

RELEVANCIA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LOS CENTROS DE DATOS EN AMÉRICA LATINA

Posibilidades de mitigación del cambio climático
mediante los criterios de ecoetiquetado y la
compra pública sostenible

Realización: Oeko-Institute

Estudio técnico | Marzo 2025

On behalf of:



of the Federal Republic of Germany



Como empresa federal, GIZ apoya al gobierno alemán en la realización de sus objetivos en el ámbito de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible.

Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por medio del Proyecto EcoAdvance

Oficinas registradas

Bonn y Eschborn, Alemania; Brasilia, Brasil; Bogotá, Colombia; Ciudad del México, México; Quito, Ecuador; San José, Costa Rica

Autoras:

Lucía Gascón Castillero,
Viviana López Hernández,
Oeko-Institute

Con el apoyo de

Felix Behrens,
Sergio Loranca,
Oeko-Institute

Proyecto gráfico:

Vinicius Chozo Inoue

Contacto:

Viviana López Hernández
Investigadora Asociada
División de Productos y Flujos de Materiales
Oeko-Institute
Apartado de correo 17 71
79017 Freiburg. Alemania / Germany
Teléfono: +49 761 45295-297
Correo electrónico: v.lopez@oeko.de
Página web: www.oeko.de

Álvaro Luna
Director del Proyecto EcoAdvance
Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Agencia GIZ Brasilia
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501 Ed. Brasília Trade Center
70711-902, Brasilia - DF
Correo electrónico: alvaro.luna@giz.de
Correo electrónico: giz-brasilien@giz.de
Página web: www.giz.de/brasil

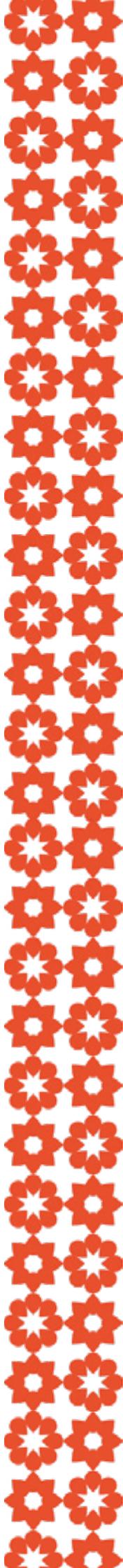


RELEVANCIA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LOS CENTROS DE DATOS EN AMÉRICA LATINA

Posibilidades de mitigación del cambio climático mediante los criterios de ecoetiquetado y la compra pública sostenible

Con el apoyo del proyecto ***EcoAdvance: Etiquetado ambiental y Compras Públicas Sostenibles***, implementado conjuntamente por la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Oeko-Institute. Financiado por el Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear y Protección del Consumidor (BMUV) a través de la Iniciativa Internacional sobre el Clima (IKI).

El proyecto EcoAdvance es una iniciativa regional que engloba a Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador y México, que integra a entidades locales e internacionales para promover sinergias entre el ecoetiquetado y la contratación pública, estimulando prácticas de producción y consumo más sostenibles y contribuyendo a la conservación del medio ambiente, la protección de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.



ÍNDICE

Lista de abreviaturas	4
1 Introducción	7
2 Los impactos de la digitalización	11
2.1 Centros de datos: La columna vertebral de la infraestructura digital moderna	13
2.2 Desarrollos globales en el panorama de los centros de datos.....	16
2.2.1 Mercados emergentes: El caso de Malasia y factores estratégicos	16
2.2.2 Aumento de la demanda de almacenamiento en la nube y servicios digitales en el sector público.....	17
2.2.3 Avances recientes en la transición ecológica de la industria de los centros de datos	19
3 Impacto ambiental de los centros de datos....	23
3.1 Consumo de materias primas.....	23
3.2 Consumo acumulado de energía	25
3.3 Consumo de agua	26
3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero.....	27
3.5 Residuos electrónicos	29
3.6 Distribución del impacto ambiental entre subsistemas y fases del ciclo de vida de un centro de datos	30
3.7 Enfoques técnicos para abordar el impacto ambiental de los centros de datos	32

4 América Latina en el panorama mundial de los centros de datos 37

4.1 Contratación pública de centros de datos en América Latina	42
--	----

5 Mejora del rendimiento energético y medioambiental de los centros de datos..... 45

5.1 Políticas de eficiencia energética	45
5.2 Esquemas de ecoetiquetado y certificación.....	49
5.3 Contratación pública sostenible.....	51
5.4 Otras medidas	53
5.4.1 Contratos de rendimiento energético	53
5.4.2 Reglamento de Taxonomía de la UE	53
5.4.3 Requisitos de diseño ecológico para servidores y productos de almacenamiento de datos.....	54

6 Criterios de sostenibilidad para centros de datos eficientes en recursos..... 57

6.1 Gestión de la energía.....	59
6.2 Eficiencia de la refrigeración.....	61
6.3 Consumo de agua	61
6.4 Energía renovable	62
6.5 Índice de utilización de los servidores.....	63
6.6 Otros criterios	64
6.6.1 Refrigerantes.....	65
6.6.2 Emisiones de carbono	65
6.6.3 Gestión al final de la vida útil	66

7 Consideraciones finales 69

8 Referencias 73



LISTA DE ABREVIATURAS

ADP	Potencial de agotamiento de recursos abióticos (<i>Abiotic resource Depletion Potential</i>)
CED	Demanda acumulada de energía (<i>Cumulative Energy Demand</i>)
CER	Índice de eficiencia de refrigeración (<i>Cooling Effectiveness Ratio</i>)
CI	Circuito integrado
CPS	Compras públicas sostenibles / Contratación pública sostenible
CPU	Unidad Central de Proceso (<i>Central Processing Unit</i>)
CRM	Materia prima crítica (<i>Critical Raw Material</i>)
DEE	Directiva europea sobre eficiencia energética
EE	Ecoetiquetado / Etiquetado ecológico
EN 50600	Norma europea para infraestructuras de centros de datos
EPC	Contrato de rendimiento energético (<i>Energy Performance Contracting</i>)
ERF	Factor de reutilización de la energía (<i>Energy Reuse Factor</i>)
GEI	Gases de efecto invernadero
GW	Gigavatios
GWh	Gigavatios-hora
GWP	Potencial de calentamiento global (<i>Global Warming Potential</i>)
HDD	Unidad de disco duro (<i>Hard Disk Drive</i>)

HVAC	Calefacción, ventilación y aire acondicionado (<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>)
IA	Inteligencia artificial
ITEUsv	Utilización de equipos informáticos para servidores
KPI	Indicador clave de rendimiento (<i>Key Performance Indicator</i>)
kWh	Kilovatio-hora
Mt	Millones de toneladas
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PCB	Placa de circuito impreso (<i>Printed Circuit Board</i>)
PDU	Unidad de distribución de energía (<i>Power Distribution Unit</i>)
PUE	Eficiencia del uso de la energía (<i>Power Usage Effectiveness</i>)
PYME	Pequeñas y medianas empresas
RAEE	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
REF	Factor de energía renovable (<i>Renewable Energy Factor</i>)
SAI	Sistema de alimentación ininterrumpida
SSD	Unidad de estado sólido (<i>Solid State Drive</i>)
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
TI	Tecnologías de la información
TWh	Teravatio-hora
UE	Unión Europea
WUE	Eficiencia del uso del agua (<i>Water Usage Effectiveness</i>)

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto EcoAdvance contribuye a la mitigación del cambio climático, la protección de la biodiversidad y la conservación de los recursos promoviendo el consumo y la producción sostenibles en cinco países de América Latina (Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador y México) mediante el uso del ecoetiquetado (EE) y las Compras Públicas Sostenibles (CPS). Mediante el fortalecimiento de las capacidades en los países objetivo, los actores pertinentes pueden integrar criterios ambiciosos en las ecoetiquetas y los procesos de CPS, dirigiéndose a productos y servicios con gran relevancia medioambiental y de contratación pública.

El proyecto se dirige principalmente a las instituciones de ecoetiquetado y compra pública dentro de los países objetivo. También se dirige a las pequeñas y medianas empresas y a las asociaciones empresariales ya que influyen en la oferta de productos ecoetiquetados y en la demanda de CPS. El proyecto colabora con redes que potencian la participación y el intercambio global, como One Planet Network.

El primer eje del proyecto EcoAdvance es desarrollar o reforzar criterios ambiciosos para las ecoetiquetas de tipo 1 en grupos

de productos relevantes para las CPS. Los centros de datos se han identificado como uno de los grupos de productos con gran relevancia para la contratación pública y con uno de los mayores potenciales para la mitigación del cambio climático. Por un lado, forman parte de la infraestructura crítica para la economía digital; por otro, los centros de datos consumen grandes cantidades de energía y recursos, contribuyendo a menudo a un impacto ambiental significativo. No obstante, los criterios de CPS y ecoetiquetado pueden desempeñar un papel fundamental en la promoción de la eficiencia energética, la optimización de los recursos y la reducción de las emisiones de carbono en el sector. Reforzar los criterios de CPS y de ecoetiquetado específicos para los centros de datos ayudará a garantizar que estas instalaciones cumplan normas de sostenibilidad más estrictas y, en última instancia, animará a los operadores a adoptar tecnologías más sostenibles y a aumentar su eficiencia energética.

Mientras la demanda mundial de servicios e infraestructuras de centros de datos sigue creciendo en Estados Unidos, Europa y la región de Asia-Pacífico, los mercados emergentes de otras regiones, incluida

América Latina, están ganando tracción (Cushman & Wakefield 2024). Los países latinoamericanos tienen potencial para desempeñar un papel fundamental en la expansión de la infraestructura de centros de datos. Como tales, están bien posicionados para abordar de forma proactiva los impactos medioambientales asociados al crecimiento de los servicios digitales.

El objetivo de este estudio es proporcionar a los países EcoAdvance información técnica racionalizada con el fin de contribuir a la priorización de los centros de datos como un tema relevante con gran potencial de mitigación en el contexto nacional de la contratación pública. Este documento también sirve de orientación para comprender los principales impactos ambientales que podrían abordarse mediante la inclusión de criterios ambientales en el contexto de la contratación

pública sostenible y las ecoetiquetas. En el siguiente capítulo, se exploran los impactos de la digitalización, así como los desarrollos más recientes. En el Capítulo 3, se exploran los impactos ambientales del sector de los centros de datos, así como brevemente los enfoques técnicos para reducir la huella ambiental del sector. Posteriormente, el Capítulo 4 se centra en Latinoamérica y su papel en el mercado mundial de centros de datos. El Capítulo 5 explora diversos instrumentos para mejorar el rendimiento energético del sector, centrándose en las políticas de eficiencia energética, el ecoetiquetado y otros sistemas de certificación, y las CPS. Por último, el Capítulo 6 profundiza en los criterios específicos de sostenibilidad que pueden utilizarse para los centros de datos en el contexto de la contratación pública sostenible o el ecoetiquetado. ■



Strang 1
Kaltwasser
Wärme

Strang 2
Kaltwasser
Wärme

2 LOS IMPACTOS DE LA DIGITALIZACIÓN

El mundo vive actualmente una era de digitalización galopante en casi todas las facetas de la producción, el consumo y la comunicación. Un ejemplo es el servicio de Internet satelital Starlink, capaz de conectar hasta los lugares más remotos del planeta. Esta transformación se está produciendo a un ritmo sin precedentes, cambiando la forma en que obtenemos información, nos comunicamos entre nosotros y consumimos diferentes productos y servicios; de hecho, está cambiando toda nuestra forma de vida. La digitalización puede entenderse como la transición de lo analógico a lo digital. Se anuncia con una serie de beneficios potenciales para la economía, la sociedad y el medio ambiente, conocidos como habilitación digital (Kasian 2023).

Son muchos los factores que impulsan el proceso de digitalización como macrotendencia mundial. La demanda de servicios digitales se ve facilitada por el aumento del número de usuarios con acceso a Internet. Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2023), el 67% de la población mundial ya estaba en línea en 2023, lo que equivale aproximadamente a 5,400 millones de usuarios digitales. Esta cifra repre-

senta un aumento del 4.7% con respecto al año anterior. Además, la adopción generalizada de prácticas cotidianas como el trabajo remoto, el aprendizaje en línea y el comercio electrónico, acelerada aún más por COVID19, ha transformado y sigue transformando la mayoría de las estructuras sociales tal como las conocemos.

Asimismo, la integración de las nuevas tecnologías y la automatización de los procesos de producción y distribución avanzan rápidamente para satisfacer las demandas de las cadenas de suministro mundiales y las infraestructuras públicas digitales. El desarrollo y el uso de nuevas tecnologías basadas en datos, como la robótica y la inteligencia artificial (IA), se integran cada vez más para facilitar la eficiencia en el trabajo diario y la optimización para diversos sectores económicos. En el sector energético, reducen drásticamente la cantidad de perforaciones fallidas en busca de petróleo, reduciendo así los costos de producción de combustibles fósiles. En el sector medioambiental, estas herramientas están mejorando el monitoreo del cambio climático y optimizando el uso de la energía y los procesos de produc-

ción, lo que supone una importante contribución para acelerar la acción por el clima.

En este contexto, la digitalización representa una oportunidad para crear prosperidad global, mejorar la calidad de vida e impulsar la acción climática. Estos efectos se denominan indirectos o de segundo orden. Sin embargo, los costos sociales y medioambientales directos de los servicios y tecnologías digitales a menudo se desconocen o se pasan por alto (UNDP 2023). La infraestructura digital exige grandes cantidades de energía y recursos, al tiempo que genera ingentes cantidades de residuos. Los grupos vulnerables, como las mujeres, los jóvenes, los agricultores rurales, las comunidades indígenas y las personas con discapacidad suelen ser los más afectados por el cambio climático y la degradación medioambiental, mientras que son los que menos se benefician de los avances digitales (UNDP 2023).

La creciente demanda mundial de servicios digitales implica un aumento del consumo de energía, que a menudo se concentra en regiones específicas que proporcionan la infraestructura pertinente. Según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD 2023), las redes y dispositivos de tecnologías de la información y la co-

municación (TIC) representan entre el 6% y el 12% del consumo mundial de energía, lo que dificulta cada vez más el cumplimiento de los objetivos climáticos y plantea retos a nivel local debido a la considerable presión que ejercen sobre las redes eléctricas locales (IEA 2024a). El aumento de las actividades en línea, especialmente la minería de criptomonedas, pero también el *streaming* de vídeos, las redes sociales y la descarga de archivos, requiere más energía y, a su vez, genera más emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los servicios y tecnologías digitales emergentes, como los juegos en la nube, la realidad virtual, así como las redes 5G y la Internet de los objetos (IoT), aumentarán aún más la demanda de servicios de datos (Kamiya y Bertoldi 2024; UNCTAD 2023)

Si esta tendencia continúa, se espera que la producción y el funcionamiento de las TIC constituya 21% del consumo mundial de electricidad en 2030, lo que representa un aumento absoluto a 8000 Teravatios-hora (TWh), de 2000 TWh en 2010 (Andrae y Edler 2015).

Además, la extracción de metales y minerales de tierras raras esenciales para la infraestructura digital no solo tiene la enorme huella medioambiental inherente a las actividades mineras (Alfieri y Spiliotopou-

los 2023; Parlamento Europeo 2022), sino que también plantea amplios riesgos sociales. Esto se aplica especialmente a los países en los que está vinculada a abusos de los derechos humanos o a la violencia (Parlamento Europeo 2022; UNEP 2021; Nalule 2020; Mancini y Sala 2018).

Otro aspecto a tener en cuenta es que todos los equipos e infraestructuras utilizados para los servicios digitales tienen una vida útil limitada y se convierten en residuos una vez alcanzado el final de su vida útil. Esto se debe a la degradación de los materiales, pero también a influencias estructurales como el progreso técnico. En este sentido, los impactos de los residuos electrónicos son un resultado directo de la digitalización. En 2022, se produjo la cifra récord de 62 millones de toneladas (Mt) de residuos electrónicos en todo el mundo. Esta cantidad aumentó un 82% desde 2010 y se estima que aumentará otro 32% en 2030 (Ruediger Kuehr et al. 2024). En la actualidad, menos de una cuarta parte de los residuos electrónicos producidos se recoge y recicla adecuadamente, y la mayor parte de estos residuos acaba en vertederos de países en desarrollo, exponiendo a las personas del sector informal del reciclaje a sustancias peligrosas y riesgos para la salud, sin mencionar la contaminación del suelo y las aguas subterráneas (UNEP 2021).

2.1 Centros de datos: La columna vertebral de la infraestructura digital moderna

Los centros de datos desempeñan un papel clave en la transformación digital, ya que proporcionan el espacio físico y virtual necesario para almacenar, procesar y gestionar grandes cantidades de datos. A medida que la digitalización se acelera en todos los sectores, los centros de datos son cada vez más cruciales para dar soporte a la computación en la nube, el análisis de *big data*, la IA y la creciente demanda de servicios digitales.

Según la norma europea para infraestructuras de centros de datos (EN 50600-1), un centro de datos es *“una estructura o grupo de estructuras en un único emplazamiento dedicadas al alojamiento centralizado, interconexión y funcionamiento de equipos de tecnología de la información y telecomunicaciones en red que proporcionan servicios de almacenamiento, procesamiento y transporte de datos. Un centro de datos incluye todas las instalaciones e infraestructuras de distribución de energía y control medioambiental, junto con los niveles necesarios de resistencia y seguridad para proporcionar la disponibilidad de servicio requerida”*.

Los centros de datos cuentan con equipos informáticos y de infraestructura diseña-

dos para garantizar la disponibilidad, fiabilidad y escalabilidad continuas de las empresas y organizaciones. En el funcionamiento de un centro de datos pueden distinguirse los siguientes equipos informáticos (Huu Thanh 2020)

- **Servidores:** Se encargan de la mayor parte de las tareas informáticas; constan de potencia de procesamiento y memoria para ejecutar aplicaciones. Los más comunes son los servidores montados en *rack*.
- **Equipo de almacenamiento:** Donde se guardan los datos; puede consistir en diferentes tipos de soportes, como unidades de disco duro y unidades de estado sólido.
- **Equipo de red:** Proporciona conectividad entre los servidores, los centros de datos y el mundo exterior y los usuarios finales; consta de *routers*, conmutadores, *firewalls* y equilibradores de carga.

La instalación energética de un centro de datos hace referencia a toda la infraestructura y los sistemas responsables de suministrar, gestionar y optimizar sus necesidades de energía. Los componentes clave incluyen:

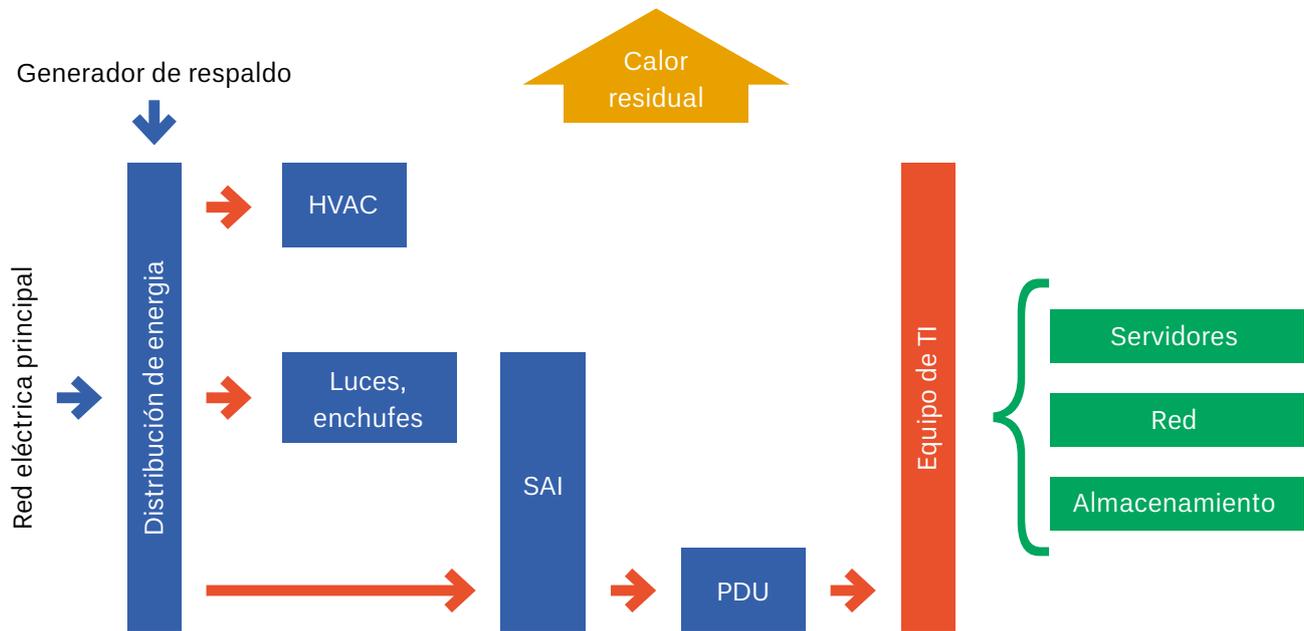
- **Infraestructura eléctrica:** Suministra la energía; incluye la energía de la red pública (la fuente primaria de

electricidad procede normalmente de la red local), los transformadores y las unidades de distribución de energía (PDU, que distribuyen la energía eléctrica a los distintos *racks* y equipos).

- **Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI):** Garantiza un suministro eléctrico fiable; proporciona energía de reserva a través de baterías para apoyar las operaciones hasta que entren en funcionamiento los generadores o se restablezca el suministro eléctrico.
- **Generadores de reserva:** Proporcionan energía a largo plazo durante cortes prolongados
- **Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC):** Mantiene condiciones ambientales óptimas, en particular el control de la temperatura y la humedad, para proteger a los equipos informáticos sensibles de daños por calor y garantizar un funcionamiento continuo. El enfriamiento o refrigeración desempeña un papel importante en el consumo de energía de los centros de datos, ya que los servidores generan una gran cantidad de calor.

Otras instalaciones de un centro de datos son los sistemas de protección contra incendios y de seguridad.

Figura 2-1 : Componentes críticos de un centro de datos



Fuente: Adaptación propia basada en Huu Thanh 2020

Según el más reciente Informe de Consumo de Energía de Datos en Estados Unidos (2024), los centros de datos pueden clasificarse en pequeños, con tamaño promedio por módulo inferior a 15 metros cuadrados; medianos, con 250 a 650 metros cuadrados; y grandes, con unos 1,000 metros cuadrados para los tipos de espacio de colocación¹ y 2,800 metros cuadrados para las instalaciones a hipe-

rescala². Aunque el 40% de los servidores se encuentran en pequeños centros de datos, como armarios en la sala lateral de una oficina, las instalaciones más recientes son cada vez más almacenes de hiperescala, de cientos de miles de metros cuadrados y gestionados por los tres grandes proveedores de la nube (Amazon Web Services, Google Cloud Platform, Microsoft Azure) (Mytton 2021).

1 Los proveedores de colocación son empresas que ofrecen espacio en sus centros de datos para que las empresas lo alquilen. Estos proveedores ofrecen la infraestructura física necesaria para que las empresas alojen sus servidores, equipos de red y otro hardware informático, mientras que las empresas mantienen el control sobre sus equipos y datos.

2 Centros de datos construidos por empresas que despliegan servicios y plataformas de Internet a gran escala.

2.2 Desarrollos globales en el panorama de los centros de datos

El *World Energy Outlook 2024* reporta más de 11,000 centros de datos registrados en todo el mundo (IEA 2024b), de los cuales 9,215 están mapeados en 164 países en el directorio global Data Center Map³. Estados Unidos supera al resto del mundo, con 5,381 centros de datos hasta marzo de 2024 (Cloudscene 2024), seguido de Alemania (521) y Reino Unido (514). También se revela una transición de los centros de datos internos, que dominaban el sector a principios de la década de 2010, hacia las instalaciones de hiperescala y colocación. Se calcula que estas instalaciones albergaban el 74% de los servidores en 2023, y las previsiones indican que representarán el 85% en 2028 (Shehabi et al. 2024).

El análisis de Srivathsan et al. (2024) de las tendencias actuales sugiere que la demanda mundial de capacidad de los centros de datos podría triplicarse para 2030, aumentando a un ritmo anual del 19 al 22%. La IA es el principal motor de este crecimiento, lo que significa que “alrededor del 70% de la demanda total de capacidad de los centros de datos correspon-

derá a centros de datos equipados para albergar cargas de trabajo avanzadas de IA en 2030” (Srivathsan et al. 2024).

Según una comparación global del mercado de centros de datos (2024), mientras siguen surgiendo nuevos mercados dentro de las regiones establecidas (Estados Unidos, Europa y la región Asia-Pacífico), los operadores de centros de datos también han hecho importantes anuncios de expansión en Medio Oriente, África subsahariana y Latinoamérica. El informe predice que estos mercados secundarios ganarán importancia a medida que ciertos mercados primarios se enfrenten a restricciones, ya que el consumo energético y la sostenibilidad están siendo examinados con más atención. En general, el suministro en vivo para centros de datos, definido como la potencia de TI determinada que está disponible independientemente de su uso, creció en 20 gigavatios (GW) a nivel mundial de 2018 a 2023 (DC Byte 2024b)

2.2.1 Mercados emergentes: El caso de Malasia y factores estratégicos

Malasia es un ejemplo destacado de un mercado emergente que ha mantenido su dinamismo en los últimos años. El país

3 <https://www.datacentermap.com/>

se ha convertido en un actor importante en la industria de los centros de datos impulsado por el sector privado, es decir, la afluencia de grandes empresas tecnológicas que establecen centros de datos allí. Por ejemplo, en 2025 Microsoft anunció sus planes de invertir aproximadamente 2,000 millones de dólares en computación en nube e inteligencia artificial en Malasia en los próximos tres o cuatro años (Arizton Advisory & Intelligence 2025). Se prevé que el mercado de centros de datos del país alcance los 13,570 millones de dólares en 2030, con un crecimiento anual compuesto del 22.35% entre 2024 y 2030 (Arizton Advisory & Intelligence 2025). La ciudad malasia de Johor Bahru ha sido nombrada el mercado de más rápido crecimiento del Sureste Asiático en el actual Índice Global de Centros de Datos (DC Byte 2024b).

Varias características favorables influyen en el desarrollo de mercados emergentes como Malasia. En primer lugar, los centros de datos requieren espacio, energía y agua para el enfriamiento, lo que lleva a que los lugares donde la energía y el suelo están disponibles y son baratos sean más ventajosos que los lugares con recursos limitados (Cushman & Wakefield 2024). Un segundo factor son las políticas favorables (por ejemplo, descuentos fiscales) a los cen-

tros de datos; en 2023, Malasia puso en marcha su *Green Lane Pathway* “para impulsar las ambiciones digitales y de potencia manufacturera” (MIDA 2023). Aunque estos avances ponen de relieve la importancia estratégica de Malasia en la industria de los centros de datos, la creciente demanda de agua y electricidad está suscitando preocupación por el posible impacto en la disponibilidad de recursos locales (Butts 2024).

Por último, aunque no es el caso de Malasia, el entorno normativo también desempeña un papel a la hora de definir la ubicación de los centros de datos, concretamente las políticas gubernamentales sobre localización de datos. Ciertos países, como Rusia y China, cuentan con amplias leyes de localización de datos, que exigen que algunos o todos los datos de las personas se almacenen dentro de sus fronteras. Muchas empresas nacionales han citado estas leyes como motivo para almacenar los datos en esos países (Daigle 2021).

2.2.2 Aumento de la demanda de almacenamiento en la nube y servicios digitales en el sector público

En plena transformación digital, no solo las empresas privadas, sino también los gobiernos buscan adaptar sus sistemas

operativos y estrategias de gestión a las últimas tecnologías en la nube. Las agencias gubernamentales confían en los centros de datos para almacenar y gestionar de forma segura los datos sensibles de la población, incluyendo la información de identificación personal, los registros fiscales y los datos de salud (Weng et al. 2016). Estas instalaciones también proporcionan la infraestructura para las plataformas digitales en las que los ciudadanos pueden acceder a los servicios públicos, como la declaración de impuestos, la renovación de licencias o la solicitud de prestaciones, al tiempo que prestan apoyo a los sistemas policiales y de respuesta a emergencias, garantizando que los datos de seguridad pública tengan un almacén seguro y sean accesibles en tiempo real.

Además, desempeñan un papel en la continuidad de las operaciones gubernamentales ante desastres, garantizando que los servicios sigan estando disponibles incluso en caso de catástrofe natural o ciberataque. Los centros de datos del sector público también prestan apoyo a las instituciones de investigación, las plataformas educativas y la gestión de proyectos públicos a gran escala, lo que los hace indispensables en el panorama de la administración digital moderna (CNCB-NG-DC Members and Partners 2022).

Se prevé que para 2025, más del 85% de las organizaciones del mundo -tanto privadas como gubernamentales- adoptarán el principio de “la nube primero” (Kushchov 2023), con el objetivo de estimular la innovación, aumentar la flexibilidad y mejorar los servicios a los ciudadanos. El uso de almacenamiento y procesamiento de datos centralizados en la nube podría garantizar un acceso rápido a la información esencial y facilitar una toma de decisiones eficaz, haciendo que las tecnologías no basadas en la nube no solo sean menos populares, sino obsoletas.

En este contexto, tanto los gobiernos como las instituciones privadas necesitan centros de datos para respaldar sus funciones de almacenamiento en la nube. Una tendencia actual es la externalización de las TI a centros de datos profesionales, lo que ahorra una cantidad significativa de costos de inversión y podría evitar brechas de seguridad. En los Países Bajos, por ejemplo, muchas empresas, hospitales y universidades han optado por migrar sus propios equipos informáticos locales a un centro de datos profesional de la región (Dutch Data Center Association 2019).

En Irlanda, el gobierno nacional está llevando a cabo una importante modernización y racionalización de su infraestruc-

tura digital, habiendo anunciado planes para desarrollar un centro de datos gubernamental compartido, que funcionará con energía renovable, potencialmente procedente de una granja solar in situ. Esta instalación será gestionada por el Departamento de Agricultura, Alimentación y Marina en nombre del Estado y de diversos organismos gubernamentales. El proyecto se considera un hito en eficiencia energética, ya que utiliza tecnología de vanguardia de refrigeración libre para lograr al menos el doble de eficiencia que los centros de datos de servicios públicos existentes, y se espera que esté terminado a finales de 2025 (gov.ie 2021).

Aunque los enfoques sobre la asignación y distribución de los centros de datos pueden variar, existe un claro consenso en que tanto los gobiernos como los agentes privados están dispuestos a participar en la transición digital y aprovechar las tecnologías de nube para mantener sus operaciones a la vanguardia.

2.2.3 Avances recientes en la transición ecológica de la industria de los centros de datos

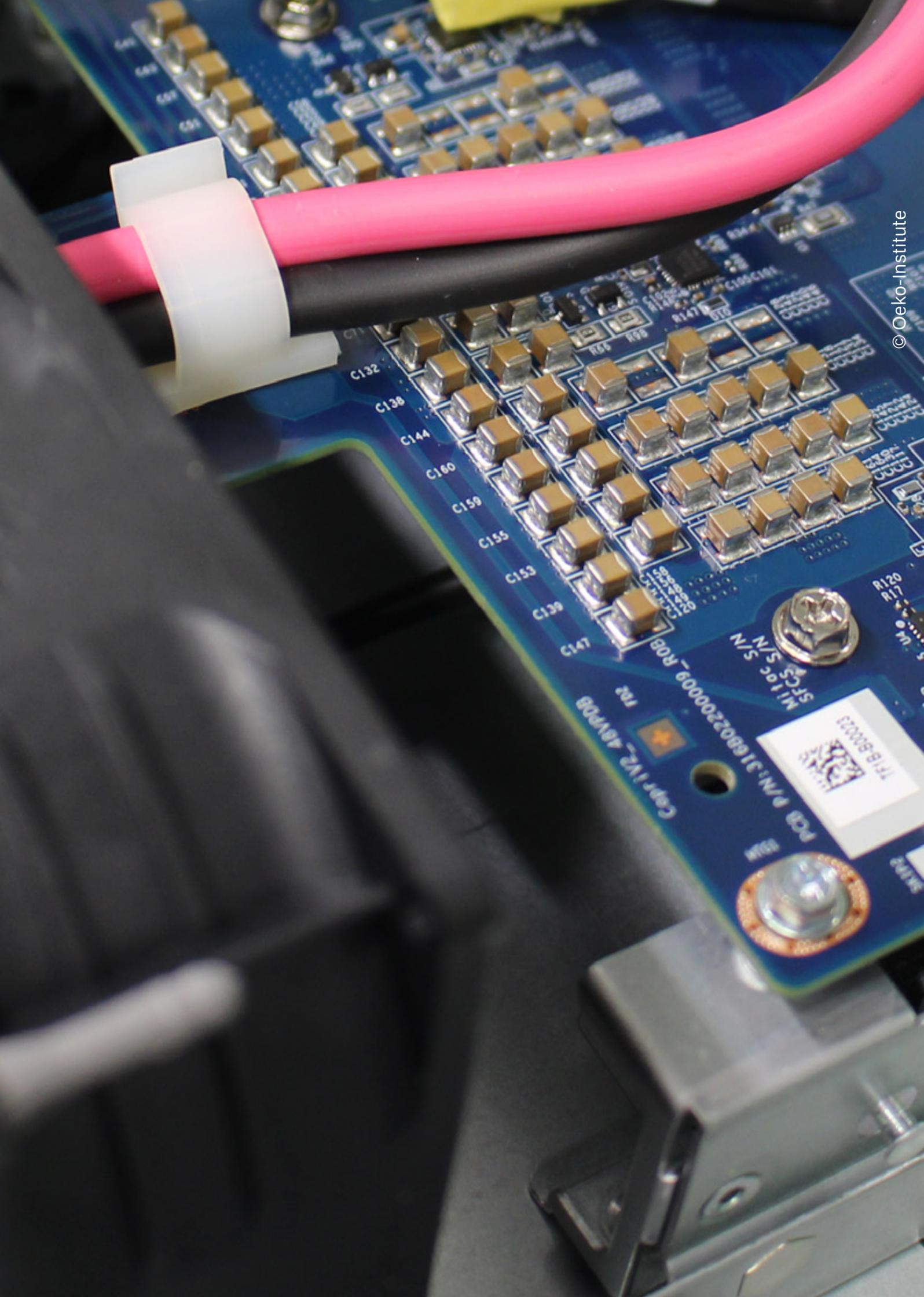
A pesar del auge del panorama de los centros de datos, la presión sobre los recursos que impone el sector (véase el Capítulo 3) no puede dejar de tener-

se en cuenta en futuros desarrollos, y varios países han empezado a aplicar medidas para mitigar su impacto ambiental. Por ejemplo, Singapur es pionero en este sentido con la introducción de una completa hoja de ruta de centros de datos verdes para guiar al sector hacia prácticas más sostenibles (IMDA 2024). Además, el gobierno chino empezó desde 2012 a aplicar políticas para promover lo mismo. A estos esfuerzos les siguieron normativas como las Reglas Técnicas para la Evaluación de Edificios de Centros de Datos Verdes, las Directrices de Evaluación de Centros de Datos Verdes (2018) o el Estándar de Evaluación de Centros de Datos Verdes (2019) (Guozhu Li et al. 2023). En los últimos años se han añadido incluso más políticas (Lev et al. 2024). En Alemania, la Ley de Eficiencia Energética intenta alcanzar el mismo objetivo regulando aspectos clave en los centros de datos como el aumento de las energías renovables, el uso de calor residual y la implantación de sistemas de gestión energética o medioambiental (Bundesministerium der Justiz 2023).

La introducción del enfoque alemán fue precedida por la Directiva de Eficiencia Energética (DEE) de la Unión Europea (UE), que se estableció para lograr la reducción del consumo energético de la UE en un 11.7% hasta 2030 (Directorate-Ge-

neral for Energy 2024). La DEE obliga a los operadores de centros de datos a facilitar información importante sobre su eficiencia, sostenibilidad y rendimiento. Otras normativas que contribuyen a la transición ecológica de los centros de datos a nivel europeo son el Código de Conducta

de la UE para Centros de Datos y las directrices de compras públicas ecológicas para centros de datos (véase el Capítulo 5). Otros ejemplos de países con planes relacionados son el Reino Unido, Japón y Francia (Lev et al. 2024) ■



3 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CENTROS DE DATOS

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, la proliferación de servicios digitales y soluciones en la nube ha impulsado un aumento sustancial del número y la escala de los centros de datos en todo el mundo. En consecuencia, el impacto medioambiental del funcionamiento de los centros de datos también ha crecido significativamente. Este capítulo explora los impactos medioambientales que suponen los centros de datos, examinando el consumo de materias primas (3.1), energía (3.2) y agua (3.3), las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (3.4), así como la generación de residuos electrónicos al final de la vida útil (3.5).

3.1 Consumo de materias primas

En este contexto, el consumo de materias primas se refiere al uso de minerales y materias primas fósiles involucrados en la producción y el funcionamiento de un centro de datos. Su categoría de impacto correspondiente en las evaluaciones del ciclo de vida se denomina potencial de agotamiento de recursos abióticos (ADP).

En el caso de los centros de datos, el mayor impacto ambiental asociado a la extracción de materias primas procede de la TI. Esto se debe a las mayores tasas de actualización en comparación con la infraestructura mecánica y la costosa fabricación de semiconductores para chips y almacenamiento de datos. La fabricación de semiconductores no requiere grandes cantidades de materiales en comparación con otros componentes, pero algunos de los materiales necesarios son raros y se requieren en estado puro.

Los servidores y equipos de almacenamiento de datos requieren diversos materiales, como metales, plásticos y componentes electrónicos como placas de circuitos impresos (PCB) y circuitos integrados (CI). Es en estos componentes electrónicos, donde se encuentra una cantidad significativa de materias primas críticas (CRM); es decir, materiales económicamente importantes, pero de alto riesgo asociado a sus cadenas de suministro. La Tabla 3-1 muestra un resumen de las CRM encontradas en los servidores de datos.

Tabla 3-1: Materias primas críticas en los servidores de datos

Componente	CRM
Baterías de iones de litio	Cobalto
	Litio
Unidad de disco duro (HDD)	Disproso
	Neodimio
	Praseodimio
	Terbio
Unidad de estado sólido (SSD)	Silicio
	(CRM encontrado en PCB. Véase más abajo)
PCB	Magnesio
	Neodimio
	Paladio
	Platino
	Antimonio
	Silicio
	Galio
	Germanio
	Tántalo
	Cobalto
Conectores	Antimonio
	Berilio
	Cromo
	Cobalto
	Paladio
	Silicio

Fuentes: WeLOOP 2020, Fulvio y Talens Peiró 2015

El contenido de CRM varía en función del producto y del componente específico. Sin embargo, Gydesen y Hermann (2024) llegaron a la conclusión de que los cuatro CRM presentes en las concentraciones más elevadas en servidores y productos de almacenamiento de datos son el neodimio

(HDD), el silicio metálico (PCB/SSD), el cobalto (baterías) y el cromo (conectores).

La demanda de CRM ha impulsado un aumento de las operaciones mineras a gran escala en todo el mundo. Según el informe del grupo de trabajo del Centro Común de Investigación sobre eficiencia de los mate-

riales en las TIC (JRC 2023), los principales impactos ambientales de las actividades mineras incluyen la producción de grandes cantidades de residuos de extracción y escombros, riesgos de derrumbe de las instalaciones de extracción, drenaje ácido de minas, deposición de metales y toxicidad, y pérdida de biodiversidad y hábitat. Otro estudio del Parlamento Europeo (2022) especifica otros impactos ambientales de las actividades mineras en las fuentes de agua: Cambios en la hidrología, impactos en las aguas subterráneas y superficiales, cambios en la calidad del agua (por ejemplo, enturbiamiento), vertidos controlados de aguas residuales y sus impactos acumulativos, y aumento de la escasez de agua en zonas áridas.

Al mismo tiempo, los impactos sociales de la minería, que han sido ampliamente investigados y documentados, abarcan una serie de cuestiones, como la competencia por la tierra y los recursos, los impactos negativos en los medios de subsistencia existentes (por ejemplo trabajo infantil, esclavitud o trabajo forzado, aumento de las desigualdades de género y problemas relacionados con la salud), riesgos económicos (por ejemplo, dependencia local), efectos negativos de la migración a la zona y aumento de la violencia debido a disputas y conflictos (Parlamento Europeo 2022; Nalule 2020; Mancini y Sala 2018; Ali 2014)

3.1.1 Consumo acumulado de energía

Aunque los centros de datos no son prescindibles en un mundo cada vez más digitalizado, también son voraces consumidores de energía. Los servidores funcionan continuamente durante todo el año, consumiendo hasta varios cientos de teravatios hora (TWh). Según la Agencia Internacional de la Energía (2023), en 2022 las estimaciones de consumo eléctrico mundial de los centros de datos oscilaban entre 240 y 340 TWh, lo que equivale a entre el 1 y el 1.3% de la demanda final mundial de electricidad. En un informe posterior de la misma agencia, esta cifra aumentó hasta los 460 TWh consumidos por los centros de datos en 2022 (IEA 2024c), y se espera que se duplique cada cuatro años. Si esta tendencia continúa, el consumo total de electricidad de los centros de datos podría alcanzar más de 1,000 TWh en 2026, equivalente al consumo eléctrico de Japón (IEA 2024c).

En cuanto al consumo medio de energía de los centros de datos, consumen entre 10 y 50 veces más energía por superficie que un edificio comercial de oficinas típico, y los mayores centros de datos a hiperscala del mundo tienen demandas de energía de 100 megavatios (MW) o más, lo que equivale a la demanda de electricidad de 80,000 hogares estadounidenses

(Moore 2023) o de 350,000 a 400,000 coches eléctricos (IEA 2024a).

Dentro de un mismo centro de datos, el consumo eléctrico puede variar significativamente en función de factores como el tipo de equipos utilizados, la eficiencia de los sistemas de refrigeración y las condiciones climáticas locales. Los equipos informáticos y los sistemas de refrigeración son dos de los principales consumidores de electricidad en los centros de datos, responsables de aproximadamente el 44% y el 40% del uso total de electricidad, respectivamente (Xiaolei Yuan et al. 2020). Otra fuente estima que entre el 40 y el 70% corresponde a la electricidad necesaria para hacer funcionar los equipos informáticos, y entre el 20 y el 25% a la refrigeración (Lafitte 2025). La diferencia puede explicarse por el tipo de espacio de los centros de datos, ya que los de mayor tamaño tienden a destinar una parte menor de su consumo energético a la infraestructura mecánica.

La hiperredundancia es otro factor que contribuye a un importante consumo de energía. Para mitigar el riesgo de pérdidas económicas causadas por fallos del sistema, múltiples sistemas de copia de seguridad operan simultáneamente con los activos. Esto garantiza que, en caso de fallo de un servidor, un sistema de co-

pia de seguridad tome inmediatamente el relevo, manteniendo la continuidad de las operaciones. La demanda energética de la hiperredundancia puede ser tan importante que, en algunos casos, sólo se utiliza entre el 6 y el 12% de la energía total para alimentar los sistemas activos. Es habitual en los centros de datos en nube que los datos se dupliquen en un “centro de datos espejo” en una región diferente de la red eléctrica en caso de corte. Además, otros procesos que consumen mucha energía, como el aprendizaje automático y la minería de criptomonedas, agravan aún más el consumo total de energía (González Monserrate 2022).

3.2 Consumo de agua

Algunos centros de datos de consumen agua directamente in situ para el enfriamiento e indirectamente a través de las necesidades de agua de la generación de electricidad no renovable. Aunque se presta más atención a la refrigeración, el mayor contribuyente a la huella hídrica de un centro de datos es la generación de electricidad (Mytton 2021).

Dependiendo de su sistema de refrigeración, la instalación puede necesitar acceso a una fuente abundante y segura de agua limpia (algunos tipos de sistemas de refrigeración requieren dos litros por

kWh) (Lafitte 2025); hasta el 57% procede de agua potable (Mytton 2021). En comparación con la refrigeración por aire, este método es más eficiente energéticamente en condiciones climáticas cálidas y secas (González Monserrate 2022), pero plantea otros problemas, especialmente en regiones donde el agua escasea o donde los centros de datos compiten con otros usuarios por el acceso a los recursos locales. Un ejemplo es el Centro de Datos de Utah, que consume 6.4 millones de litros de agua al día, lo que provoca una escasez de suministro de agua para los residentes cercanos (Gonzalez Monserrate 2022). Md Abu Bakar Siddik et al. (2021) estiman que “una quinta parte de la huella hídrica directa de los servidores de los centros de datos procede de cuencas hidrográficas con estrés hídrico moderado o alto, mientras que casi la mitad de los servidores se alimentan total o parcialmente de centrales eléctricas situadas en regiones con estrés hídrico”.

Por ejemplo, en Chile, un país que sufre una grave sequía desde hace más de una década, Google rediseñará su proyecto de centro de datos en Santiago, valorado en 200 millones de dólares, tras la preocupación suscitada por su impacto medioambiental, especialmente en el suministro de agua de la ciudad (Reuters Media 17 Sep 2024). Las protestas locales sobre el

potencial impacto del proyecto sobre los acuíferos locales llevaron a un tribunal ambiental local a revocar parcialmente el permiso de Google para 2020. En respuesta, el gigante tecnológico anunció que retiraría su actual solicitud de permiso y reiniciaría el proceso de aprobación con un nuevo diseño que incluiría tecnología de refrigeración por aire, lo que reduciría el consumo de agua.

A medida que aumentan la computación en nube y la expansión de los centros de datos a hiperescala, se dispara el volumen de datos procesados, lo que amplifica aún más el consumo de agua. Por ejemplo, en su último informe medioambiental (2024), Google informó que sus centros de datos consumieron 23,000 millones de litros de agua en 2023, un 17% más que el año anterior.

3.3 Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de GEI tienen lugar a lo largo de todo el ciclo de vida de un centro de datos, tanto de forma directa como indirecta, y la cantidad total liberada a la atmósfera a través de determinadas actividades se conoce como huella de carbono. Su impacto se mide por su potencial de calentamiento global (GWP), que indica cuánto contribuyen al cambio climático en comparación

con el dióxido de carbono. Las emisiones directas son todas las emisiones de GEI generadas por los equipos y operaciones del centro de datos. Esto incluye los sistemas de refrigeración y los generadores de reserva. Por otro lado, las emisiones indirectas abarcan las fuentes de energía, la construcción y la infraestructura, así como las emisiones de la cadena de suministro, a menudo menos visibles, pero de una relevancia aún mayor que las emisiones directas (Lin et al. 2023).

Las emisiones directas, también conocidas como emisiones de Alcance 1, se emiten in situ y bajo el pleno control de los operadores. En el caso de los centros de datos, estas emisiones proceden de la generación de energía in situ, el combustible para calefacción y refrigeración y los refrigerantes químicos (de Graaf 2025; Novak 2023). El método de refrigeración predominante en los centros de datos es el aire acondicionado en salas de ordenadores, que requiere el uso de refrigerantes, siendo los más comunes el R-134a y el R-410A (Alves 2025). Estos refrigerantes se utilizan en los centros de datos más antiguos y tienen un GWP significativamente más alto que los refrigerantes alternativos más nuevos, como el R-290 (de Graaf 2025). A modo de comparación, el GWP del R-410A es de 2,088 frente al GWP de sólo 3.3 del R-290 (US EPA 2024).

Menos tangibles que las emisiones directas de los centros de datos son sus emisiones indirectas, que pueden dividirse en emisiones de Alcance 2 y Alcance 3. Mientras que las emisiones de Alcance 2 son consecuencias indirectas de las acciones de los operadores, las emisiones de Alcance 3 surgen antes o después en la cadena de suministro (Lin et al. 2023). La principal influencia sobre las emisiones de Alcance 2 en los centros de datos es la combinación energética que se utiliza, es decir, la combinación de diferentes fuentes de energía utilizadas para satisfacer la demanda energética de una región o país. Incluye una variedad de tipos de energía, como los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural), la energía nuclear y las fuentes de energía renovables (solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa).

Las emisiones indirectas que entran en el Alcance 3 incluyen la adquisición de bienes y servicios (por ejemplo, equipos informáticos, servicios en la nube), el transporte y la distribución, la eliminación de residuos y los desplazamientos de los empleados (Lin et al. 2023). Especialmente la infraestructura informática y de las instalaciones como tal están vinculadas a importantes emisiones de GEI debido a su carbono incorporado; la adquisición, construcción y transporte de un solo servidor de torre emite alrededor de 1,200 kg

de CO₂e. Esta cifra aumenta en el caso de los servidores en *rack y blade* (Hexatronic Data Center 2024).

Lin et al. (2023) modelaron la huella de carbono total de un centro de datos hipotético y llegaron a la conclusión de que la contribución de las emisiones directas a la cantidad total de emisiones de carbono es insignificante (0.2%-0.5%). Los autores también estiman que entre el 31% y el 61% de la huella de carbono total de los centros de datos corresponde a emisiones de Alcance 2, mientras que el Alcance 3 representa entre el 38% y el 69% restante. Sin embargo, el porcentaje exacto de emisiones en los centros de datos por tipo puede variar en función de las fuentes de energía utilizadas para la generación de electricidad in situ, los sistemas de respaldo y los refrigerantes utilizados en los sistemas de refrigeración. Por ejemplo, el mismo estudio mostró diferencias significativas entre países dada la amplia variación de los factores de emisión de una red eléctrica a otra. Mientras que en Estados Unidos las emisiones de Alcance 2 de un centro de datos representaban el 60% de la huella de carbono acumulada tras 15 años de funcionamiento, en Francia solo suponían el 23% (Lin et al. 2023).

Según la Agencia Internacional de la Energía (2023), los centros de datos y las

redes de transición de datos son responsables de aproximadamente el 1% de las emisiones mundiales de GEI relacionadas con la energía (o el 0.6% de las emisiones totales de GEI), lo que en 2020 supuso un total de 330 Mt de CO₂eq.

3.4 Residuos electrónicos

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) pueden definirse como cualquier producto desechado con un enchufe o una pila que suponga un peligro para la salud y el medio ambiente, al contener sustancias tóxicas como el mercurio. Según el *Global E-Waste Monitor 2024*, en 2022 se generaron 62 millones de toneladas de residuos electrónicos, suficientes para llenar 1.55 millones de camiones de 40 toneladas; se espera que esta cifra alcance los 82 millones de toneladas en 2030, lo que supone un aumento del 33% (Ruediger Kuehr et al. 2024).

Los centros de datos son uno de los principales proveedores de RAEE debido a su actividad ininterrumpida y a las elevadas tasas de sustitución de equipos (Gydesen y Hermann 2024). Un estudio reciente (Veau et al. 2023) sobre la generación de RAEE en los centros de datos de Alemania estima que al cabo de 3.5 años, aproximadamente el 50% de la cantidad

puesta en el mercado se convierte en residuos electrónicos.

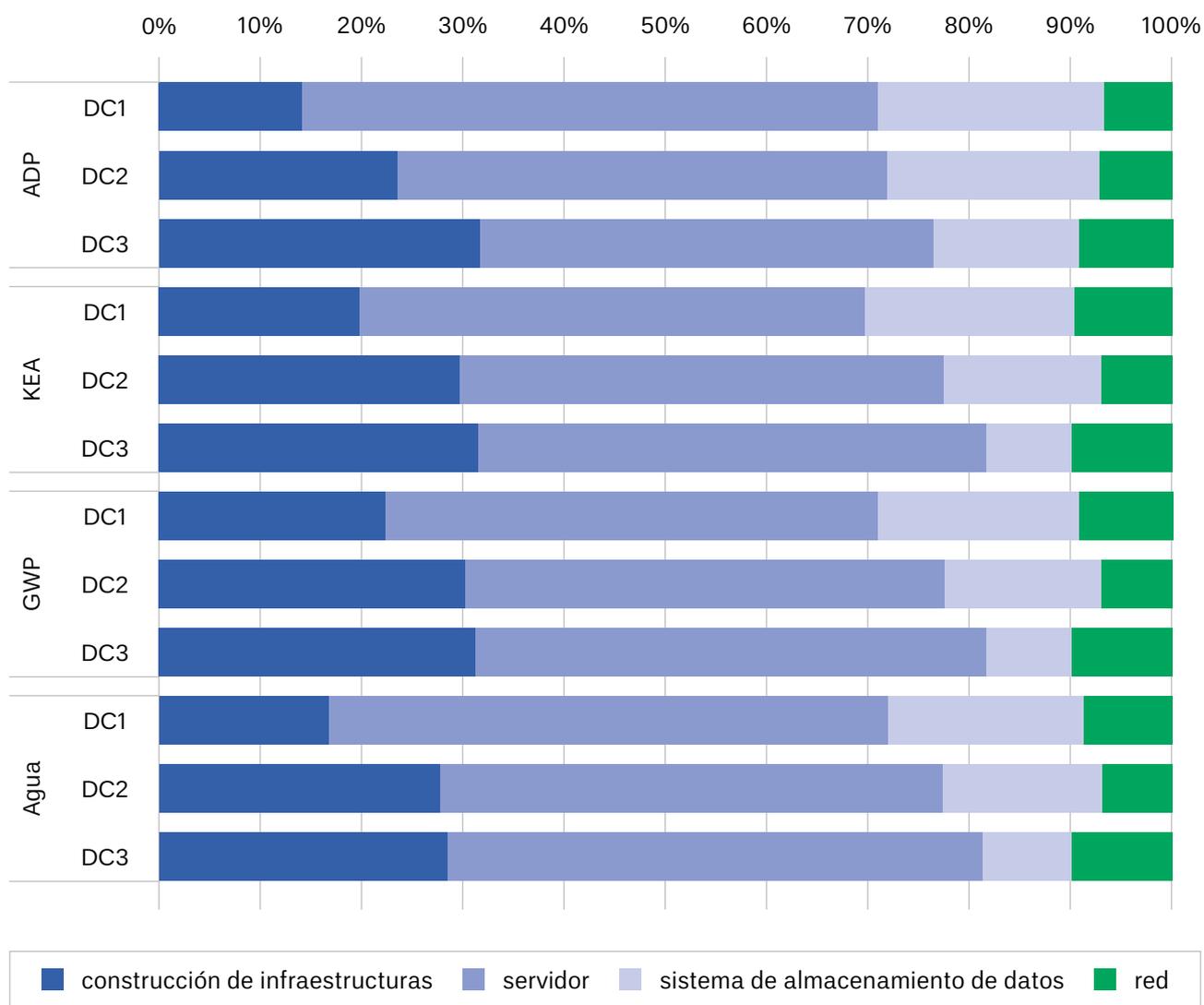
Los RAEE de los centros de datos consisten en una compleja y abundante variedad de equipos tecnológicos, la mayoría de los cuales no se pueden reciclar; de hecho, se recicla menos de una cuarta parte de los residuos electrónicos que se generan cada año (Ruediger Kuehr et al. 2024; González Monserrate 2022). Dado que muchos componentes están formados por elementos tóxicos como los bifenilos policlorados, los aparatos desechados tampoco pueden reutilizarse (González Monserrate 2022). Por lo tanto, una cantidad significativa de RAEE acaba en vertederos o en el sector informal de residuos, sobre todo en países con una infraestructura de gestión de residuos deficiente como Ghana.

Además, el *Global E-Waste Monitor 2024* prevé “un descenso de la tasa documentada de colección y reciclaje del 22.3% en 2022 al 20% en 2030 debido a la creciente diferencia en los esfuerzos de reciclaje en relación con el asombroso crecimiento de la generación de residuos electrónicos en todo el mundo”. En la actualidad, sólo el 1% de la demanda de elementos de tierras raras se satisface mediante el reciclaje de RAEE (Ruediger Kuehr et al. 2024).

3.5 Distribución del impacto ambiental entre subsistemas y fases del ciclo de vida de un centro de datos

Los impactos mencionados anteriormente se distribuyen no sólo entre los distintos subsistemas (infraestructura del edificio, servidores, almacenamiento y dispositivos de red) de un centro de datos, sino también a lo largo de las fases de su ciclo de vida. Schödwell et al. (2017) analizaron esta distribución en relación con las categorías de impacto correspondientes (potencial de agotamiento de los recursos abióticos (ADP); demanda acumulada de energía (CED); potencial de calentamiento global (GWP) y consumo de agua) en tres centros de datos (DC1, DC2 y DC3) y averiguaron que los **servidores** dominan el consumo de recursos de todos los centros de datos; mientras que los **dispositivos de red** tienen el menor consumo de recursos (Figura 3-1).

Figura 3-1 : Distribución relativa del consumo de recursos y los impactos medioambientales* de los centros de datos por subsistema



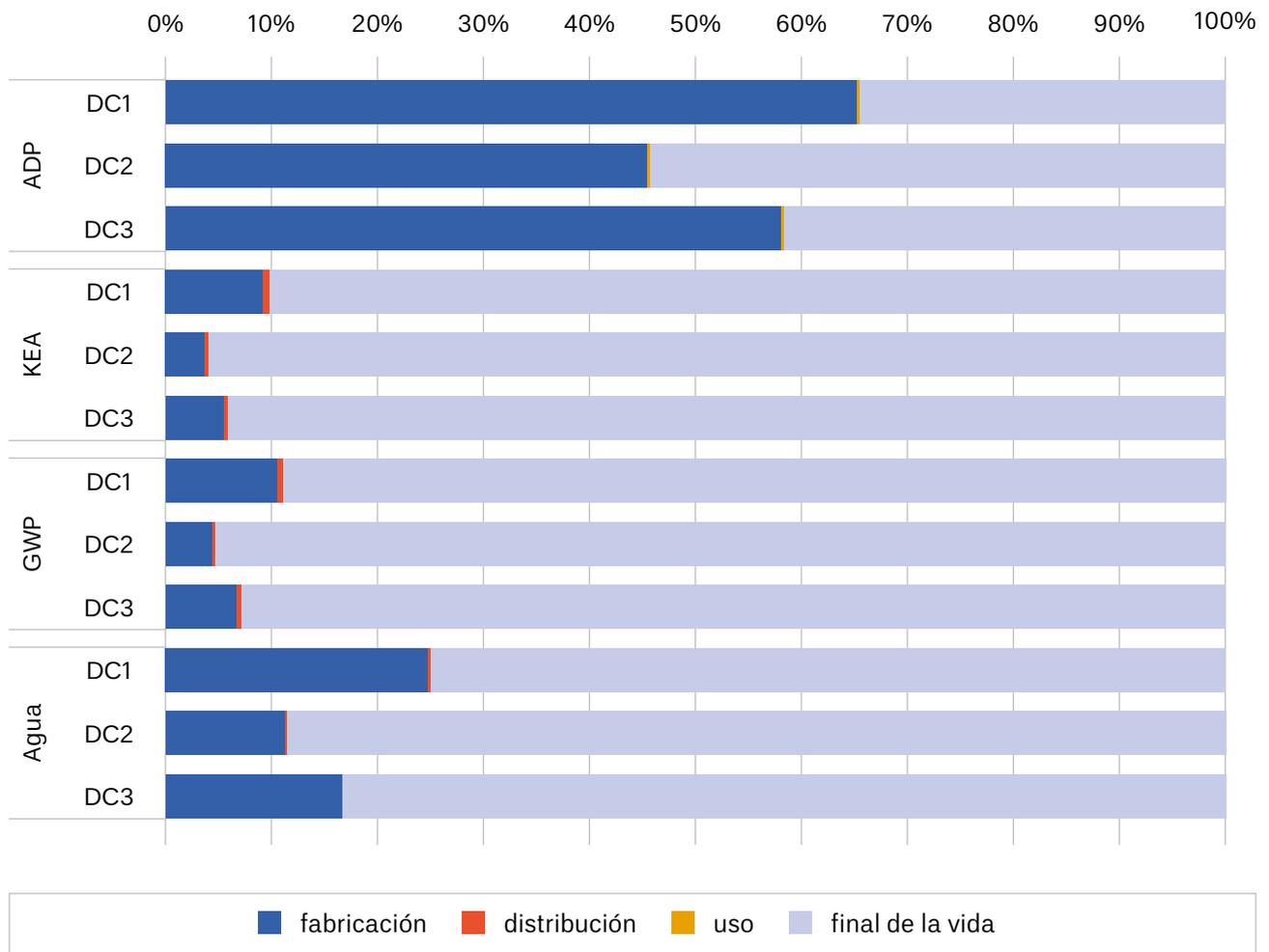
* ADP = Potencial de agotamiento de los recursos abióticos; CED = Demanda acumulada de energía; GWP = Potencial de calentamiento global; Agua = Consumo de agua.

Fuente: Schödwell et al. 2017

Con respecto a las etapas del ciclo de vida, el estudio anteriormente mencionado concluyó que mientras la **etapa de fabricación** domina en la categoría de consumo de materias primas (ADP), la **etapa de uso** tiene los mayores impactos en el consumo de energía (CED) y las

emisiones de GEI (GWP) con una cuota superior al 90% (Schödwell et al. 2017). El consumo de recursos de las etapas de distribución y final de la vida útil no tiene una influencia relevante y son insignificantes en comparación con la etapa de fabricación (Figura 3-2).

Figura 3-2: Distribución relativa del consumo de recursos y los impactos medioambientales* de los centros de datos por etapa del ciclo de vida



* ADP = Potencial de agotamiento de los recursos abióticos; CED = Demanda acumulada de energía; GWP = Potencial de calentamiento global; Agua = Consumo de agua.

Fuente: Schödwel et al. 2017

3.6 Enfoques técnicos para abordar el impacto ambiental de los centros de datos

Existen varias estrategias para mitigar el impacto medioambiental en el sector de los centros de datos. Sin que ninguna

priorización implique el orden de su mención, se espera que las estrategias nombradas muestren los mejores resultados cuando se combinan.

En primer lugar, la fabricación sostenible de productos de TIC aborda las primeras fases de su ciclo de vida. Aquí, los principales objetivos son reducir el consumo de energía y

agua, las emisiones y los residuos durante la fabricación del producto; así como mejorar la durabilidad y la resistencia a la temperatura del producto, es decir, servidores que puedan soportar altas temperaturas de funcionamiento (Fatima y Ehsan 2023).

Los recursos energéticos renovables (hídricos, eólicos, solares, geotérmicos o una combinación de ambos) para alimentar los centros de datos también reducen la intensidad de carbono y huella hídrica de su funcionamiento. Las cargas de trabajo de los centros de datos pueden “migrar entre centros de datos para alinearse con la parte de la red en la que el suministro de electricidad renovable supera la demanda instantánea” (Md Abu Bakar Siddik et al. 2021), una medida que puede complementarse con baterías suficientes que puedan asumir la carga de los servidores en ausencia de recursos energéticos renovables (Fatima y Ehsan 2023). Acun et al. (2022) proporcionan un marco para permitir el funcionamiento de los centros de datos con energía renovable 24 horas al día, siete días a la semana. En cuanto a la energía nuclear, aunque permite reducir la huella de carbono, la radiación de rayos radiactivos supone un riesgo para la salud humana (Bhattacharya y Qin 2020).

En segundo lugar, la introducción de mejoras tecnológicas podría proporcionar una mayor eficiencia de los recursos; por ejemplo, las tecnologías de refrigeración directa de líquidos, *racks* o salas (Mytton 2021). El análisis de Zhu et al. (2023) reveló que “el consumo energético de los centros de datos puede reducirse en torno a un 20-40% y un 15-27% mediante la optimización de los equipos informáticos y las mejoras de la tecnología de refrigeración, respectivamente”. Otro enfoque tecnológico es la recuperación de calor residual, una de las formas más prometedoras y validadas de reutilización de energía en centros de datos (Yuan et al. 2023; Güğül et al. 2023; Wahlroos et al. 2018). Aunque todavía hay grandes desafíos para esta tecnología en los centros de datos, como una baja temperatura de los calores residuales debido a la limitación de la temperatura de funcionamiento de los equipos de TI, existe abundante documentación sobre una implementación exitosa y las mejores prácticas globales (por ejemplo, la compilación de la red alemana Bytes2Heat⁴).

Un enfoque que ha ido ganando tracción recientemente consiste en ubicar los centros de datos en climas más fríos.

4 <https://bytes2heat.de/bestpractices>

Esto permitiría la “refrigeración libre”, que sugiere utilizar las bajas temperaturas dadas de forma natural para reducir el consumo de energía y agua de los sistemas de refrigeración, así como el consumo indirecto de agua de la producción de electricidad (González Monserrate 2022; Md Abu Bakar Siddik et al. 2021). Aunque se debería dar prioridad a la refrigeración libre, cuando se necesite agua para refrigeración, la mayor parte de las extracciones deberían corresponder a agua reciclada y no potable.

En cuanto a los residuos electrónicos, es importante establecer políticas para la correcta reutilización, renovación y reciclaje de los equipos informáticos obsoletos o averiados. Un enfoque es el “pasaporte de materiales”, diseñado para llevar un registro del historial de las unidades y hacer más factible su reutilización (González Monserrate 2022). Además, la introducción de la Respon-

sabilidad Extendida del Productor (REP) para los equipos de los centros de datos obligaría a los fabricantes de servidores, sistemas de almacenamiento y equipos de red a establecer sistemas de recuperación de sus productos, lo que fomentaría aún más la economía circular (Veau et al. 2023).

Por último, definir, medir y divulgar las métricas medioambientales es otro paso crucial que hay que dar por varias razones, como la toma de decisiones informada, la evaluación comparativa, la gestión de riesgos y una mayor transparencia. Mytton (2021) generaliza que todo el sector de los centros de datos sufre de falta de transparencia, ya que los principales proveedores, Google y Microsoft, informan sobre su gestión medioambiental, pero mantienen en secreto la gestión de sus recursos. Amazon Web Services ni siquiera informa sobre el consumo energético de su centro de datos. ■



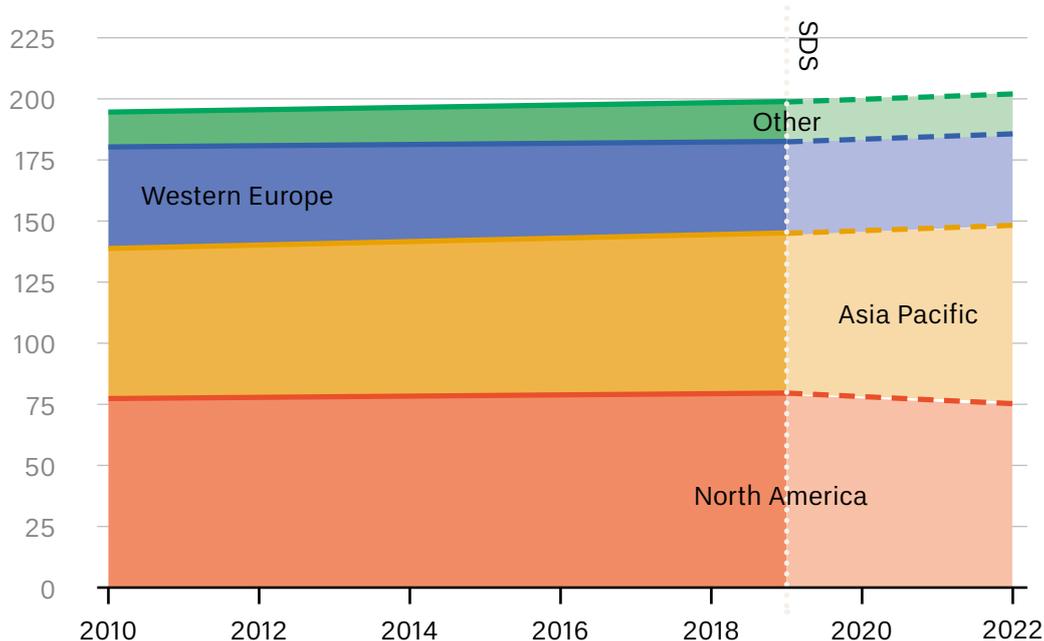
4 AMÉRICA LATINA EN EL PANORAMA MUNDIAL DE LOS CENTROS DE DATOS

El mercado para el desarrollo de infraestructura de centros de datos en América Latina se valoró en 1,360 millones de dólares en 2023 y se espera que alcance los 2,320 millones de dólares y una capacidad de potencia de 311 MW en 2029, lo que convierte a la región en un mercado en crecimiento significativo (Arizton Advisory & Intelligence 2024a). La región ya cuenta con una importante participación de grandes actores como Google, Amazon Web Services, Microsoft, Oracle e IBM Cloud; no obstante,

las empresas locales también están ampliando sus centros de datos en la región (Arizton Advisory & Intelligence 2024a).

Aunque se prevé que el consumo energético de los centros de datos en América Latina siga aumentando, sigue siendo relativamente bajo en comparación con otras regiones, como se ilustra en la Figura 4-1, donde América Latina sólo aparece en la categoría “Otros” con una demanda energética inferior a 5 TWh anuales en todo el periodo comprendido entre 2010 y 2022.

Figura 4-1: Demanda mundial de energía de los centros de datos por regiones (2010-2022)



Fuente: IEA 2020

Determinar el número exacto, la potencia o el consumo energético de los centros de datos en América Latina es un reto debido a la naturaleza dinámica del sector y a la escasez de datos exhaustivos. El directorio Data Center Map enumera 458 centros de datos registrados en América Latina y el Caribe: 350 en América del Sur, 62 en América Central y los países del Caribe. En cuanto a México, Cloudscene (2024) informa de un total de 170 centros de datos, de los cuales sólo 55 aparecen en Data Center Map.

La Tabla 4-1 presenta los países de la región con más centros de datos en funcionamiento, mostrando que Brasil y México lideran el mercado, seguidos de Chile y Colombia. Hay que tener en cuenta que estas cifras pueden variar en función de las distintas definiciones de lo que constituye un centro de datos; a menudo, las pequeñas instalaciones de TI (<100 kW) no se contabilizan en las estadísticas.

Tabla 4-1: Países de América Latina con el mayor número de centros de datos

País	Número de centros de datos
Brasil	181
México	170
Chile	61
Colombia	38
Argentina	31

Fuente: The World Ranking 2025, Cloudscene 2024, Data Center Map 2025

Aunque las estadísticas de consumo de potencia o energía describirían mejor el mercado, dado que los centros de datos varían mucho en tamaño, no se ha encontrado información pública disponible sobre los países latinoamericanos. Sin embargo, un estudio de mercado indica que Brasil domi-

na el mercado de centros de datos de la región, con casi el 45% de la capacidad total de potencia. Casi el 70% de la capacidad existente se concentra en Brasil y México (Market and Research 2025). Otra fuente señala que la capacidad total de Chile es el 50% de la de México (DC Byte 2024a).

Brasil

Dentro del mercado latinoamericano de centros de datos, Brasil es el líder regional, experimentando un crecimiento del 628% durante el periodo 2013-2023, y representando el 40% de las inversiones en la región (Arizton Advisory & Intelligence 2024a; DCD 2024). Entre los desarrollos más recientes en el país, Brasil lidera los despliegues de tecnología 5G, lo que impulsará el despliegue de varios centros de datos en todo el país (Arizton Advisory & Intelligence 2024b)

México

México tiene el segundo mayor mercado de América Latina en términos de metros cuadrados y potencial energético en centros de datos (DCD 2023b). Dentro del país, Querétaro representa el 65% de la capacidad instalada y se ha convertido en el epicentro regional de la inversión en centros de datos, con un enfoque en instalaciones de hiperescala. Según un análisis del mercado mexicano de centros de datos realizado por Data Center Dynamics (2023b), se espera un fuerte crecimiento de la infraestructura de centros de datos en México. Esto aumentará la capacidad instalada de 81 MW a más

de 500 MW en colocación y añadirá más de 1 GW a hiperescala. Recientemente se han anunciado 22 proyectos de inversión, doce de ellos ya en construcción. La mayoría de estos proyectos se concentran en Querétaro y están asociados a gigantes como Microsoft y Amazon.

Chile

El mercado de centros de datos de Santiago se beneficia de su conexión a varios cables submarinos a través de Valparaíso, incluido el proyecto de cable Humboldt de 400 millones de dólares, una asociación público-privada con Google, que unirá Chile con Sydney en 2026 (Qiu 2024). Este variado mercado – que incluye proveedores de servicios minoristas, hiperescala y nube pública – crea un sólido ecosistema en el país, a pesar de su reducido tamaño y población. Con una tasa de desocupación récord del 1.1%, la demanda de hiperescaladores y proveedores de nubes públicas está aumentando, sobre todo porque se espera que nuevas conexiones, como la de Australia, incrementen la demanda del mercado (CBRE 2024). Además, Microsoft está desarrollando una nueva región de centros de datos en Chile (Arizton Advisory & Intelligence 2024b).

Colombia

En Colombia, los ingresos de la industria de centros de datos alcanzaron aproximadamente 37.6 millones de dólares en 2022, con un crecimiento anual del 13% (ProColombia 2025). Dentro del país, el mercado de centros de datos de Bogotá creció significativamente el año pasado, acercándose al tamaño del de Querétaro (CBRE 2024). Los hiperescaladores han ampliado su presencia regional, mientras que los recién llegados se han introducido en el mercado adquiriendo edificios con infraestructura básica en las principales zonas de libre comercio, que ofrecen ventajas fiscales y ubicaciones privilegiadas cerca de autopistas y corredores industriales clave. El mercado también se apoya en la energía verde; el país multiplicará por 50 su capacidad instalada de generación de energía a partir de fuentes alternativas, pasando de 50 MW en 2018 a 2,500 MW en 2022, con la expectativa de constituir el 25% de la matriz energética de Colombia en 2050 (ProColombia 2025).

Los desafíos técnicos actuales incluyen la distancia entre algunas zonas de libre comercio y el centro de la ciudad, la conectividad limitada de fibra, las limitaciones de

transmisión (es decir, las limitaciones en la infraestructura que transporta la electricidad desde las centrales eléctricas hasta los usuarios finales o las redes de distribución), y la necesidad de establecer una infraestructura energética robusta para proyectos de hiperescala, lo que podría retrasar los plazos de construcción de los centros de datos (CBRE 2024).

Otros países

Los países más pequeños de la región también han registrado algunos avances relevantes en cuanto a infraestructura de centros de datos. Ecuador opera seis centros de datos (cuatro en Quito, uno en Manta y uno en Guayaquil) según una evaluación del Banco Mundial (2023b). Mientras tanto, según Data Center Map, Costa Rica tiene diez centros de datos en funcionamiento. Entre ellos, destacan los tres centros de datos de la empresa Codisa⁵ por su gran número de certificaciones internacionales, entre ellas PCI DSS (Certificación de seguridad de datos), LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), DCOS (Estándar de operación de centros de datos), ISO 5001 (Sistema de gestión energética certificado), entre otras.

5 <https://www.codisa.com/soluciones>

En general, la industria de los centros de datos en América Latina ha experimentado un crecimiento y una transformación significativos en los últimos años. El aumento de la demanda de servicios digitales ha dado lugar a un aumento de las inversiones en centros de datos en toda la región, lo que ha resultado en una afluencia de numerosos proyectos anunciados o ya en desarrollo (DCD 2023a). Además, las leyes de localización de datos en Brasil, México y Colombia también están contribuyendo a este crecimiento (Arizton Advisory & Intelligence 2024a). Los principales actores mundiales, como Google, Amazon y Microsoft, han ampliado su presencia en la región, mientras que las empresas regionales han reforzado su infraestructura para satisfacer las demandas locales. Con una inversión continua, innovación y un ecosistema digital en crecimiento, la región está preparada para convertirse en un centro clave para el almacenamiento y procesamiento de datos en el mercado global.

La creciente relevancia de la industria en la región latinoamericana también se refleja en la creación de varias asociaciones de centros de datos, que reúnen a empre-

sas y otras partes interesadas implicadas en la industria de los centros de datos y proporcionan una plataforma para la creación de redes y la colaboración. La Asociación Mexicana de Centros de Datos (MEX-DC)⁶ y la Asociación Brasileña de Centros de Datos (ABDC)⁷ se centran en promover buenas prácticas en la operación, diseño y gestión de centros de datos y su infraestructura, apoyar la investigación y la innovación, abogar por sus miembros en asuntos regulatorios y fomentar alianzas estratégicas para el intercambio de conocimientos. También pretenden crear o apoyar asociaciones educativas para hacer frente a la creciente demanda de talento especializado en el sector.

Para concluir, es importante señalar que los impactos medioambientales de esta industria mencionados anteriormente (véase el Capítulo 3), especialmente en términos de consumo de energía y agua, se ven exacerbados en el contexto latinoamericano debido a los retos existentes en la región en materia de infraestructura y recursos. Muchos centros de datos de la región dependen de electricidad procedente de fuentes no renovables, lo que supone una carga adicional para unas re-

6 <https://asmexdc.com/>

7 <https://datacenter.org.br/>

des energéticas ya sobrecargadas. Además, el uso generalizado de sistemas de refrigeración que consumen mucha agua agrava la crisis hídrica en zonas donde prevalecen las sequías y la escasez de agua. A medida que estas instalaciones se expanden rápidamente para satisfacer la creciente demanda, es necesario prestar atención urgente a estas cuestiones.

4.1 Contratación pública de centros de datos en América Latina

Como se mencionó anteriormente en (véase 2.2.2), los servicios gubernamentales digitales están vinculados a la contratación pública de centros de datos a medida que los países modernizan sus infraestructuras para apoyar la creciente demanda de digitalización. Varios países de América Latina están implementando plataformas digitales para hacer sus servicios más accesibles y eficientes para los ciudadanos, una transición que no sólo mejora la prestación de servicios, sino que también promueve una mayor transparencia, reduciendo la burocracia y permitiendo respuestas más rápidas a las necesida-

des públicas. La mayoría de los gobiernos latinoamericanos han puesto en marcha iniciativas de gobierno electrónico, generalmente en el marco de una estrategia nacional, que permiten a los ciudadanos interactuar con las instituciones públicas en línea, reduciendo los tiempos de espera y el papeleo (OCDE; CAF 2024). Además, en los principales centros urbanos están surgiendo proyectos de ciudades inteligentes⁸, que utilizan herramientas digitales para optimizar la gestión del tráfico, la recogida de residuos y el uso de la energía (Instituto de las Américas 2024).

Por ejemplo, Colombia disfruta de una infraestructura digital internacional bien desarrollada en proporción a su población, nivel de renta y ubicación estratégica. Esta infraestructura ha permitido el crecimiento de vibrantes mercados de centros de datos y nubes que son esenciales para la adopción generalizada de tecnologías digitales en el sector público (Banco Mundial 2023a). Otros países, como Ecuador, acaban de iniciar sus esfuerzos de digitalización. La Agenda de Transformación Digital 2022-2025 del gobierno ecuatoriano fue un primer paso crítico para permitir que el sector público desempeñe un papel

8 Una zona urbana que emplea la tecnología digital, el análisis de datos y la conectividad en red para mejorar la calidad de vida de sus residentes.

central en la transformación digital de la economía, como usuario clave de las tecnologías digitales para ofrecer productos y servicios, y como regulador de las funciones y actividades relacionadas con la economía digital (Banco Mundial 2023b).

A medida que la región sigue evolucionando en su adopción digital, los procesos de compra pública también se están adaptando para dar prioridad a productos como los centros de datos, que se identifican cada vez más como productos clave para las intervenciones en ecoetiquetado (EE) y contratación pública sostenible (CPS) debido a su importante potencial de ahorro energético y los beneficios climáticos asociados, como se ha comenta-

do en secciones anteriores (Gröger y Behrens 2023; PrimeEnergyIT 2012).

Lamentablemente, se dispone de pocos datos sobre el gasto público en centros de datos o servicios conexos en los países de América Latina. Los datos actualmente disponibles en los sistemas nacionales de contratación pública no son comparables ni concluyentes, ya que la categorización de los servicios relacionados con la digitalización puede variar de un país a otro. Para poder comparar el valor o el número de contratos en la compra pública, se necesita una categorización más específica para estos productos y servicios. Por lo tanto, este estudio omite la mención de estas cifras. ■

5 MEJORA DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL DE LOS CENTROS DE DATOS

Este capítulo explora el papel de las políticas, las ecoetiquetas y las CPS en la mejora del rendimiento energético de los centros de datos. Las políticas de eficiencia energética desempeñan un papel fundamental a la hora de abordar el impacto medioambiental de los centros de datos, ya que establecen marcos que fomentan la adopción de tecnologías y prácticas destinadas a reducir el consumo de energía.

Partiendo de los cimientos de las políticas de eficiencia energética, las ecoetiquetas y las CPS se basan en criterios medioambientales claros, verificables y ambiciosos para productos y servicios, basados en el concepto de ciclo de vida y en una base de pruebas científicas, y se dirigen a los mejores productos y tecnologías disponibles en el mercado. Además, las ecoetiquetas desempeñan un papel crucial en la transformación de los mercados hacia una mayor sostenibilidad cuando se integran en un marco más amplio de política de productos que proporciona la estructura y la orientación necesarias para introducir cambios sistémicos en las pautas de producción y consumo.

Cuando las ecoetiquetas se combinan con normas medioambientales mínimas obligatorias y con CPS, crean un efecto sinérgico que impulsa la innovación, fomenta el desarrollo de tecnologías más ecológicas y promueve un mercado competitivo para los productos sostenibles (Prakash et al. 2021).

5.1 Políticas de eficiencia energética

Las políticas de eficiencia energética están diseñadas para promover el uso eficiente de la energía, y pueden ser obligatorias (por ejemplo, leyes, reglamentos) o voluntarias (por ejemplo, códigos de conducta, acuerdos, pactos). Estas políticas también pueden establecer normas, directrices e incentivos para animar a las empresas, industrias y particulares a adoptar prácticas y tecnologías eficientes desde el punto de vista energético.

Hay varios países que ya han aplicado políticas de eficiencia energética, como se muestra en la Tabla 5-1 (Brocklenhurst 2024). La mayoría de ellas se han adopta-

do recientemente, principalmente a partir de 2020, algunas de ellas apoyadas por sistemas nacionales o supranacionales de etiquetado o certificación (véase 5.2).

Tabla 5-1: Países con políticas de eficiencia energética

Categoría de política	Descripción	Países de adopción
Esquemas de permisos gubernamentales	El desarrollo de centros de datos a gran escala requiere la autorización del gobierno central	China Singapur
Obligaciones mínimas de eficiencia energética	Requisitos para que las grandes organizaciones consumidoras de energía o los propietarios/arrendatarios de grandes edificios reduzcan el consumo de energía y/o cumplan objetivos específicos, incluidos los centros de datos.	China Francia Alemania Japón Países Bajos
Políticas de consolidación de centros de datos y de prioridad a la nube	Políticas para fomentar el paso de la informática pública a la nube	Canadá Francia Singapur Reino Unido
Políticas de contratación del sector público	Políticas de contratación obligatoria o voluntaria para los centros de datos (véase 5.3)	Australia UE Alemania Países Bajos Estados Unidos (California)
Sistemas de incentivos	Incentivos para un buen desempeño medioambiental (por ejemplo, beneficios económicos directos como descuentos en el impuesto sobre el carbono).	UE Francia Reino Unido
Acuerdos voluntarios	En el <i>Climate Neutral Data Center Pact</i> ¹ , los signatarios se comprometen a conseguir que los centros de datos sean neutros para el clima en 2030. En el Código de Conducta de la UE para la eficiencia energética de los centros de datos ² , se espera que las partes firmantes se atengan a una serie de compromisos acordados.	UE

Fuente: Brocklenhurst 2024

1 <https://www.climateneutraldatacenter.net/>

2 <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/communities/data-centers-code-conduct>

Además, las políticas de información energética pueden servir como complemento o precursor de las políticas de eficiencia energética, ayudando a informar y orientar futuras normativas al proporcionar datos esenciales para desarrollar estrategias específicas y eficaces. Hasta ahora se han aplicado dos tipos de políticas que obligan a los centros de datos a informar sobre el uso de la energía: 1) obligaciones generales para los grandes usuarios de energía, incluidos los centros de datos, que llevan más de una década en vigor, y, más recientemente, 2) obligaciones específicas para los centros de datos destinadas a recopilar

información para mejorar las políticas de eficiencia energética, con algunos datos publicados para animar a las organizaciones a mejorar la competitividad y la sostenibilidad (Brocklenhurst 2024).

En cuanto al primer tipo, en Francia y Japón se ampliaron dos políticas de información sobre la energía de los edificios para incluir los centros de datos. En cambio, la UE y Alemania implementaron obligaciones específicas dirigidas a los centros de datos a través de la Ley Alemana de Eficiencia Energética y la Directiva de Eficiencia Energética (DEE) de la Unión Europea.

Ley alemana de eficiencia energética

La Ley Alemana de Eficiencia Energética publicada en 2023 introduce requisitos mínimos sobre eficiencia energética, así como requisitos sobre calor residual, e insta medidas de información obligatorias para los operadores de centros de datos y TI. Los centros de datos puestos en funcionamiento antes de julio de 2026 deben alcanzar una efectividad energética (es decir, un indicador clave de la eficiencia energética de la infraestructura de un centro de datos, véase 6.1) igual o inferior a 1.5 en 2027. En 2030 este requisito será más ambicioso (1.3). Los centros de datos que se incorporen al mercado después de julio de 2026 deberán destinar al menos el 10% de su energía residual a la reutilización y mostrar una eficiencia energética inferior o igual a 1.2. Esta normativa incluye excepciones para los centros de datos durante sus primeros años de operación. Además, los operadores de centros de datos deben entregar informes anuales que incluyan datos sobre su cuota de energía renovable y reutilizada, calor residual, la cantidad de datos almacenados y procesados, la eficiencia de la refrigeración y la eficiencia del consumo de agua y energía.

En cuanto al uso de fuentes de energía renovables, la Ley estipula que los operadores de centros de datos deben cubrir su consumo medio anual de electricidad con un 50% de fuentes renovables a partir de 2024. Este porcentaje aumentará hasta el 100% en 2027. Además, deberán establecer sistemas de gestión medioambiental y energética hasta 2025. La ley afecta a los centros de datos con más de 300 kW de potencia informática no redundante (Bundesministerium der Justiz 2023). Aplica los requisitos establecidos por la EED.

La Directiva de Eficiencia Energética de la Unión Europea (DEE)

Los centros de datos fueron responsables del 2.7% de la demanda de electricidad de la UE en 2018. Como resultado, se consideró necesario implementar medidas para abordar la huella ambiental de los centros de datos. La Directiva de Eficiencia Energética de la UE (DEE) tiene como objetivo obligar a los Estados miembros a exigir que los centros de datos dentro de sus jurisdicciones informen y divulguen información específica a la Comisión Europea. Esta información incluye la superficie, la potencia instalada, el tráfico anual de datos entrantes y salientes y el volumen de datos almacenados y procesados. Además, para evaluar su sostenibilidad, los centros de datos también deben divulgar información sobre eficiencia energética, uso de energías renovables, recuperación de calor residual, eficiencia de la refrigeración, consumo de agua dulce y emisiones de carbono.

Al aumentar la transparencia sobre el rendimiento de los centros de datos, la UE pretende impulsar la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad en el sector. Además, la DEE fomenta las auditorías energéticas y la adopción de medidas para reducir el consumo total de energía. Los centros de datos con una demanda de potencia informática instalada inferior a 1 MW están exentos de los requisitos de la DEE (Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea 13/9/2023) .

5.2 Esquemas de ecoetiquetado y certificación

Actualmente, existen dos ecoetiquetas de tipo I para centros de datos: **El Ángel Azul (DE-UZ 228)** y **la Ecoetiqueta Austriaca** (más información en el Capítulo 6). Otros tipos de sistemas de certificación que incluyen los centros de datos centran sus criterios en la eficiencia energética y un rendimiento superior en materia de sostenibilidad. Algunos ejemplos son:

- **El Sistema Nacional de Clasificación del Entorno Construido de Australia (NABERS, National Australian Built Environment Rating System)**, un sistema de clasificación basado en estrellas sobre la eficiencia energética operativa y el impacto ambiental de los edificios en Australia, incluye una categoría de centros de datos. NABERS informa de un ahorro medio de costos energéticos de más de 2 millones de dólares estadounidenses al año cuando se pasa de tres a cinco estrellas; también ofrece una certificación *Climate Active Carbon Neutral* a aquellos con una calificación de cuatro estrellas o superior que utilicen compensaciones de carbono.
- **La Marca Verde BCA-IDA de Singapur** para centros de datos, desarrolla-

da conjuntamente por la Autoridad de Edificación y Construcción (BCA) y la Autoridad de Desarrollo de Medios Infocomm (IMDA), es también un sistema de clasificación (Gold, GoldPLUS, Platinum) que compara el rendimiento de los centros de datos con umbrales definidos. Además de la eficiencia energética, la Marca Verde también tiene en cuenta el diseño y la construcción.

- **La etiqueta estadounidense Energy Star** para centros de datos puntúa a los candidatos en función del valor medio de una muestra tomada periódicamente, y a los que obtienen una puntuación igual o superior a 75 se les concede la certificación (Brocklenhurst 2024). Dado que esta etiqueta se centra exclusivamente en la eficiencia energética, se clasifica como etiqueta de Tipo 3. En la actualidad, hay 290 centros de datos certificados con la Energy Star (Energy Star 2025).

La ecoetiqueta alemana Ángel Azul para centros de datos (DE-UZ 228)

La certificación Ángel Azul establece requisitos para que los centros de datos sean energéticamente eficientes y ahorren recursos, y establece criterios para supervisar el suministro de energía, la refrigeración y el rendimiento informático con el fin de identificar áreas de optimización y promover operaciones más eficientes. Para obtener el Ángel Azul, los operadores de centros de datos deben cumplir unas normas mínimas, verificadas por un auditor independiente aprobado por la Agencia Alemana de Medio Ambiente.

La certificación se concede a los centros de datos que utilizan los equipos técnicos de sus edificios de forma eficiente desde el punto de vista energético y conservando los recursos, desarrollan y aplican una estrategia a largo plazo para mejorar la eficiencia energética y de los recursos, permiten a los clientes adoptar medidas de ahorro energético y ofrecen unos estándares mínimos garantizados e informes transparentes (Blue Angel 2023).

Los siguientes son ejemplos de centros de datos que han sido certificados con el Ángel Azul (DE-UZ 228):

- ➔ El centro de datos PBIT Systeme de Brandemburgo se construyó siguiendo criterios ambientales y se planificó conforme a la norma europea EN 50600 con clase de disponibilidad 3. Además de importantes factores de seguridad en la supervisión, el acceso y la protección contra incendios, se utiliza un sistema de refrigeración climáticamente neutro para la tecnología de servidores y un sistema de generación de energía solar para garantizar que las operaciones sean sostenibles y conserven los recursos (Blue Angel 2025).
- ➔ El Green IT Cube es un innovador centro de datos energéticamente eficiente situado en el Centro Helmholtz de Investigación de Iones Pesados (GSI) de Würzburg. Actualmente en su primera fase, el centro de datos cuenta con refrigeración por agua en los *racks* de servidores, que es altamente eficiente, utilizando menos del 7% de la energía eléctrica de los equipos informáticos. La instalación tiene capacidad para 128 *racks* por planta y albergará 786 cuando esté totalmente ampliada. Su diseño en forma de almacén de gran altura permite el paso de cables cortos, y el calor residual generado se reutiliza para calentar los edificios de oficinas y cafetería cercanos, lo que mejora su sostenibilidad (Blue Angel 2025).

5.3 Contratación pública sostenible

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), a través de su iniciativa United 4 Efficiency (U4E)⁹, ha elaborado recientemente unas Directrices de Compra Sostenible para Centros de Datos y Servidores Informáticos que ofrecen recomendaciones sobre varios criterios clave de rendimiento y condiciones de funcionamiento relevantes a la hora de seleccionarlos. Estas directrices se basan en las mejores prácticas internacionales y en normas mundiales establecidas (por ejemplo, el Código de Conducta de la UE, Energy Star, ISO/IEC 30134, entre otras). Se elaboraron mediante un enfoque colaborativo con proveedores de servicios e instituciones clave del sector, y su objetivo es facilitar la preparación de los documentos de licitación emitidos por las instituciones públicas para servidores y productos de almacenamiento de datos (Lafitte 2025).

Además, se han implantado varias políticas de contratación pública para centros de datos, siendo algunas obligatorias, como en Australia, y otras voluntarias,

como las de la Unión Europea. A continuación, se presentan algunos ejemplos ilustrativos de criterios y directrices de CPS para centros de datos a nivel regional, nacional y subnacional.

Directrices sobre contratación pública ecológica en la Unión Europea

Los criterios de contratación pública ecológica de la Unión Europea (2020) para centros de datos, salas de servidores y servicios en la nube son voluntarios, aunque la DEE obliga a las autoridades a esforzarse por adquirir únicamente productos y servicios que cumplan al menos las especificaciones técnicas de nivel “básico” establecidas en estos criterios. Entre las especificaciones técnicas relacionadas con la energía figuran la eficiencia del estado activo del servidor, el rango de funcionamiento de las TIC para la refrigeración del aire (temperatura y humedad) y el requisito de que las instalaciones de control ambiental se ajusten a las normas y recomendaciones de la norma EN 50600-2-3¹⁰. Cada modelo de servidor del centro de datos debe cumplir o superar los umbrales mínimos de eficiencia en es-

9 <https://united4efficiency.org/>

10 Norma europea: Tecnología de la información - Instalaciones e infraestructuras de centros de datos - Parte 2-3: Control medioambiental

tado activo según la metodología de medición EN 303470¹¹.

Programa de Eficiencia de los Recursos III en Alemania

El Programa de Eficiencia de Recursos III de Alemania, finalizado en 2023, era una política de contratación voluntaria que se aplicaba a todas las adquisiciones de TI del gobierno federal. El objetivo del programa era que los centros de datos del gobierno alemán cumplieran los criterios del Ángel Azul para centros de datos. Este objetivo se recogía en la medida 111 del Programa Alemán de Eficiencia de los Recursos III (2020-2023).

Reglamento administrativo general para la contratación de productos y servicios respetuosos con el clima (AVV Klima) en Alemania

AVV Klima es una normativa administrativa general aplicada por el Gobierno federal alemán para promover prácticas de contratación respetuosas con el clima en los organismos federales. En vigor desde 2022, sustituye a la anterior directiva centrada en la contratación eficiente desde el punto

de vista energético (AVV EnEff) y amplía su ámbito de aplicación para abarcar medidas más amplias de protección del clima (UBA 2021). Aunque AVV Klima no menciona explícitamente los centros de datos, sus principios y requisitos generales son aplicables a todas las actividades de contratación, incluidas las relacionadas con los centros de datos. Cabe destacar el apartado 4, que exige que las descripciones de la contratación hagan referencia a las etiquetas de calidad existentes, como la etiqueta ecológica Ángel Azul (véase 5.2).

Política de eficiencia del uso de recursos en New South Wales (Australia)

La Política de Operaciones Gubernamentales Neto Cero de New South Wales es una política obligatoria que regula las actividades gubernamentales comunes que tienen emisiones significativas de GEI; esto incluye los centros de datos propiedad de o alquilados por agencias gubernamentales (NSW Government 2025). Esta política utiliza como métrica la clasificación NABERS para centros de datos (véase 5.2), estableciendo un nivel que exige una clasificación de infraestructura y equipos informáticos de NABERS de mínimo 4.5 estrellas.

11 Norma europea: Ingeniería medioambiental (EE) - Metodología de medición de la eficiencia energética y métricas para servidores

Plan de Acción de Construcción Verde de California (Estados Unidos)

El Plan de Acción de Construcción Verde de California (2014) incluye reglas de contratación y normas mínimas de eficiencia energética para los centros de datos de propiedad estatal y alquilados (Brocklenhurst 2024). Estos requisitos específicos de los centros de datos se suman a normas de construcción más amplias, que incluyen mandatos para que los nuevos edificios estatales y las renovaciones importantes se construyan como instalaciones de energía neta cero a partir de 2025.

5.4 Otras medidas

5.4.1 Contratos de rendimiento energético

Aparte de los instrumentos descritos en este capítulo, existen otras medidas financieras que también pueden utilizarse para promover la eficiencia energética en los centros de datos sin implicar explícitamente criterios de sostenibilidad. La más relevante es el Contrato de Rendimiento Energético (EPC), un tipo de financiación innovadora que permite financiar las mejoras energéticas a través de los ahorros generados por la reducción de los costos energéticos (JRC 2025).

En un acuerdo EPC, una entidad externa o empresa de servicios energéticos lleva a cabo un proyecto destinado a mejorar la eficiencia energética o implantar soluciones de energías renovables, y luego utiliza los ahorros o ingresos resultantes para amortizar los costos del proyecto, incluida la inversión inicial. Esencialmente, esta entidad externa sólo recibe el pago si el proyecto consigue el ahorro de energía previsto (CCI 2025).

En EPC para centros de datos, el potencial para mejorar su eficiencia energética está en diseñar, aplicar y financiar medidas como la mejora de los sistemas de refrigeración o la optimización de la utilización de los servidores, garantizando una reducción del consumo de energía durante un periodo determinado.

5.4.2 Reglamento de Taxonomía de la UE

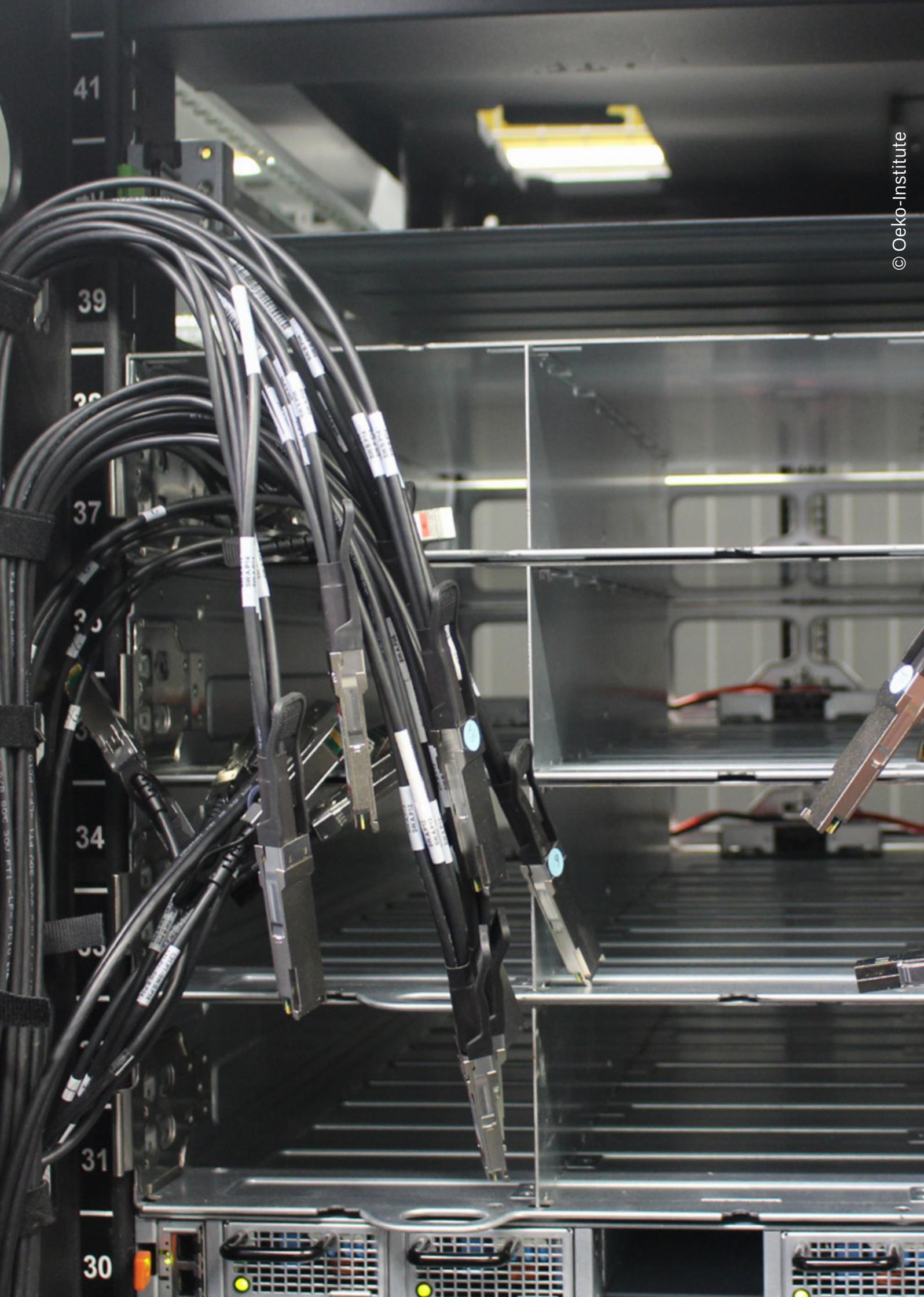
Existen medidas reguladoras distintas de las políticas de eficiencia energética que pueden contribuir a mejorar el rendimiento energético del sector de los centros de datos. El Reglamento sobre Taxonomía de la UE establece un sistema de clasificación que define criterios para las actividades económicas que contribuyen a los objetivos climáticos y medioambientales de la UE. Aunque no

impone requisitos obligatorios de rendimiento medioambiental, proporciona un marco común para identificar las actividades sostenibles. La Taxonomía se aplica mediante actos delegados, que especifican criterios técnicos de selección para diversos objetivos medioambientales. El acto delegado sobre el clima de la Taxonomía de la UE se centra en la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo, garantizando que las actividades no perjudiquen significativamente a otros objetivos medioambientales (Bertoldi 2023).

En el caso de los centros de datos, el artículo 8.1 de la Ley Delegada sobre el Clima establece criterios para evaluar su contribución a la mitigación del cambio climático. Esto incluye el cumplimiento auditado del Código de Conducta para la eficiencia energética en los centros de datos (véase 5.1) como requisito clave (Bertoldi 2023).

5.4.3 Requisitos de ecodiseño para servidores y productos de almacenamiento de datos

Desde 2019, los requisitos de diseño ecológico de la UE para servidores y productos de almacenamiento de datos (EU 2019/424) tienen como objetivo limitar su impacto ambiental “con un conjunto de normas sobre eficiencia energética, como la eficiencia mínima de las unidades de alimentación y la eficiencia mínima del servidor en estado activo, el consumo máximo en estado inactivo y la información sobre la temperatura de funcionamiento del producto” (Comisión Europea 2025). Se prevé que esta normativa ahorre a los Estados miembros de la UE 3 TWh de electricidad de aquí a 2030, lo que supone un ahorro del 4%. Este ahorro representa el 0.13% del consumo total de electricidad de la UE en 2020, y es superior al consumo de Malta (Comisión Europea 2025). ■



6 CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA CENTROS DE DATOS EFICIENTES EN RECURSOS

Este capítulo examina los criterios clave para operar y optimizar los centros de datos con el fin de lograr una mayor eficiencia, reducir costos y contribuir a los esfuerzos de sostenibilidad. Estos criterios se derivan de los instrumentos presentados en el capítulo anterior, en particular EE y CPS, que definen las directrices de sostenibilidad que deben cumplir estas instalaciones para garantizar su rendimiento medioambiental.

Los criterios de sostenibilidad están estrechamente relacionados con las métricas medioambientales, ya que proporcionan las normas y objetivos específicos con los que se mide y evalúa el rendimiento medioambiental. Se puede utilizar una amplia gama de métricas para evaluar los indicadores clave de rendimiento (KPI) de los centros de datos (Reddy et al. 2017).

La Tabla 6-1 muestra un resumen de los cinco criterios de sostenibilidad que suelen abordar los criterios de CPS y EE para centros de datos eficientes en recursos, los KPI seleccionados para medirlos y sus definiciones según la norma europea para infraestructuras de centros de datos (EN

50600). Es importante distinguir entre el funcionamiento de la tecnología del edificio (sistemas de refrigeración, suministro eléctrico, tecnología de seguridad) y el funcionamiento de la infraestructura informática (servidores, sistemas de almacenamiento, tecnología de red) (Gröger y Behrens 2023). Mientras que los cuatro primeros criterios se refieren a la eficiencia de la tecnología del edificio, el índice de utilización de los servidores se refiere a la eficiencia de la infraestructura informática.

Tabla 6-1: Criterios de sostenibilidad y KPI de los centros de datos eficientes en recursos

Criterio	KPI	Definición
Gestión de la energía	Eficiencia del uso de la energía (PUE)	Relación entre el consumo de energía de todo el centro de datos y el consumo de energía de la TI en un año
	Factor de reutilización de la energía (ERF)	Relación de la energía descargada que se destina a un uso posterior razonable, por ejemplo, en forma de aprovechamiento del calor residual.
Eficiencia de la refrigeración	Índice de eficiencia de refrigeración (CER)	Relación entre la energía de refrigeración producida y la energía utilizada para los aparatos en un año
Consumo de agua	Eficiencia del uso del agua (WUE)	Relación entre la cantidad de agua consumida y el consumo de energía de la TI dentro de un año
Energías renovables	Factor de energía renovable (REF)	Porcentaje de energías renovables en el consumo total de energía del centro de datos
Índice de utilización de los servidores	Utilización de equipos informáticos para servidores (ITEUsv)*.	Medida de la utilización media de todos los servidores activos de un centro de datos durante un año.

* Según la definición de la norma ISO/IEC 30134-5

Fuente: Gröger y Behrens 2023

Otros aspectos que deben tenerse en cuenta (véase 6.6) son los refrigerantes utilizados para la refrigeración, las emisiones de carbono y la gestión al final de la vida útil, entre otros.

Además de los criterios de los esquemas de EE existentes (Blue Angel 2023; Österreichisches Umweltzeichen 2023) y CPS (Co-

misión Europea 2020), se espera que a finales de este año se publiquen las Directrices de contratación sostenible del PNUMA para centros de datos y servidores informáticos¹².

Cada uno de los criterios de sostenibilidad más relevantes para los centros de datos eficientes se describen con más detalle en los siguientes apartados.

12 <https://united4efficiency.org/resources/sustainable-procurement-guidelines-for-data-centers-and-computer-servers/>

6.1 Gestión de la energía

Para evaluar y mejorar eficazmente el rendimiento energético de los centros de datos, la métrica de eficiencia energética más utilizada es la **Eficiencia del Uso de la Energía (PUE, Power Usage Effectiveness)**, definida como una unidad que mide el consumo de energía de un centro de datos. El PUE se define según la norma EN 50600-4-2 como:

$$PUE = \frac{\text{Consumo de energía anual total del centro de datos (en kWh)}}{\text{Consumo de energía anual de los equipos de TI (en kWh)}}$$

El PUE ideal es 1.0, es decir, una eficiencia del 100%. Sin embargo, esto es imposible de alcanzar. Desde 2020 aproximadamente, el PUE global se ha mantenido casi estática (entre 1.55 y 1.59). Esta falta de mejora se debe principalmente a plantas heredadas más antiguas y menos eficientes. En 2023, el PUE media mundial era de 1.58 (Davis 2024).

La Tabla 6-2 muestra los requisitos mínimos de PUE establecidos tanto por el Ángel Azul (DE-UZ 228) (2023) como por la Ecoetiqueta Austriaca (UZ 80) para centros de datos (2023). Quedan exentos de estos requisitos los centros de datos de nueva construcción (ya que a menudo no funcionan a pleno rendimiento) y

los centros de datos puestos en servicio hace menos de 15 meses.

Tabla 6-2: Requisitos mínimos de PUE en el Ángel Azul y la Ecoetiqueta Austriaca para centros de datos

Fecha de puesta en servicio del centro de datos	PUE
01/01/2024 o posterior	PUE ≤ 1.25
Entre el 01/01/2019 y el 31/12/2023	PUE ≤ 1.30
Entre el 01/01/2015 y el 31/12/2018	PUE ≤ 1.50
31/12/2014 o anterior	PUE ≤ 1.60

Fuente: Blue Angel 2023; Österreichisches Umweltzeichen 2023

Además, la Ley Alemana de Eficiencia Energética (2023) (véase 5.1) exige que los centros de datos en funcionamiento alcancen una PUE de 1.3 para 2030; mientras que los centros de datos puestos en servicio después de julio de 2026 deben tener una PUE de 1.2 o inferior.

Según el Uptime Institute (2024), las instalaciones más grandes tienden a ser más eficientes. Los centros de datos a hiperescala son relativamente nuevos y utilizan equipos de última generación con diseños de refrigeración más

eficientes y controles optimizados. En este contexto, la inversión en la mejora de los centros de datos más pequeños a menudo requiere inversiones desproporcionadamente grandes para dar lugar a un ahorro de energía comparativamente grande.

Además de su consumo de energía primaria, algunos centros de datos reutilizan su energía para diversas aplicaciones, generando oportunidades de utilización de energía secundaria. El **Factor de Reutilización de la Energía (ERF, Energy Reuse Factor)** es otro indicador utilizado para evaluar la gestión de la energía en un centro de datos, y se define según la norma EN 50600-4-6 como:

$$PUE = \frac{\text{Consumo de energía anual total del centro de datos (en kWh)}}{\text{Consumo de energía anual de los equipos de TI (en kWh)}}$$

El valor del ERF va de 0 (no se reutiliza energía) a 1 (se reutiliza toda la energía), aunque es físicamente imposible reutilizar el 100% de la energía, ya que hay pérdidas en cualquier transferencia de calor¹³ (Gröger y Behrens 2023).

El Ángel Azul (DE-UZ 228) y la Ecoetiqueta Austriaca (UZ 80) exigen que una parte del calor residual generado sea utilizado por el operador del centro de datos en sus propias instalaciones o por consumidores externos (es decir, ERF > 0). Los centros de datos con una capacidad eléctrica igual o superior a 100 kW deben estar equipados para transferir el calor residual fuera de las instalaciones, incluidas las conexiones necesarias para tal uso. Si el calor no se reutiliza, el operador debe promover activamente un uso futuro. Además, el operador debe publicar detalles sobre los niveles de temperatura y el volumen de calor que puede suministrar; y permitir que los consumidores potenciales de calor suscriban contratos de suministro a previa solicitud. El ERF también debe ser objeto de un informe anual.

En Alemania, la Ley de Eficiencia Energética (2023) impone tasas de utilización del calor residual para los nuevos centros de datos (en función de la fecha de inicio de operación): 10% (julio de 2026), 15% (julio de 2027) y 20% (julio de 2028).

13 Todos los tipos de energía (eléctrica, térmica, química y mecánica) se tienen en cuenta por igual en el cálculo. Sin embargo, la energía adicional necesaria para la preparación o distribución a fin de que la energía recuperada pueda utilizarse externamente no se tiene en cuenta en el cálculo (EN 50600-4-6).

6.2 Eficiencia de la refrigeración

El **coeficiente de eficiencia de la refrigeración (CER)** es la relación entre la carga anual de del sistema de refrigeración y la entrada total de energía en el sistema, y se define según la norma EN 50600-4-7 como:

$$CER = \frac{\text{Cantidad anual de calor extraído del centro de datos (en kWh)}}{\text{Consumo anual de energía de los sistemas de refrigeración (en kWh)}}$$

Los valores teóricos del CER pueden oscilar entre 1 e infinito. Refleja la eficiencia del sistema de refrigeración y su uso eficiente, promediado a lo largo de todo un año. El CER también influye en el PUE. Pero no existe una causalidad lineal, ya que el PUE también tiene otros factores de influencia.

La Tabla 6-3 muestra los requisitos mínimos de CER establecidos tanto por el Ángel Azul (DE-UZ 228) (2023) como por la Ecoetiqueta Austriaca para centros de datos (2023). Los centros de datos de nueva construcción (ya que a menudo no funcionan a pleno rendimiento) y los puestos en marcha hace menos de 15 meses están exentos de estos requisitos.

Tabla 6-3: Requisitos mínimos para la CER en el Ángel Azul y la Ecoetiqueta Austriaca para centros de datos

Fecha de puesta en servicio del sistema de refrigeración	CER
01/01/2024 o posterior	CER > 9
Entre el 01/01/2019 y el 31/12/2023	CER > 8
Entre el 01/01/2015 y el 31/12/2018	CER > 7
31/12/2014 o anterior	CER > 5

Fuente: Ángel Azul 2023; Österreichisches Umweltzeichen 2023

6.3 Consumo de agua

La pérdida de agua se debe principalmente a la refrigeración evaporativa dentro de los centros de datos en condiciones climáticas cálidas y secas. En este contexto, la refrigeración evaporativa contribuye a reducir el consumo de energía. **La Eficiencia del Uso del Agua (WUE, Water Usage Effectiveness)** es el KPI utilizado para medir el consumo de agua y se calcula según la norma EN 50600-4-9 de la siguiente manera:

$$WUE = \frac{\text{Consumo de agua en el centro de datos (en litros)}}{\text{Consumo total de energía de los equipos de TI (en kWh)}}$$

Este indicador se divide en tres categorías: 1) consumo de agua sin reutilización, 2) consumo de agua con reutilización y 3) consumo de agua con reutilización energética e industrial (EN 50600-4-9). Aunque el Ángel Azul (DE-UZ 228) (2023) y la Ecoetiqueta Austriaca (UZ 80) (2023) no fijan valores mínimos para el WUE, exigen la presentación de informes anuales

El *Climate Neutral Data Center Pact* establece el objetivo de 0.4 litros/kWh. Para el panorama estadounidense de centros de datos, LBNL (2024) define cuatro “categorías espaciales” de centros de datos (pequeños, medianos y de colocación, hiperescala y especializados en IA). Para cada una de ellas, junto con su distribución local y las condiciones meteorológicas de Estados Unidos, el estudio calcula un valor medio de eficiencia hídrica:

1. Los centros de datos pequeños consumen unos 0.32 litros/kWh,
2. Los centros de datos medianos y de colocación consumen unos 0.67 litros/kWh,
3. Los hiperescaladores consumen 0.32 litros/kWh (similar a los pequeños)
4. Los centros de datos especializados en IA consumen 0.61 litros/kWh.

Hay que tener en cuenta que la evaluación del WUE está muy influida por la ubicación geográfica del centro de datos, sobre

todo en términos de disponibilidad local de agua. En consecuencia, que un mayor uso de agua para refrigeración sea aceptable desde el punto de vista medioambiental depende de la situación concreta. Para abordar esta cuestión, el WUE podría combinarse con un indicador de escasez de agua (Gröger y Behrens 2023).

6.4 Energía renovable

Para evaluar con precisión el impacto medioambiental de un centro de datos, es importante reconocer que algunas instalaciones generan su propia energía en lugar de depender únicamente de la red eléctrica. El uso de generación de energía renovable in situ ayuda a reducir la huella de carbono del centro de datos, y la reducción está directamente relacionada con la proporción de energía procedente de fuentes renovables

El **Factor de Energía Renovable (REF, Renewable Energy Factor)**, según la norma EN 50600-4-3 mide la proporción de energía renovable en el consumo total de energía del centro de datos. Por lo tanto, no es un indicador de eficiencia energética.

Cantidad total de energía suministrada por fuentes renovables (en kWh)

$$REF = \frac{\text{Cantidad total de energía suministrada por fuentes renovables (en kWh)}}{\text{Consumo de energía total del centro de datos (en kWh)}}$$

El Ángel Azul (DE-UZ 228) (2023) y la Eco-etiqueta Austriaca (UZ 80) (2023) exigen a los solicitantes que el 100% de la electricidad consumida proceda de energías renovables (hidroeléctrica, fotovoltaica, eólica o de biomasa).

En este contexto, es importante subrayar que, si bien la transición a fuentes de energía renovables es crucial para todos los sectores, es igualmente importante que, al cumplir estos requisitos, el consumo de energía verde no sea monopolizado por los operadores de centros de datos, sino que éstos también contribuyan a ecologizar la red (Lafitte 2025).

6.5 Índice de utilización de los servidores

Los servidores consumen una cantidad significativa de energía, aunque no realicen ningún cálculo. Dependiendo del modelo y de la configuración energética, el consumo en reposo (el estado de no computación) es del 20% al 100% de la potencia máxima. Cuanto más se utiliza el servidor, menor es la proporción de electricidad desperdiciada.

La utilización de equipos informáticos para servidores (ITEUsv) se refiere a la utilización de equipos de servidor en un centro de datos en operación. Se trata de un indicador operativo con el entendimiento de que la eficiencia energética de los servidores suele ser óptima a niveles de utilización más elevados (SDIA 2025). También puede entenderse como la utilización media de las Unidades Centrales de Proceso (CPUs, los componentes primarios de los servidores) de todos (o un grupo de) servidores en un momento dado. Esta métrica se calcula de acuerdo con la norma ISO/IEC 30134-5 de la siguiente manera:

$$ITEU_{sv} = \frac{1}{T} \sum_t^{t+T} ITEU_{sv}(t)$$

$$ITEU_{sv}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CUS_i(t)$$

Dónde:

- ITEUsv(t) = factor de utilización medio de todos los servidores de un centro de datos en el momento t¹⁴
- N = Número de servidores de un centro de datos en uso en el momento t
- CUS_i(t) = Factor de utilización de la CPU para el servidor i en el momento t (en %)
- T es un año.

14 Los centros de datos deben monitorizar sus ITEUsv(t) durante todo el año, recopilando todos los datos relevantes a intervalos que oscilen entre un minuto y una hora, y luego calcular la media anual para determinar los ITEUsv. Durante el periodo de medición, debe documentarse el valor más alto registrado de ITEUsv(t) y la hora correspondiente. Este valor máximo, conocido como ITEUsv(t), es importante para establecer los valores objetivo de ITEUsv (SDIA 2025).

En casos de baja utilización del centro de datos, se puede conseguir un valor ITEUsv más alto principalmente reduciendo el número de servidores activos (N). Esto puede hacerse consolidando las cargas de trabajo en determinados servidores y apagando otros o poniéndolos en modo de suspensión para ahorrar energía (Blue Angel 2023).

El Ángel Azul (DE-UZ 228) (2023) y la Eco-etiqueta Austriaca (UZ 80) (2023) exigen que los servidores utilizados en el centro de datos tengan un ITEUsv de al menos 20% durante un periodo de doce meses. Los centros de datos que lleven en funcionamiento menos de 15 meses están exentos de estos requisitos y se les permite medir el ITEUsv desde la fecha de puesta en marcha. Los servidores que no estén cubiertos por la norma ISO/IEC 30134-5 también están exentos. En el caso de estos servidores, por ejemplo, los especializados en IA, la parte predominante de la carga eléctrica no la generan las CPU, sino las unidades de procesamiento gráfico (GPU). Hoy en día, la industria no ha conseguido estandarizar las medidas de utilización y consumo energético de las GPU.

Para simplificar la recopilación de datos en el caso de sistemas informáticos heterogéneos, el Ángel Azul sugiere calcular el valor medio de ITEUsv a partir de

las mediciones del 90% de todos los servidores físicos. Para ello, debe documentarse debidamente el número de servidores medidos y su proporción respecto al total de servidores.

Aunque este KPI se utiliza ampliamente en la industria, Gröger y Behrens (2023) argumentan que ITEUsv inicialmente sólo proporciona información sobre la utilización media de los servidores de un centro de datos, y no es como tal un indicador de eficiencia. Sin embargo, los investigadores del Oeko-Institute ofrecen un enfoque para seguir desarrollando el ITEUsv hasta convertirlo en un indicador de eficiencia. En la propuesta del Oeko-Institute, el $ITEU_{sv}$ se divide por la proporción de energía que utilizaron los servidores en comparación con su consumo energético máximo posible.

6.6 Otros criterios

También hay que tener en cuenta el impacto ambiental de los refrigerantes, las emisiones de carbono y los RAEE, cuyos criterios se describirán en los próximos subcapítulos. Otros criterios pueden referirse al rango de temperatura y humedad de funcionamiento del centro de datos, la restricción de sustancias peligrosas, el monitoreo ambiental y la eficiencia de los materiales (por ejemplo, reparación y actualización de componentes).

6.6.1 Refrigerantes

Los refrigerantes utilizados en los centros de datos son importantes porque influyen directamente en el rendimiento medioambiental, la eficiencia de la refrigeración, el cumplimiento de la normativa y los costos operativos. Muchos refrigerantes sintéticos, como los hidrofluorocarbonos (HFC), tienen un alto GWP, lo que contribuye al cambio climático cuando se filtran a la atmósfera. Seleccionar refrigerantes con menor GWP ayuda a reducir la huella medioambiental directa de un centro de datos. El Ángel Azul (DE-UZ 228) (2023) solo permite uso de refrigerantes sin halógenos en sistemas de refrigeración, bombas de calor y deshumidificadores puestos en funcionamiento después de 2012, con la excepción de los sistemas con una potencia máxima de refrigeración inferior a 10 kW. Mientras tanto, la Ecoetiqueta Austriaca (UZ 80) (2023) adopta un enfoque de transición al permitir el uso de refrigerantes seleccionados hasta 2035¹⁵, para todos los centros de datos puestos en funcionamiento antes de 2024.

6.6.2 Emisiones de carbono

La Eficiencia del Uso del Carbono (CUE, *Carbon Usage Effectiveness*) es una mé-

trica importante para evaluar la intensidad de carbono de los centros de datos y, por tanto, su contribución al cambio climático. Indica cuánto dióxido de carbono (CO²) emite un centro de datos en relación con su carga informática, y se calcula según la norma EN 50600-4-8 de la siguiente manera:

$$CUE = \frac{\text{Cantidad total anual de emisiones del centro de datos (en kg CO}_2\text{eq)}}{\text{Consumo de energía anual de los equipos de TI (en kWh)}}$$

Al igual que el PUE, el CUE utiliza la energía total de los equipos informáticos como denominador, lo que facilita su cálculo y su relación con el PUE. Una vez determinado el valor de PUE, debería utilizarse el mismo valor para la métrica CUE, creando coherencia y simplificando su uso (Belady 2010). Sin embargo, a diferencia del PUE, el CUE tiene dimensiones físicas, mientras que el PUE es adimensional, siendo un cociente de energía dividido por energía. Otra diferencia clave son sus rangos de valores. El PUE tiene un valor ideal de 1.0, lo que significa que toda la energía consumida en el emplazamiento es utilizada por los equipos informáticos, sin límite teórico superior. En cambio, el valor ideal de CUE es

15 Los refrigerantes autorizados por la etiqueta ecológica austriaca (UZ 80) son R-448A, R-449A, R-450A, R-452B, R-513A, R-1233zd, R-1234ze, R-1234yf, R-454A, R-454B, R-455A y R-454C.

0.0, lo que significa que no hay emisiones de carbono asociadas al funcionamiento del centro de datos (Belady 2010).

6.6.3 Gestión al final de la vida útil

El funcionamiento de los centros de datos genera una cantidad masiva de RAEE (véase 3.5). Esto se ve agravado por las tasas de actualización relativamente cortas de los equipos informáticos. Para hacer frente a este problema, los criterios de compras públicas ecológicas de la UE para centros de datos, nubes de servidores y servicios en nube (2020) establecen especificaciones técnicas para la gestión de final de la vida útil de servidores, almacenamiento de datos y equipos de red.

Según estos criterios, los licitadores deben incluir en su oferta un servicio que cubra no sólo la reutilización y el recicla-

je de productos completos, sino también el tratamiento selectivo de componentes y el reciclaje de componentes para recuperar materias primas críticas (CRM). Además, el servicio debe incluir las siguientes actividades: colección, eliminación segura de datos, pruebas funcionales, mantenimiento, reparación y mejora de productos para su reutilización, recomercialización de productos y desmontaje para la reutilización, el reciclaje o la eliminación de componentes. Los licitadores deben informar de la proporción de equipos preparados o recomercializados para su reutilización, la proporción preparada para el reciclado, así como pruebas de las medidas adoptadas para mejorar el reciclado de CRM, con especial atención al cobalto de las baterías y al neodimio de los discos duros (European Commission 2020). ■



7 CONSIDERACIONES FINALES

Este estudio ha explorado varias dimensiones de la industria de los centros de datos, centrándose tanto en los impactos de la digitalización como en impactos medioambientales específicos resultantes del aumento de la demanda, la construcción y el uso de los centros de datos. El reporte señala que, si bien los centros de datos son esenciales para la infraestructura digital moderna, también están vinculados a retos significativos en términos de consumo de energía, uso de materias primas, consumo de agua, emisiones de gases de efecto invernadero y generación de residuos electrónicos.

La creciente huella del sector de los centros de datos ha aumentado la concienciación y la atención prestada a la sostenibilidad, impulsando la aparición de diversas iniciativas y soluciones técnicas que abordan su impacto medioambiental. Los instrumentos políticos y de mercado, como las políticas de eficiencia energética, los sistemas de ecoetiquetado y certificación, y la contratación pública sostenible, desempeñan un papel clave en el establecimiento de normas mínimas para el rendimiento de estas instalaciones, al tiempo que crean transparencia y compa-

rabilidad en el sector. Cuando se integran en las prácticas operativas, estas normas tienen el potencial de reducir significativamente la huella medioambiental de los centros de datos y hacer avanzar al sector hacia prácticas más sostenibles.

En América Latina, el mercado de los centros de datos está creciendo sustancialmente. Sin embargo, estas instalaciones suelen depender de sistemas de refrigeración que consumen mucha agua, lo que agrava el estrés hídrico en regiones que ya sufren escasez, sobre todo donde está surgiendo rápidamente un mercado de centros de datos. Además, su elevado consumo de electricidad sobrecarga las redes nacionales, lo que podría aumentar la dependencia de los combustibles fósiles e incrementar los costos de electricidad para las comunidades locales. Este consumo excesivo de recursos agrava las desigualdades sociales y contribuye a la degradación del medio ambiente. Como consecuencia, la región se enfrenta al reto de equilibrar el progreso tecnológico, la sostenibilidad medioambiental y la responsabilidad social para minimizar las consecuencias negativas de estos avances.

El panorama digital de América Latina puede beneficiarse de la adopción de criterios de sostenibilidad adaptados a los centros de datos eficientes en recursos, centrados en la gestión de la energía, el consumo de agua, la eficiencia de la refrigeración y la integración de energías renovables; y la importancia de los servicios digitales en la contratación pública ofrece una oportunidad única para aplicar tales medidas.

En este contexto, los gobiernos de toda la región tienen una responsabilidad única a la hora de exigir servicios digitales que se ajusten a las mejores prácticas disponibles y, de este modo, garantizar que el gasto público contribuya a guiar la industria en la dirección correcta. Al centrarse en centros de datos energéticamente eficientes, los gobiernos pueden ayudar a reducir las emisiones de carbono, promover el uso de energías renovables y mejorar la gestión de los recursos. No cabe duda de que el desarrollo de proyectos

de centros de datos en la región puede impulsar la innovación, crear empleos y mejorar la infraestructura tecnológica de la región, haciéndola más competitiva a escala mundial. Sin embargo, si se tienen en cuenta criterios de sostenibilidad ambiciosos desde las fases de diseño y funcionamiento, estos pueden dar lugar a centros de datos más “verdes” que estén mejor alineados con los objetivos climáticos internacionales.

En última instancia, lograr la sostenibilidad en el sector de los centros de datos requiere una colaboración continua entre las partes interesadas de la industria, los responsables políticos y el sector público. Aunque este estudio no evaluó los efectos sociales y económicos indirectos de la industria de los centros de datos, el enfoque continuo en el desarrollo sostenible de la industria de los centros de datos será clave para minimizar los impactos ambientales mientras se apoya la economía digital global en expansión. ■

8 REFERENCIAS

Acun, B.; Lee, B.; Kazhamiaka, F.; Maeng, K.; Chakkaravarthy, M.; Gupta, U.; Brooks, D.; Wu, C.-J. (2022): Carbon Explorer: A Holistic Approach for Designing Carbon Aware Datacenters. Online available at <http://arxiv.org/pdf/2201.10036>.

Alfieri, F. y Spiliotopoulos, C. (2023): ICT Task Force study: Final Report. Publications Office of the European Union. Luxembourg. Online available at <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133092>.

Ali, S. (2014): Social and Environmental Impact of the Rare Earth Industries. In: *Resources* 3 (1), pp. 123–134. DOI: [10.3390/resources3010123](https://doi.org/10.3390/resources3010123).

Alves, A. (2025): Delivering Energy Efficient and Climate Friendly Cooling through National Cooling (Action) Plans NCAPs. CCAC Webinar: Emissions from Cooling Systems in Data Centres. United Nations Development Programme. virtual, 13 Feb 2025. Online available at <https://www.cca-coalition.org/sites/default/files/resources/files/UNDP-Data%20Centers%20and%20China%20Case.pdf>, last accessed on 13 Feb 2025.

Andrae, A. S. G. y Edler, T. (2015): On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. In: *Challenges* 6 (1), pp. 117–157. DOI: [10.3390/challe6010117](https://doi.org/10.3390/challe6010117).

Arizton Advisory & Intelligence (2024a): Latin America Data Center Construction Market Size Analysis, Arizton Advisory & Intelligence. Online available at <https://www.arizton.com/market-reports/latin-america-data-center-construction-market-size-and-analysis-2024>, last accessed on 26 Feb 2025.

Arizton Advisory & Intelligence (2024b): Latin America Data Center Market Size & Growth Analysis Report, Arizton Advisory & Intelligence. Online available at <https://www.arizton.com/market-reports/latin-america-data-center-market-analysis>, last accessed on 3 Mar 2025.

Arizton Advisory & Intelligence (2025): Malaysia Data Center Market Growth, Size, Forecast Report 2030. Arizton Advisory & Intelligence (ed.). Online available at https://www.arizton.com/market-reports/malaysia-data-center-market-size-analysis?utm_source=chatgpt.com, last accessed on 10 Feb 2025.

Banco Mundial (2023a): Economía digital para América Latina y el Caribe - Diagnóstico de país: Colombia. Online available at <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/88948415-77f6-41fb-a8c0-5d8d415134b5>.

Banco Mundial (2023b): Economía digital para América Latina y el Caribe - Diagnóstico de país: Ecuador. Online available at <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099028101262416449/pdf/IDU1814d30001e2a814b741bbf711771cfdc3a0b.pdf>.

Belady, C. (ed.) (2010): Carbon Usage Effectiveness (CUE): A Green Grid Data Center Sustainability Metric. the green grid. Online available at <https://airatwork.com/wp-content/uploads/The-Green-Grid-White-Paper-32-CUE-Usage-Guidelines.pdf>.

Bertoldi, P. (2023): Assessment Framework for Data Centres in the Context of Activity 8.1 in the Taxonomy Climate Delegated Act. European Commission. Online available at https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc_assessment_framework_final_v2.pdf.

Bhattacharya, T. y Qin, X. (2020): Modeling Energy Efficiency of Future Green Data centers. In: 2020 11th International Green and Sustainable Computing Workshops (IGSC). 2020 11th International Green and Sustainable Computing Workshops (IGSC). Pullman, WA, USA, 10/19- 10/22: IEEE, pp. 1–3.

Blue Angel (2023): Data Centers DE-UZ 228, Basic Award Criteria. Edition January 2023 Version 2. RAL gGmbH (ed.). Online available at <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/en/DE-UZ%20228-202301-en-criteria-V2.pdf>, last accessed on 13 Feb 2025.

Brocklenhurst, F. (2024): Policy development on energy efficiency of data centres (EDNA Studies). Ballarat Consulting. International Energy Agency (ed.). Online available at <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2024/02/Policy-development-on-energy-efficiency-of-data-centres-draft-final-report-v1.05.pdf>, last accessed on 13 Feb 2025.

Bundesministerium der Justiz (2023): Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland¹ (Energieeffizienzgesetz - EnEFG). Online available at <https://www.gesetze-im-internet.de/eneffg/BJNR1350B0023.html#BJNR1350B0023BJNG000400000>, last accessed on 8 Oct 2024.

Butts, D. (17 Jun 2024): Malaysia is emerging as a data center powerhouse amid booming demand from AI. In: CNBC, 17 Jun 2024. Online available at <https://www.cnbc.com/2024/06/17/malaysia-emerges-as-asian-data-center-powerhouse-amid-booming-demand.html>, last accessed on 14 Feb 2025.

CBRE (2024): Global Data Center Trends 2024, CBRE. Online available at <https://www.cbre.com/insights/reports/global-data-center-trends-2024>, last updated on 3 Mar 2025, last accessed on 3 Mar 2025.

Cloudscene (2024): Data centers worldwide by country 2024. in Statista, Cloudscene. Online available at <https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/>, last updated on 21 Mar 2025, last accessed on 21 Mar 2025.

CNCB-NGDC Members and Partners (2022): Database Resources of the National Genomics Data Center, China National Center for Bioinformation in 2022. In: *Nucleic acids research* 50 (D1), D27-D38. DOI: [10.1093/nar/gkab951](https://doi.org/10.1093/nar/gkab951).

Cushman & Wakefield (ed.) (2024): Global Data Center Market Comparison. Online available at <https://www.cushmanwakefield.com/en/insights/global-data-center-market-comparison>, last accessed on 11 Feb 2025.

Daigle, B. (2021): Data Centers Around the World: A Quick Look. USITC United States International Trade Commissions (ed.). Online available at https://www.usitc.gov/publications/332/executive_briefings/ebot_data_centers_around_the_world.pdf, last accessed on 8 Oct 2024.

Data Center Map (2025): Data Centers - Database, Data Center Map. Online available at <https://www.datacentermap.com/datacenters/>, last updated on 21 Mar 2025, last accessed on 21 Mar 2025.

Davis, J. (2024): Large data centers are mostly more efficient, analysis confirms. uptime institute (ed.). Online available at <https://journal.uptimeinstitute.com/large-data-centers-are-mostly-more-efficient-analysis-confirms/>, last accessed on 8 Oct 2024.

DC Byte (2024a): Data Centers in Mexico, DC Byte. Online available at <https://www.dcbyte.com/market-spotlights/data-centers-in-mexico-queretaro/>, last updated on 12 Mar 2025, last accessed on 21 Mar 2025.

DC Byte (ed.) (2024b): 2024 Global Data Centre Index. Online available at <https://www.dcbyte.com/global-data-centre-index/2024-global-data-centre-index/>, last accessed on 11 Feb 2025.

DCD - Data Center Dynamics (2023a): Los 29 principales proyectos de data centers lanzados en 2023 en Latinoamérica, Data Center Dynamics. Online available at <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/los-29-principales-proyectos-de-data-centers-lanzados-en-2023-en-latinoamerica/>, last updated on 26 Feb 2025, last accessed on 26 Feb 2025.

DCD - Data Center Dynamics (2023b): Snapshot Report Mexico Data Center Market 2023- 2027. Data Center Dynamics, 2023.

DCD - Data Center Dynamics (2024): El mercado de Data Centers en Brasil experimenta un crecimiento del 628%, Data Center Dynamics. Online available at <https://www.datacenterdynamics.com/es/noticias/el-mercado-de-data-centers-en-brasil-experimenta-un-crecimiento-del-628/>, last updated on 26 Feb 2025, last accessed on 26 Feb 2025.

de Graaf, D. (2025): Germany's experience with Data Centre (cooling) emissions and respective reduction measures. CCAC Webinar: Emissions from Cooling Systems in Data Centres. German

Environment Agency (Umweltbundesamt. virtual, 13 Feb 2025. Online available at https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/files/Germany_Experience%20in%20Data%20centre%20emissions.pdf, last accessed on 13 Feb 2025.

Directorate-General for Energy (2024): Commission adopts EU-wide scheme for rating sustainability of data centres. European Commission (ed.). Online available at https://energy.ec.europa.eu/news/commission-adopts-eu-wide-scheme-rating-sustainability-data-centres-2024-03-15_en, last accessed on 17 Feb 2025.

Dutch Data Center Association (20 Aug 2019): Why do we need data centers? - Dutch Data Center Association. In: *Dutch Data Center Association*, 20 Aug 2019. Online available at https://www.dutchdatacenters.nl/en/data-centers/why-do-we-need-data-centers/?utm_source=chatgpt.com, last accessed on 10 Feb 2025.

EN 50600-1 (2019-08): DIN EN 50600-1: Informationstechnik – Datenverarbeitungs- und Rechenzentren, Beuth Verlag. Online available at <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-50600-1/306267564>, last accessed on 10 Feb 2025.

EN 50600-4-2 (2019-8): DIN EN 50600-4-2: Information technology - Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-50600-4-2/308600134>, last accessed on 10 Mar 2025.

EN 50600-4-3 (2019-08): DIN EN 50600-4-3: Information technology - Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-50600-4-3/308289665>, last accessed on 10 Mar 2025.

EN 50600-4-6 (2020-11): DIN EN 50600-4-6: Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren, Beuth Verlag. Online available at <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-50600-4-6/327766295>, last accessed on 10 Feb 2025.

EN 50600-4-7 (2020-04): SN EN 50600-4-7: Information technology - Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at <https://www.dinmedia.de/de/norm/sn-en-50600-4-7/327879134>, last accessed on 10 Mar 2025.

EN 50600-4-8 (2023-08): DIN EN 50600-4-8: Information technology - Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at <https://www.dinmedia.de/en/standard/din-en-50600-4-8/366408103>, last accessed on 10 Mar 2025.

EN 50600-4-9 (31 Jan 2023): BS EN 50600-4-9: Information technology. Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at <https://www.dinmedia.de/de/>

<norm/bs-en-50600-4-9/364942071>, last accessed on 10 Mar 2025.

Energy Star (2025): ENERGY STAR Certified Data Centers, Energy Star. Online available at <https://www.energystar.gov/buildings/certified-data-centers>, last updated on 6 Mar 2025, last accessed on 6 Mar 2025.

European Commission (2020): EU green public procurement criteria for data centres, server rooms and cloud services, Commission Staff Working Document, European Commission. Online available at <https://circabc.europa.eu/ui/group/44278090-3fae-4515-bcc2-44fd57c1d0d1/library/24bf5149-d99b-4bc9-a7fc-132b711c46ce/details>.

European Commission (2025): Servers and Data Storage Products, Ecodesign requirements apply to these products, European Commission. Online available at https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/product-list/servers-and-data-storage-products_en, last updated on 20 Mar 2025, last accessed on 20 Mar 2025.

European Commission: COMMISSION REGULATION (EU) 2019/424 of 15 March 2019 laying down ecodesign requirements for servers and data storage products pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and amending Commission Regulation (EU) No 617/2013, EU 2019/424. In: Official Journal of the European Union. Online available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0424>.

European Parliament (2022): Social and environmental impacts of mining activities in the EU. Online available at [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729156/IPOL_STU\(2022\)729156_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729156/IPOL_STU(2022)729156_EN.pdf).

Fatima, E. y Ehsan, S. (2023): Data Centers Sustainability: Approaches to Green Data Centers. In: 2023 International Conference on Communication Technologies (ComTech). 2023 International Conference on Communication Technologies (ComTech). Rawalpindi, Pakistan, 3/15- 3/16: IEEE, pp. 105–110.

Fulvio, A. y Talens Peiró, L. (2015): Environmental footprint and material efficiency support for product policy, Analysis of material efficiency requirements of enterprise servers. Publications Office of the European Union. Luxembourg.

Gonzalez Monserrate, S. (2022): The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage (Winter 2022). MIT Schwarzman College of Computing (ed.). Online available at <https://mit-serc.pubpub.org/pub/the-cloud-is-material/release/1>, last accessed on 8 Oct 2024.

Google (2024): 2024 Environmental Reprot. Online available at <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>.

gov.ie (ed.) (2021): Sustainability and climate action at the heart of key NDP-funded OPW projects. Office of Public Works. Online available at <https://www.gov.ie/en/press-release/68cc8-sustainability-and-climate-action-at-the-heart-of-key-ndp-funded-opw-projects/>, last accessed on 8 Oct 2024.

Gröger, J. y Behrens, F. (2023): Development of an energy efficiency label for data centres, Contribution to the discussion for more transparency in the digital economy (Version 1.2). Oeko-Institut e.V. (ed.). Berlin. Online available at https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Oeko-Institut_ener-gy-efficiency-label-for-data-centres.pdf, last accessed on 8 Oct 2024.

Güğü, G. N.; Gökçül, F.; Eicker, U. (2023): Sustainability analysis of zero energy consumption data centers with free cooling, waste heat reuse and renewable energy systems: A feasibility study. In: *Energy* 262, p. 125495. DOI: [10.1016/j.energy.2022.125495](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125495).

Guozhu Li; Zixuan Sun; Qingqin Wang; Shuai Wang; Kailiang Huang; Naini Zhao; Yanqiang Di; Xudong Zhao; Zishang Zhu (2023): China's green data center development: Policies and carbon reduction technology path. In: *Environmental Research* 231, p. 116248. DOI: [10.1016/j.envres.2023.116248](https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116248).

Gydesen, A. y Hermann, M. (2024): Ecodesign requirements for circularity of servers and data storage products: Nordic Council of Ministers.

Hexatronic Data Center (ed.) (2024): Sustainable Data Center Infrastructure: Reducing the Carbon Footprint of Hardware. Online available at <https://hexatronicdatacenter.com/en/knowledge/sustainable-data-center-infrastructure-reducing-the-carbon-footprint-of-hardware>, last accessed on 21 Feb 2025.

Huu Thanh, N. (2020): Data Center in Space domain application: basic design concepts of infrastructure, supervised by Xuan-Truong, Nguyen, University of Science and Technology of Hanoi, 2020.

IEA - International Energy Agency (2020): Global data centre energy demand by region, 2010-2022, International Energy Agency. Online available at <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-data-centre-energy-demand-by-region-2010-2022>, last updated on 3 Mar 2025, last accessed on 3 Mar 2025.

IEA - International Energy Agency (2024a): What the data centre and AI boom could mean for the energy sector. International Energy Agency (ed.). Online available at <https://www.iea.org/commentaries/what-the-data-centre-and-ai-boom-could-mean-for-the-energy-sector>, last updated on 3 Feb 2025, last accessed on 3 Feb 2025.

IEA - International Energy Agency (2024b): World Energy Outlook 2024. Paris. Online available at <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>, last accessed on 21 Feb 2025.

IEA - International Energy Agency (ed.) (2024c): Electricity 2024, Analysis and forecast to 2026. Online available at <https://iea.blob.core.windows.net/assets/18f3ed24-4b26-4c83-a3d2-8a1be51c8cc8/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>, last accessed on 8 Oct 2024.

IMDA - Infocomm Media Development Authority (2024): Driving a Green Digital Future, Singapore's Green Data Centre Roadmap. Online available at <https://www.imda.gov.sg/-/media/imda/files/how-we-can-help/green-dc-roadmap/green-dc-roadmap.pdf>.

Institute of the Americas (2024): Smart Cities: a Blueprint for Urban Transformation in Latin America. Online available at <https://iamericas.org/smart-cities-report-a-blueprint-for-urban-transformation-in-latin-america/>, last accessed on 3 Mar 2025.

ISO/IEC 30134-5 (2017-11): ISO/IEC 30134-5: Information technology — Data centres — Key performance indicators, International Organization for Standardization (ISO). Online available at <https://www.iso.org/standard/66934.html>, last accessed on 10 Mar 2025.

ITU (ed.) (2023): Internet use, Global offline population steadily declines to 2.6 billion people in 2023. Online available at <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/2023/10/10/ff23-internet-use/>, last accessed on 7 Oct 2024.

JRC - Joint Research Centre (2025): Energy Performance Contracting | E3P, European Energy Efficiency Platform. Joint Research Centre (ed.). Online available at <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/energy-performance-contracting>, last updated on 6 Mar 2025, last accessed on 6 Mar 2025.

Kamiya, G. and Bertoldi, P. (2024): Energy Consumption in Data Centres and Broadband Communication Networks in the EU. In: 1831-9424 (KJ-NA-31-841-EN-N (online)). DOI: [10.2760/706491](https://doi.org/10.2760/706491).

Kasian, O. (2023): Digital macro trends and technologies of the XXI century-II: OKTAN PRINT. Online available at https://www.researchgate.net/publication/373864665_Digital_macro_trends_and_technologies_of_the_XXI_century-II, last accessed on 7 Oct 2024.

Kushchov, O. (2023): GLOBAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF CLOUD SOLUTIONS AND TECHNOLOGIES. In: . Online available at https://www.researchgate.net/publication/377273883_GLOBAL_TRENDS_IN_THE_DEVELOPMENT_OF_CLOUD_SOLUTIONS_AND_TECHNOLOGIES, last accessed on 8 Oct 2024.

Lafitte, B. (2025): Data Center and Computer Servers for a Sustainable Digital Market Transformation, UNEP United for Efficiency (U4E). CCAC Webinar: Emissions from Cooling Systems in Data Centres. United Nations Development Programme. Hosted by: Climate & Clean Air Coalition (CCA). virtual, 13 Feb 2025. Online available at <https://united4efficiency.org/wp-content/>

[uploads/2025/02/U4E-for-AI-Summit_ENG_7Feb25-1.pdf](#), last accessed on 13 Feb 2025.

LBNL (2024): 2024 United States Data Center Energy Usage Report. In collaboration with Shehabi, A.; Smith, S. J.; Hubbard, A.; Newkirk, A.; Lei, N. et al. (LBNL-2001637). Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, California. Online available at <https://escholarship.org/uc/item/32d6m0d1>.

Lev, S.; Hodges, J.; Neal, J. (2024): How Global Data Center Regs May Influence U.S. Policies. HWG (ed.). Online available at <https://hwglaw.com/2024/12/02/how-global-data-center-regs-may-influence-u-s-policies/>, last accessed on 17 Feb 2025.

Lin, P.; Bunger, R.; Avelar, V. (2023): Quantifying Data Center Scope 3 GHG Emissions to Prioritize Reduction Efforts, Energy Management Research Center. Schneider Electric Energy Management Research Center (ed.). Online available at https://media.datacenterdynamics.com/media/documents/SE-Quantifying_Data_Center_Scope_3_GHG_Emissions_to_Prioritize_Reduction_Efforts.pdf, last accessed on 25 Feb 2025.

Mancini, L. y Sala, S. (2018): Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. In: *Resources Policy* 57, pp. 98–111. DOI: [10.1016/j.resourpol.2018.02.002](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.002).

Market and Research (2025): Latin America Colocation Existing & Upcoming Data Center Portfolio Report 2025. Online available at https://www.researchandmarkets.com/reports/5983100/latin-america-existing-and-upcoming-data-center?utm_source=BW&utm_medium=PressRelease&utm_code=sphv96&utm_campaign=2009906+-+Latin+America+Colocation+Existing+%26+Upcoming+Data+Center+Portfolio+Report+2024-2028%3a+White-floor+Space%2c+IT+Load+Capacity%2c+Retail+Colocation+Pricing%2c+and+Wholesale+Colocation+Pricing&utm_exec=chdomspi, last accessed on 21 Mar 2025.

Md Abu Bakar Siddik; Arman Shehabi; Landon Marston (2021): The environmental footprint of data centers in the United States. In: *Environ. Res. Lett.* 16 (6), p. 64017. DOI: [10.1088/1748-9326/abfba1](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfba1).

MIDA - Malaysian Investment Development Authority (2023): Malaysia launches green lane pathway to propel digital, manufacturing powerhouse ambitions. Malaysian Investment Development Authority (ed.). Online available at <https://www.mida.gov.my/mida-news/malaysia-launches-green-lane-pathway-to-propel-digital-manufacturing-powerhouse-ambitions/>, last updated on 30 Aug 2023, last accessed on 11 Feb 2025.

Mytton, D. (2021): Data centre water consumption. In: *npj Clean Water* 4 (1), pp. 1–6. DOI: [10.1038/s41545-021-00101-w](https://doi.org/10.1038/s41545-021-00101-w).

Nalule, V. R. (2020): Social and Environmental Impacts of Mining. In: *Mining and the Law in*

Africa: Palgrave Pivot, Cham, pp. 51–81. Online available at https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-33008-8_3.

Novak, N. (2023): Defining Scope 1, 2 and 3 Emissions. compass datacenters (ed.). Online available at <https://www.compassdatacenters.com/scope-1-2-3-emissions/>, last accessed on 20 Feb 2025.

NSW Government (2025): The Net Zero Government Operations Policy | NSW Climate and Energy Action, NSW Government. Online available at <https://www.energy.nsw.gov.au/nsw-plans-and-progress/regulation-and-policy/sustainability-government/net-zero-government>, last updated on 18 Mar 2025, last accessed on 18 Mar 2025.

OCDE - Organización de Cooperación y Desarrollo Económico; CAF - Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (2024): Revisión del Gobierno Digital en América Latina y el Caribe. Paris.

Österreichisches Umweltzeichen (2023): Rechenzentren UZ 80, Version 2.2 vom 1. Juli 2023, Österreichisches Umweltzeichen. Online available at https://www.umweltzeichen.at/file/Richtlinie/UZ%2080/Long/Uz80_R2a_Rechenzentren_2023.pdf, last updated on 6 Mar 2025, last accessed on 6 Mar 2025.

Prakash, S.; Schleicher, T.; Michalscheck, M. (2021): Barrier Analysis and Strategies for Ecolabels and Sustainable Public Procurement Implementation, Oeko-Institut. Online available at https://www.oeko.de/publikation/barrier-analysis-and-strategies-for-ecolabels-and-sustainable-public-procurement-implementation/?tx_form_formframework%5Baction%5D=perform&cHash=b21ac99949c3208f0c27fc8133802880, last updated on 4 Mar 2025, last accessed on 4 Mar 2025.

PrimeEnergyIT (2012): Case Studies: Public Procurement of Energy Efficient Data Centres. Online available at https://sustainable-procurement.org/fileadmin/templates/sp_platform/lib/sp_platform_resources/tools/push_resource_file.php?uid=6296a08c.

ProColombia (2025): DATA CENTERS. Online available at <https://investincolombia.com.co/es/sectores/tecnologia-de-la-informacion-e-industrias-creativas/centros-de-datos#:~:text=En%20Colombia%20se%20han%20realizado%20recientemente>, last updated on 15 Mar 2025, last accessed on 15 Mar 2025.

Qiu, W. (2024): Chilean Government Partners with Google to Build Humboldt Subsea Cable, Submarine Cable Networks. Online available at <https://www.submarinenetworks.com/en/systems/trans-pacific/humboldt-cable/chilean-government-partners-with-google-to-build-humboldt-sub-sea-cable>, last updated on 4 Mar 2025, last accessed on 4 Mar 2025.

Reddy, V. D.; Setz, B.; Rao, G. S. V.; Gangadharan, G. R.; Aiello, M. (2017): Metrics for Sustainable Data Centers. In: *IEEE Trans. Sustain. Comput.* 2 (3), pp. 290–303. DOI: [10.1109/TSUSC.2017.2701883](https://doi.org/10.1109/TSUSC.2017.2701883).

Reuters Media (17 Sep 2024): Google takes Chile data center plans back to square one on environmental concerns. In: *Reuters Media*, 17 Sep 2024. Online available at <https://www.reuters.com/technology/google-takes-chile-data-center-plans-back-square-one-environmental-concerns-2024-09-17/>, last accessed on 25 Feb 2025.

Rozite, V.; Bertoli, E.; Reidenbach, B. (2023): Data Centres and Data Transmission Networks. International Energy Agency (ed.). Online available at <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>, last updated on 11 Jul 2023, last accessed on 8 Oct 2024.

Ruediger Kuehr; David Hirsch; Terry Collins (2024): Global e-Waste Monitor 2024: Electronic Waste Rising Five Times Faster than Documented E-waste Recycling. United Nations Institute for Training and Research (ed.). Geneva / Bonn. Online available at <https://unitar.org/about/news-stories/press/global-e-waste-monitor-2024-electronic-waste-rising-five-times-faster-documented-e-waste-recycling>, last accessed on 8 Oct 2024.

Schödwell, B.; Zarnekow, R.; Liu, R.; Gröger, J.; Wilkens, M. (2017): Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit. Umweltbundesamt. Online available at <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kennzahlen-indikatoren-fuer-die-beurteilung-der>, last accessed on 19 Feb 2025.

SDIA - Sustainable Digital Infrastructure Alliance (2025): Data Center Metrics - SDIA Knowledge Hub, Sustainable Digital Infrastructure Alliance. Online available at <https://knowledge.sdialliance.org/archive/data-center-metrics>, last updated on 7 Mar 2025, last accessed on 7 Mar 2025.

Shehabi, A.; Smith, S. J.; Hubbard, A.; Newkirk, A.; Lei, N.; Siddik, M.; Holecek, B.; Koomey, J.; Masanet, E.; Sartor, D. (2024): 2024 United States Data Center Energy Usage Report. Energy Analysis & Environmental Impacts Division. Lawrence Berkeley National Laboratory (ed.). Berkeley, California.

Srivathsan, B.; Sorel, M.; Sachdeva, P. (29 Oct 2024): AI power: Expanding data center capacity to meet growing demand. In: *McKinsey & Company*, 29 Oct 2024. Online available at <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/ai-power-expanding-data-center-capacity-to-meet-growing-demand>, last accessed on 21 Mar 2025.

Moore, T. (2023): Examining Data Center Energy Consumption and Power Sources. *enconnex* (ed.). Online available at <https://blog.enconnex.com/data-center-energy-consumption-and-power-sources>, last accessed on 8 Oct 2024.

The World Ranking (2025): Number of Data Centers by Country January 2025. Online available at https://www.theworldranking.com/statistics/768/number-of-data-centers-by-country/?utm_

<source=chatgpt.com>, last updated on 21 Mar 2025, last accessed on 21 Mar 2025.

UBA - Umweltbundesamt (2021): Bund beschließt Beschaffung klimafreundlicher Leistungen, Umweltbundesamt. Online available at https://www.umweltbundesamt.de/themen/bund-beschliesst-beschaffung-klimafreundlicher?utm_source=chatgpt.com, last updated on 18 Mar 2025, last accessed on 18 Mar 2025.

UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development (ed.) (2023): Curbing the digital economy's growing environmental footprint. Online available at <https://unctad.org/news/curbing-digital-economys-growing-environmental-footprint>, last accessed on 7 Oct 2024.

UNDP - United Nations Development Programme (ed.) (2023): Climate, SignatureSolution 4 - Environment. Online available at <https://digitalguides.undp.org/es/guide/climate#introduction>, last accessed on 7 Oct 2024.

UNEP - United Nations Development Programme (ed.) (2021): The growing footprint of digitalisation, FORESIGHT Brief. Online available at <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37439/FB027.pdf>.

US EPA - United States Environmental Protection Agency (2024): Technology Transitions GWP Reference Table | US EPA, United States Environmental Protection Agency. Online available at <https://www.epa.gov/climate-hfcs-reduction/technology-transitions-gwp-reference-table>, last updated on 27 Dec 2024, last accessed on 18 Mar 2025.

Veau, C.; Beringer, O.; Parvin, R.; Miranda, A.; Kochukarotu, J.; Bariletto, C. S. (2023): NAVIGATING E-WASTE FROM DATA CENTERS. Online available at <https://sustainability-ai.de/static/6d0446a876b6ccb79b58bbaeffcf8b62/project-report.pdf>.

Wahlroos, M.; Pärssinen, M.; Rinne, S.; Syri, S.; Manner, J. (2018): Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, pp. 1749–1764. DOI: 10.1016/j.rser.2017.10.058.

WeLOOP (2020): A Situational Analysis of a Circular Economy in the Data Centre Industry. Online available at https://www.weloop.org/wp-content/uploads/2021/09/2020_04_16_cedaci_situation_analysis_circular_economy_report_vf.pdf.

Weng, S.-J.; Gotcher, D.; Wu, H.-H.; Xu, Y.-Y.; Yang, C.-W.; Lai, L.-S. (2016): Cloud Image Data Center for Healthcare Network in Taiwan. In: *Journal of Medical Systems* 40 (4), p. 89. DOI: [10.1007/s10916-016-0430-8](https://doi.org/10.1007/s10916-016-0430-8).

Xiaolei Yuan; Xinjie Xu; Jinxiang Liu; Yiqun Pan; Risto Kosonen; Yang Gao (2020): Improvement in airflow and temperature distribution with an in-rack UFAD system at a high-density data center. In: *Building and Environment* 168, p. 106495. DOI: [10.1016/j.buildenv.2019.106495](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106495).

Yuan, X.; Liang, Y.; Hu, X.; Xu, Y.; Chen, Y.; Kosonen, R. (2023): Waste heat recoveries in data centers: A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 188, p. 113777. DOI: [10.1016/j.rser.2023.113777](https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113777).

Zhu, H.; Zhang, D.; Goh, H. H.; Wang, S.; Ahmad, T.; Mao, D.; Liu, T.; Zhao, H.; Wu, T. (2023): Future data center energy-conservation and emission-reduction technologies in the context of smart and low-carbon city construction. In: *Sustainable Cities and Society* 89, p. 104322. DOI: [10.1016/j.scs.2022.104322](https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104322).



On behalf of:



of the Federal Republic of Germany