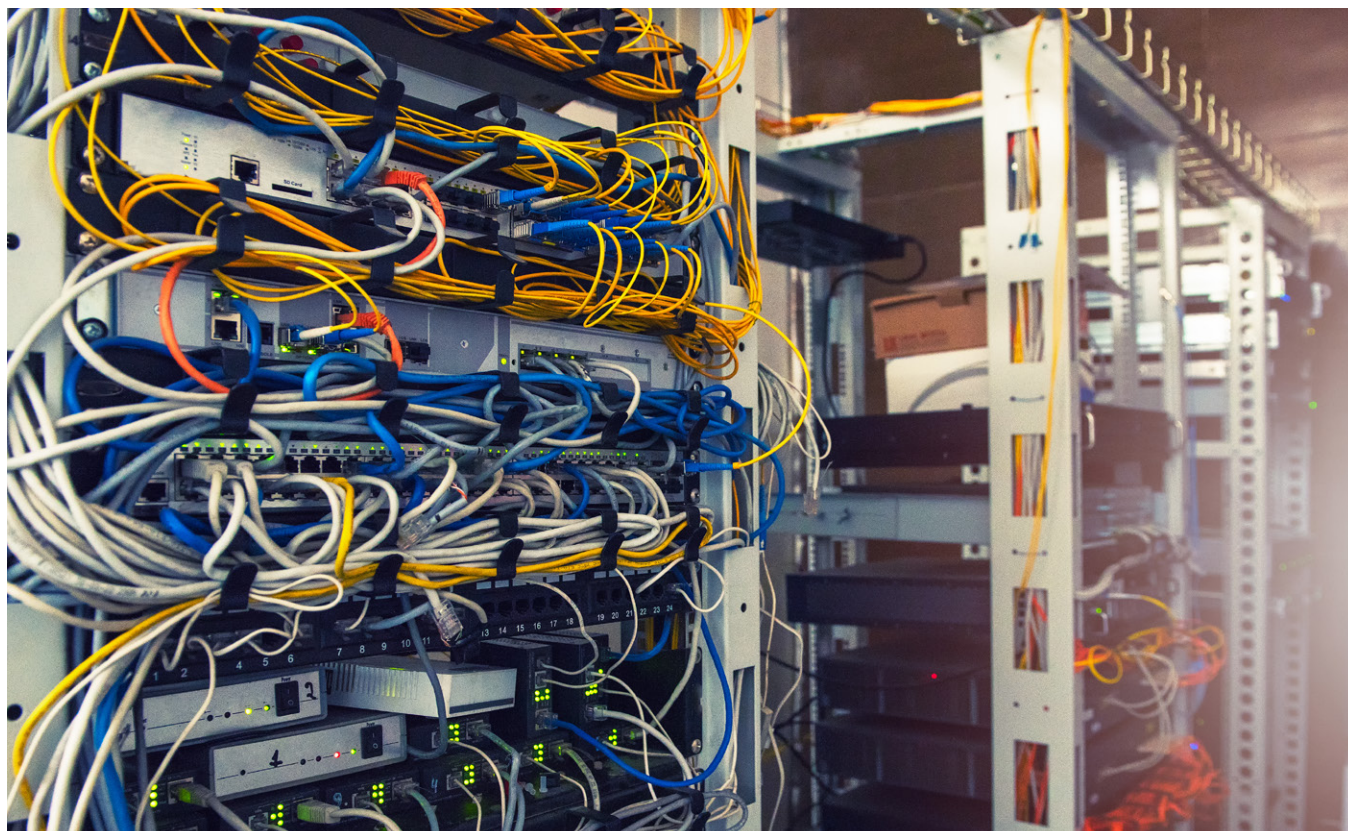
Otra forma de caracterizar los centros de datos es en cuanto a su tamaño; esto es, considerando el número de servidores que contienen o el espacio que ocupa el edificio o la sala del centro de datos. Pueden variar desde un tamaño pequeño, con menos de 500 servidores, hasta un centro de datos a hiperescala, con más de 10.000 servidores (Figura 2).

A pesar de la tendencia a que los centros de datos sean cada vez más grandes, en consonancia con el continuo aumento de la demanda de servicios de centros de datos, los centros de datos más pequeños no desaparecerán. De hecho, se prevé que el número de centros de datos más pequeños aumente debido a la computación de proximidad (o Edge Computing) y son cada vez más relevantes y necesarios en el contexto de los adelantos tecnológicos como el IoT y las ciudades inteligentes, que requieren un procesamiento de información localizado y requisitos de latencia de comunicación de datos muy exigentes.

### ¿CUÁL ES EL CONSUMO DE ENERGÍA DE UN CENTRO DE DATOS?

Se estima que los centros de datos representan entre el 1 y el 1,5% del total de la energía utilizada en todo el mundo, lo que corresponde a unos 200 TWh de electricidad . Aunque el tamaño total de los datos almacenados en los centros de datos ha experimentado un rápido aumento en la última década, el uso mundial de energía de los centros de datos ha aumentado sólo modestamente debido a la integración de medidas de eficiencia energética. En efecto, mientras





que el uso de energía aumentó en un 6% en el período de 2010 a 2018, el número de instancias de computación en los centros de datos aumentó en un 550%<sup>iii</sup>. Las mejoras en la eficiencia de los procesadores y las unidades de almacenamiento, la gestión eficiente de los servidores mediante la virtualización y la consolidación, y los cambios en curso de los centros de datos tradicionales a centros de datos en la nube--más eficientes desde el punto de vista energético-- contribuyeron a este desacoplamiento entre el crecimiento del uso de la energía y el crecimiento de las instancias de computación. Sin embargo, para mantener bajo control el uso de energía de los centros de datos, es fundamental garantizar que la futura demanda de servicios de los centros de datos sea satisfecha por centros de datos de elevada eficiencia energética que incorporen fuentes de energía renovables.

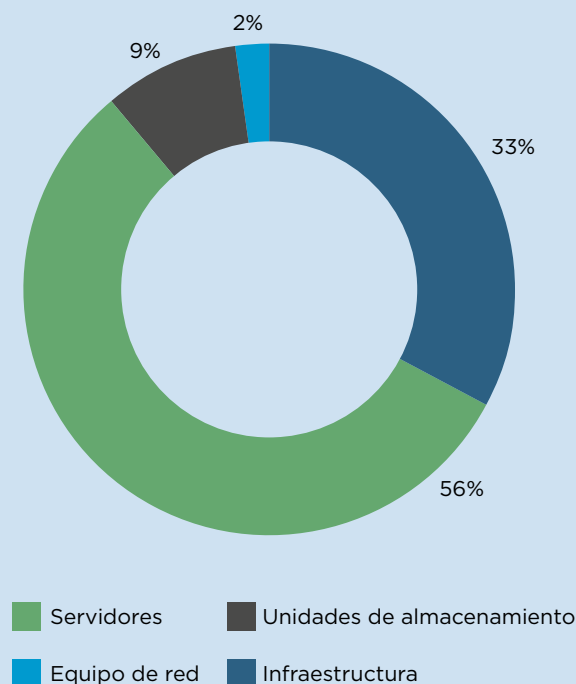
Los centros de datos son edificios de gran consumo energético que requieren de 10 a 100 veces más electricidad por superficie que otros tipos de edificios comerciales. La demanda de electricidad de un centro de datos se divide en cuatro componentes principales<sup>v</sup>:

- **Infraestructura:** La infraestructura es lo que apoya el funcionamiento del equipo de TI. Consiste en el sistema de refrigeración, la distribución de energía, iluminación y seguridad, y baterías y generadores. Un indicador que mide la eficiencia de la infraestructura es la eficacia del uso de la energía (PUE), que representa el uso total de energía del centro de datos en relación con el uso de energía del equipo de TI<sup>iv</sup>. Un valor de PUE cercano a 1 indica una alta eficiencia de la infraestructura

de apoyo, en la que casi toda la electricidad consumida en el centro de datos se dedica al equipo informático. A pesar de que esta métrica se utiliza ampliamente en la industria, es sin embargo inadecuada para captar la eficiencia de un centro de datos porque no indica nada sobre la eficiencia del equipo de TI y el rendimiento del centro de datos (por ejemplo, el número de cálculos) en relación con su uso de energía<sup>vi</sup>.

- **Servidores:** Los servidores son típicamente el componente informático que utiliza más energía en un centro de datos. El consumo de energía de los servidores está parcialmente relacionado con su utilización. La mayoría de los servidores funcionan por debajo de su capacidad máxima de energía. La consolidación de los servidores, es decir, la sustitución de múltiples servidores que funcionan a baja capacidad por un único servidor consolidado que funcione a mayor capacidad es una medida clave para la mejora de la eficiencia energética<sup>iv</sup>.
- **Unidades de almacenamiento:** El almacenamiento en un centro de datos incluye el almacenamiento en disco duro y mediante tecnologías de estado sólido, que tienen un uso de energía diferente<sup>iv</sup>. Los discos duros suelen tener un mayor consumo de energía, pero la innovación continua está reduciendo su consumo de energía, en convergencia con los valores de los discos de estado sólido.
- **Equipo de red:** El uso de energía del equipo de red es el menos significativo entre los equipos de TI de un centro de datos. La tendencia a un mayor uso de las redes móviles podría tener algún impacto en este sentido, ya que la intensidad eléctrica de las redes móviles es ma-

**Figura 3: Composición de la demanda de energía en los centros de datos a nivel mundial (2020). Elaborado con datos de la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency)<sup>vi</sup>**



yor que la de las redes de línea fija. A pesar de que las redes 4G y 5G son menos intensivas en energía que las redes 3G, la mayor velocidad de transmisión de datos que permiten puede dar lugar a mayores volúmenes de tráfico en las redes móviles<sup>vi</sup>.

En la Figura 3 se muestra la contribución relativa de cada componente a la demanda general de electricidad de los centros de datos de todo el mundo en 2020, sobre la base de los datos publicados por la International Energy Agency (2019)<sup>vii</sup>.

### ¿CÓMO UTILIZA EL CENTRO DE DATOS LA ENERGÍA EN SUS OPERACIONES

Desde una perspectiva holística, los centros de datos utilizan la energía en todas las etapas de su ciclo de vida, a saber, en las fases de construcción, funcionamiento y reciclaje. Esta sección se centra en el uso de la energía de los centros de datos en la fase de funcionamiento. Un centro de datos opera con diferentes tipos de equipo, todos los cuales necesitan electricidad. En general, los centros de datos incluyen el siguiente equipamiento<sup>viii</sup>:

- **Granjas de servidores:** equipo para procesar y almacenar datos, a saber, grupos de servidores interconectados, apilados en estantes o armarios cerrados
- **Redes y comunicación:** equipo para mantener una comunicación de datos de gran ancho de banda, incluyendo enrutadores, conmutadores y cableado

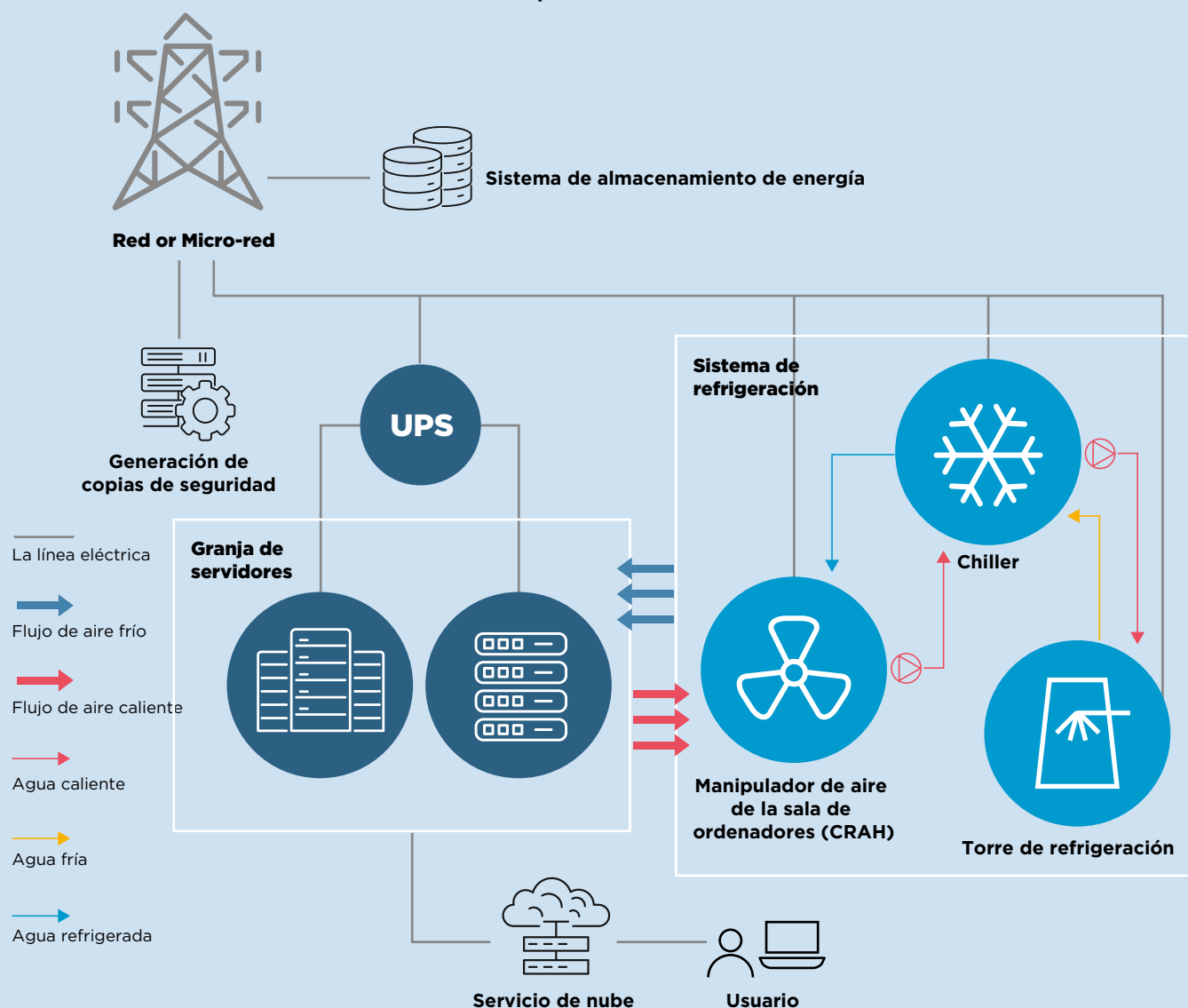
- **Distribución de energía:** equipo para proporcionar electricidad al centro de datos
- **Generación de respaldo de energía:** equipo para proporcionar electricidad de reserva en caso de fallo en el suministro de energía de red.
- **Almacenamiento de energía:** sistemas de baterías para proporcionar electricidad instantáneamente durante el retardo de arranque de la fuente de alimentación de respaldo
- **Sistema de climatización y flujo de aire:** equipo para asegurar que la temperatura ambiente alrededor de los servidores esté dentro del rango apropiado. El flujo de aire en los centros de datos se configura de manera que se forman pasillos de aire caliente y pasillos de aire frío. El sistema de climatización y flujo de aire necesita extraer el aire caliente del equipo y distribuir el aire frío. Los sistemas más comunes de climatización y flujo de aire son la unidad de tratamiento de aire de la sala de computadoras (CRAH) y el aire acondicionado de la sala de computadoras (CRAC)
- **Sistema de refrigeración:** equipo para enfriar el aire que se sopla en los pasillos de aire frío del centro de datos. Se suele utilizar junto con las unidades de tratamiento de aire de la sala de computadoras (CRAH), ya que los acondicionadores de aire de las salas de computadoras utilizan sus propios condensadores para reducir la temperatura del aire
- **Sistema de control y seguridad:** equipo para controlar y gestionar el flujo de energía, tomar decisiones críticas en momentos de emergencia y garantizar la seguridad de los datos almacenados

Un centro de datos puede ser visto como un sistema convertidor de energía que consume energía eléctrica y la convierte en calor. El centro de datos es un sistema cerrado en el que las únicas conexiones con el mundo exterior son la energía eléctrica e Internet. La Figura 4 muestra un ejemplo de cómo se interconectan los componentes del centro de datos, en el que el sistema de refrigeración es un enfriador de agua.

Las principales preocupaciones de los centros de datos son la seguridad y la disponibilidad de sus servicios<sup>ix</sup>. La seguridad significa que los operadores de los centros de datos deben prevenir las actividades maliciosas en línea, reducir en la mayor medida posible la posibilidad de que se produzcan robos físicos y reducir al mínimo los efectos de los desastres naturales y el eventual uso indebido por personal no cualificado. Disponibilidad significa reducir en la mayor medida posible el impacto de los cortes de energía, las fallas de hardware y otros fallos similares a fin de evitar la interrupción del servicio. Para abordar estas cuestiones, los centros de datos necesitan una combinación de sistemas redundantes para todos los tipos de equipo que utilizan. Estos sistemas redundantes se suman en términos de la demanda energética global del centro de datos. El nivel de

**Figura 4: Arquitectura típica de un centro de datos refrigerado por un enfriador de agua.**

Fuente: Adaptación de Rahmani et al<sup>vii</sup>



redundancia y seguridad de un centro de datos se describe por su valor de nivel: cuanto más alto sea el valor de nivel, mayor será el nivel de seguridad y disponibilidad que pueda proporcionar.

### ¿CÓMO AUMENTAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS CENTROS DE DATOS?

Habida cuenta de la creciente demanda de energía de los centros de datos y de su papel fundamental en la digitalización de la economía, los esfuerzos por garantizar el desarrollo sostenible de los centros de datos son una consideración primordial. Estos esfuerzos se centran principalmente en la mejora de su eficiencia energética durante el funcionamiento, en particular en el equipo informático, el sistema de refrigeración y el sistema de suministro de energía<sup>iii</sup>. Algunos ejemplos de esos esfuerzos son la consolidación de los servidores, la sustitución de los chips y los servidores para aumentar la eficiencia operacional, el aprovechamiento del calor de los servidores para la ca-

lfacción de distrito, la utilización de la refrigeración atmosférica a base de aire y agua, el paso a sistemas de hiperescala, la refrigeración de los servidores con materiales aislantes y el uso de la AI para regular el sistema de refrigeración del centro de datos<sup>x</sup>. Además, para hacer frente a la escasez de material se puede mejorar la eficiencia de los materiales durante la fabricación del equipo o aumentar la reutilización y el reciclado de los materiales al final de la vida útil del equipo<sup>xi</sup>.

Más allá de la eficiencia energética, los grandes actores del sector de las TIC, como Google, Microsoft y Facebook, también han comenzado a aumentar el uso de energías renovables que alimentan las operaciones de sus centros de datos a través de, por ejemplo, la energía fotovoltaica o las turbinas eólicas. Con este fin, un factor crítico a la hora de elegir la ubicación de un centro de datos es el contenido de energía renovable del suministro de energía, la estabilidad de la red eléctrica y la temperatura ambiente media anual.



## AGRADECIMIENTOS

### AUTORES

#### Ana Cardoso

Investigadora. UNEP DTU Partnership

#### Clara Camarasa

Post-doc Investigadora. Copenhagen Centre on Energy Efficiency, UNEP DTU Partnership

### COLABORADORES

#### Geir M. Kjøien

Profesor de Ciberseguridad. University of South-Eastern, Norway

#### Xiao Wang

Oficial de Programa. Copenhagen Centre on Energy Efficiency, UNEP DTU Partnership

#### Jose Mainez

Consultor Director. INSOLATIO

**El Centro de Copenhague para la Eficiencia Energética (The Copenhagen Centre on Energy Efficiency)** funciona como el centro temático mundial de eficiencia energética de Energía Sostenible para Todos (SEforALL) y, en consecuencia, trabaja directamente para apoyar el objetivo del SEforALL de duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética para 2030.

El Centro de Copenhague cumple su misión a través de:

- La ayuda al cambio de políticas en países y ciudades, mediante desarrollo del conocimiento, análisis y apoyo técnico
- La aceleración la acción mediante la innovación en el desarrollo y financiación de proyectos
- La elevación del perfil de la eficiencia energética mediante la comunicación de soluciones exitosas y del apoyo a la divulgación.

Para más información, por favor visite **[www.energyefficiencycentre.org](http://www.energyefficiencycentre.org)** o contáctenos a través de **[c2e2@dtu.dk](mailto:c2e2@dtu.dk)**.

En relación a nuestro trabajo acerca de los Centros de Datos Sostenibles y Energía Inteligente, por favor contacte con Xiao Wang en **[xwang@dtu.dk](mailto:xwang@dtu.dk)**

Visite el Sistema de Gestión de Conocimiento del Centro de Copenhague (KMS) en **[kms.energyefficiencycentre.org](http://kms.energyefficiencycentre.org)**

El Centro de Copenhague para la Eficiencia Energética institucionalmente forma parte de la Asociación entre DTU y el PNUMA (UDP). UDP es un Centro de Colaboración del PNUMA y una destacada institución internacional de asesoramiento en materia de investigación sobre energía, clima y desarrollo sostenible.

Sin embargo, se necesitan datos públicos y competencias de modelización mucho mejores para vigilar el uso de la energía de los centros de datos a fin de elaborar y evaluar políticas basadas en pruebas. Por consiguiente, los encargados de la formulación de políticas nacionales deberían diseñar sistemas sólidos de colección de datos y de depósito de código abierto. Esos esfuerzos son particularmente importantes dadas las proyecciones de crecimiento del uso de energía de los centros de datos<sup>iii</sup>.

## REMERCIEMENTS

- i Hintemann, R. (2015). Consolidation, colocation, virtualisation, and cloud computing: The impact of the changing structure of data centers on total electricity demand. In L. M. Hilty & B. Aebischer (Eds.), *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Advances i, Vol. 310, pp. 125–136). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_7)
- ii Statistics from <https://www.statista.com>
- iii Pitt, W., Iv, T., Seader, J. H., & Brill, K. G. (2001). Industry Standard Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance. The Uptime Institute.
- iv Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481). <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09809-8>
- v Shehabi, A., Smith, S. J., Masanet, E., & Koomey, J. (2018). Data center growth in the United States: decoupling the demand for services from electricity use. *Environ. Res. Lett.*, 13, 124030. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaec9c>
- vi Shehabi, A., Smith, S., Horner, N., Azevedo, I., Brown, R., Koomey, J., ... Sartor, D. (2016). United States Data Center Energy Usage Report. Retrieved from <https://eta.lbl.gov/publications/united-states-data-center-energy>
- vii IEA (2019), Tracking Buildings, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2019/data-centres-and-data-transmission-networks#abstract>
- viii Rahmani, R., Moser, I., & Seyedmahmoudian, M. (2018). A complete model for modular simulation of data centre power load. *arXiv preprint arXiv:1804.00703*
- ix Schomaker, G., Janacek, S., & Schlitt, D. (2015). The Energy Demand of Data Centers. In L. M. Hilty & B. Aebischer (Eds.), *ICT Innovations for Sustainability* (Advances i, pp. 113–124). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_6)
- x Huusko, J., de Meer, H., Klingert, S., & Somov, A. (Eds.). (2012). *Energy Efficient Data Centers*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33645-4>
- xi Laurent, A., and Dal Maso, M. (2020). Environmental sustainability of data centres: A need for a multi-impact and life cycle approach. Data Centre Brief Series. Copenhagen Centre on Energy Efficiency.