

Guía de métricas de sostenibilidad ambiental para centros de datos

Informe técnico nº 67

Versión 2.3

Centro de Investigación en Gestión de la Energía

Por Paul Lin
Robert Bungler
Victor Avelar

Resumen ejecutivo

Muchas empresas están informando sobre sostenibilidad como complemento a la información financiera para demostrar su compromiso con los programas Ambientales, Sociales y de Gobernanza (ESG). Para empresas del sector de centros de datos o que deseen informar sobre sus operaciones, proponemos 5 categorías para métricas de reporte de sostenibilidad ambiental: energía, emisiones de gases de efecto invernadero, agua, residuos y ecosistema local. La estandarización de estas métricas ayudará a la adopción, mejorar los benchmarking y avanzar en la sostenibilidad dentro del sector. Proponemos 28 métricas clave con definiciones y aplicaciones para los operadores de centros de datos que se encuentran en distintas etapas de su camino hacia la sostenibilidad, y también proporcionamos valores objetivos publicados basados en la industria para métricas clave.

Aviso de revisión

Este documento ha sido actualizado a junio de 2023 para reflejar información reciente; véase la sección final del **Apéndice** para una lista detallada de cambios.

Introducción

A medida que el mundo se automatiza y se vuelve más digital, la industria de los centros de datos está experimentando un rápido crecimiento para apoyar esta transformación. Pero el crecimiento debe hacerse de manera respetuosa con el medio ambiente. Los operadores de centros de datos están asumiendo compromisos en sostenibilidad ambiental como parte de sus programas de Medio Ambiente, Social y Gobernanza (ESG). Además de las responsabilidades sociales y medioambientales, existen otros factores que determinan la información sobre los avances en sostenibilidad. Estos factores tratados en el White Paper 64, [Cuatro factores clave para que los centros de datos de colocation prioricen la sostenibilidad medioambiental](#), incluyen los requisitos del cliente, las regulaciones pendientes, la aportación de valor empresarial y la atracción o calificación para inversiones ESG.

Los operadores de centros de datos deberían utilizar un conjunto estándar de métricas. Sin estándares, los operadores de centros de datos y quienes deseen evaluar el rendimiento de los centros de datos (por ejemplo, inversores, reguladores, empleados, etc.) se enfrentan a los siguientes desafíos:

- **Benchmarking** – Cuando las organizaciones utilizan métricas diferentes, es difícil comparar el rendimiento de los centros de datos. Sin benchmarking, es difícil establecer criterios comunes y establecer líderes con los que un operador de centro de datos pueda compararse o aspirar a alcanzar. En resumen, las métricas estandarizadas proporcionan un libro de referencia para la comparación y la comparación de empresas que aspiran a diferenciarse a través de la sostenibilidad.
- **Alineación** – La falta de métricas estándar puede dificultar la identificación de discrepancias organizativas entre divisiones/unidades operativas y funciones de gestión ejecutiva (CEO, CFO, COO y CSO - director de sostenibilidad). Se necesitan métricas ambientales estandarizadas para establecer objetivos y estrategias, saber dónde mejorar, qué priorizar y mostrar un progreso continuo, asegurando que todos los jugadores usen el mismo reglamento.

Elegir métricas estandarizadas para informar sobre la sostenibilidad es clave para resolver los desafíos mencionados. Por ejemplo, antes de que [The Green Grid](#) (TGG) propusiera la efectividad del uso energético (PUE) en

¹ Por ejemplo, directivas pendientes como la Directiva de Eficiencia Energética (EED) y la Directiva de Reporte de Sostenibilidad Corporativa (CSRD (ambas de la Comisión de la UE), y [la Norma de Divulgación Climática de la SEC](#) (Comisión de Bolsa y Valores de Bolsa - EE. UU.) requerirán la notificación obligatoria de informes para métricas ESG. CSRD [propuso comenzar](#) en enero de 2024.

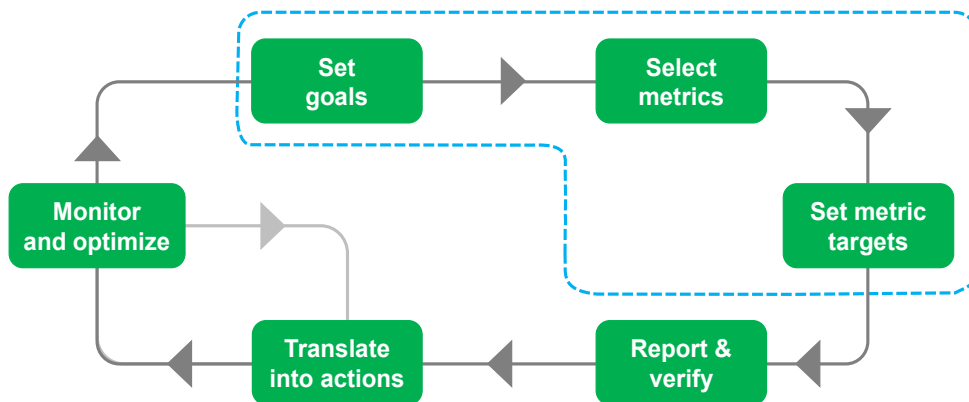
2007², no existía una métrica estandarizada para medir la eficiencia energética de un centro de datos en su conjunto, lo que llevó a desafíos de evaluación y alineación en la industria de los centros de datos. Aunque ninguna métrica es perfecta, si está estandarizada y tiene una definición y aplicación claras, será útil y servirá para avanzar en la industria.

La métrica PUE fue ampliamente adoptada y ayudó a impulsar mejoras en la eficiencia de los centros de datos en toda la industria. Una [encuesta global](#) realizada por Uptime Institute en 2022 mostró que el PUE medio anual de los grandes centros de datos mejoró de 2,5 a 1,55 desde 2007. Además, se ha informado que los PUEs de algunos gigantes de internet como Google, Facebook, Baidu y otros han sido tan bajos como 1,1. Este ejemplo de PUE demuestra la importancia de métricas estandarizadas y bien entendidas para alcanzar los objetivos de sostenibilidad declarados por una organización. Como se muestra en la **Figura 1**, los operadores de centros de datos primero establecen sus objetivos generales de la empresa y luego seleccionan las métricas, establecen metas métricas y miden su progreso hacia los objetivos año tras año. Recomendamos que los operadores de centros de datos consulten marcos y estándares para cada uno de estos pasos.

Nos centramos en los pasos dentro del límite azul de líneas punteadas. Proponemos cinco categorías de métricas para establecer objetivos e identificamos una lista de métricas estandarizadas con definiciones y aplicaciones en estas cinco categorías, además de proporcionar valores objetivo de referencia publicados por la industria para las métricas clave.

Figura 1

Pasos para optimizar la sostenibilidad de un centro de datos



Cabe señalar que la sostenibilidad corporativa se compone de tres dimensiones: Ambiental, Social y de Gobernanza (ESG). Este artículo se

² La Red Verde pasó la propiedad, desarrollo, estandarización y difusión de PUE a ISO/IEC JTC1 SC39 WG1 [hace nueve](#) años.

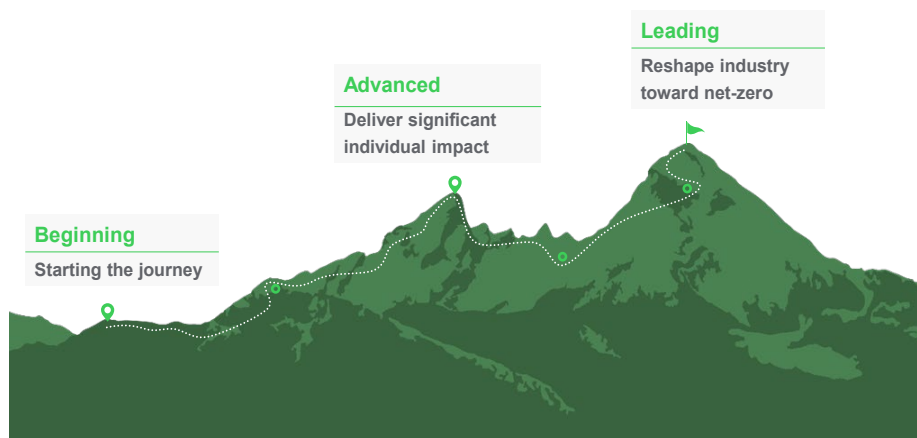
centra exclusivamente en la sostenibilidad ambiental y es una actualización de la versión 1 publicada en diciembre de 2021, que se actualizará a medida que evolucionen los marcos y métricas.

Cinco categorías métricas utilizadas para establecer objetivos

La sostenibilidad medioambiental consiste en proteger los recursos naturales para las futuras generaciones. Ya sean principiantes o más avanzados, la mayoría de los operadores de centros de datos tienen iniciativas en torno a la sostenibilidad. El Consejo Mundial de Empresas para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) identificó tres etapas en el camino hacia la neutralidad de emisiones (como se muestra en la **Figura 2**). Aunque estas tres etapas se utilizan como parte de la guía de la WBCSD para emisiones netas cero de carbono, hemos adoptado este concepto para que los operadores de centros de datos se autoidentifiquen en su propio camino (es decir, etapa). A continuación, recomendamos métricas específicas que un operador de centro de datos pueda utilizar según esa etapa.

Figura 2

Tres etapas de la trayectoria hacia la sostenibilidad con emisiones netas de carbono cero



Fuente: [SOS 1.5 El camino hacia un futuro resiliente y de emisiones netas cero](#)

Hemos identificado 28 métricas clave de sostenibilidad que se aplican a un centro de datos en cinco categorías métricas. Estas categorías representan un enfoque holístico para abordar la sostenibilidad ambiental. Describimos cada una de estas categorías a continuación:

- **Energía** – El crecimiento futuro proyectado del consumo total de energía de centros de datos, combinado con el creciente suministro de energía renovable distribuida, requiere que los operadores de centros de datos comprendan mejor sus fuentes de energía. Medir la energía de todas las fuentes determinará la intensidad de carbono de la mezcla energética de un centro de datos y ayudará a que los operadores sean más sostenibles. Informar sobre el consumo

energético, la eficiencia energética y el uso de energías renovables es importante para que los operadores de centros de datos muestren su progreso en los esfuerzos por minimizar su huella de carbono.

- **Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)** – el CO₂ y otros gases como el CH₄, PFCs, HFCs se clasifican como gases de efecto invernadero³. Estas emisiones de GEI, también conocidas como "emisiones de carbono", son un factor importante en el cambio climático y uno de los problemas más urgentes a los que se enfrenta la sociedad actualmente. Según [el Protocolo de GEI](#) y [la ISO 14064](#), existen tres categorías de emisiones de GEI: Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3, que se tratan con más detalle en el **Apéndice**. Informar sobre las emisiones de GEI es importante para que los operadores de centros de datos demuestren sus esfuerzos en el control del cambio climático.
- **Agua** – La escasez de agua se está convirtiendo en un problema serio en muchas regiones. Es importante entender el uso del agua dentro de un centro de datos y en las centrales eléctricas. La disminución del consumo de agua es un área de enfoque para muchos operadores de centros de datos y jurisdicciones locales. Existen diferentes tipos de tecnologías (por ejemplo, enfriadores secos con evaporación adiabática, refrigeración líquida) que se están implementando para reducir el consumo directo de agua. Como resultado, los centros de datos están usando menos agua de media que antes. Los operadores también están invirtiendo en programas de reposición de agua para ahorrar agua de forma indirecta. Informar sobre el uso y ahorro de agua está ganando importancia como parte de los objetivos generales de sostenibilidad.
- **Residuos** – Los centros de datos se enfrentan a un perfil de residuos único en comparación con otras operaciones industriales. Para cumplir los objetivos o metas de circularidad, los operadores de centros de datos deben comprender su perfil de residuos (especialmente residuos electrónicos y baterías) con métricas adaptadas para centros de datos. Minimizar los residuos de la cadena de suministro y desviarlos de los vertederos mediante la reutilización y el reciclaje es una estrategia clave para la sostenibilidad medioambiental. Las metodologías y procesos de diseño de economía circular apoyan mejoras en este ámbito. Consulte **el Apéndice** para más información sobre economía circular. La generación y desvío de residuos está cobrando importancia para los operadores de centros de datos y probablemente se vuelva algo habitual en un futuro próximo.

³ CO₂ - dióxido de carbono, CH₄ - metano, PFCs - perfluorocarbonos, HFC – hidrofluorocarbonos

- **Ecosistema local** – Los centros de datos tienen un impacto directo e indirecto en el ecosistema local (es decir, la biodiversidad), incluyendo la tierra, el nivel sonoro, las especies, etc. Por ejemplo, los centros de datos tienen un impacto directo en el terreno sobre el que se construyen y un impacto indirecto en el suelo de su cadena de suministro. Medir los impactos en la tierra es común en industrias como la minería, pero son nuevas en la industria de centros de datos. El equipo HVAC (por ejemplo, torres de refrigeración, enfriadores secos, conductos) y los conjuntos generadores diésel en un centro de datos pueden generar altos niveles de ruido, lo que llama la atención de las jurisdicciones locales. La construcción de centros de datos en campo verde también afecta a la cantidad y diversidad de especies que la rodean. Informar sobre el impacto en el ecosistema local también está ganando importancia para los operadores de centros de datos y probablemente se convierta en algo habitual en un futuro próximo.

Avanzar en los objetivos de sostenibilidad ambiental como sector implica adoptar métricas estandarizadas para la medición y hacer que estas métricas sean bien comprendidas en todo el mercado y en la industria de centros de datos, y reportarlas públicamente⁴ regularmente (por ejemplo, semestralmente, anualmente).

Métricas recomendadas para informes de sostenibilidad

Esta sección detalla las métricas específicas dentro de cada categoría y cómo se relacionan con las etapas de madurez. Seleccionamos y recomendamos estas métricas basándonos en los siguientes siete criterios:

- Relevantes e importantes para los centros de datos
- Refleja el impacto en el medio ambiente, directa o indirectamente,
- Estandarizado y cuantificable para benchmarking y alineación
- Accionable (que se puede traducir fácilmente en acciones para mejorar la situación)
- Se aplica a todas las geografías (es decir, regiones, países, etc.)
- Cumple con las normativas, ya sea voluntarias u obligatorias
- Apto para financiación verde

⁴ Según la Global Reporting Initiative (GRI), "el término 'informes de sostenibilidad' se refiere al proceso de informe, que comienza con una organización que determina sus temas materiales en función de sus impactos más significativos y da lugar a que la organización informe públicamente sobre estos impactos." Para orientación sobre los principales de la declaración (por ejemplo, comparabilidad, verificabilidad), véase [GRI 1: Fundación 2021](#).

Como resultado de seguir estos criterios, identificamos 28 métricas clave para que los operadores de centros de datos informen sobre sostenibilidad ambiental de forma holística (como se muestra en **la Tabla 1**). Los operadores de centros de datos deberían utilizar estas métricas para establecer objetivos y mostrar progreso (por ejemplo, año tras año).

Estas métricas deben recopilarse, medirse o calcularse en función de múltiples puntos de datos durante un periodo de informe (*rolling de doce meses*). Las siguientes subsecciones proporcionan definiciones y aplicaciones para cada métrica listada en la tabla como Inicio, Avanzado y Líder. El **Apéndice** contiene explicaciones sobre las métricas adicionales identificadas para la etapa Líder.

Recomendaciones sobre las prioridades de las métricas de reporte

Además de las métricas clave, **la Tabla 1** también detalla su uso recomendado según las tres etapas del viaje. Sin embargo, independientemente de la etapa en la que se encuentre, todos los operadores de centros de datos deberían, como mínimo, informar sobre 6 métricas fundamentales (columna inicial). Para los operadores de centros de datos en las etapas Avanzada y Avanzada, la tabla muestra que el conjunto de métricas se vuelve más completo, lo que permitirá un mejor seguimiento y mejora para programas más avanzados.

Tabla 1

28 métricas clave para la notificación de sostenibilidad ambiental

Categorías métricas	Métricas clave	Unidades	Recomendaciones		
			Inicial (6)	Avanzado (18)	Lider (28)
Energía (6)	• Consumo total de energía	kWh	✓	✓	✓
	• Efectividad en el uso de energía (PUE)	Ratio	✓	✓	✓
	• Consumo total de energía renovable	kWh	✓	✓	✓
	• Factor de energía renovable (REF)	Ratio			✓
	• Factor de Reutilización de Energía (ERF)	Ratio			✓
	• Utilización del servidor (ITEUsv)	%		✓	✓

Categorías métricas	Métricas clave	Unidades	Recomendaciones			
			Inicial (6)	Avanzado (18)	Lider (28)	
Emisiones de GEI (7)	<ul style="list-style-type: none"> Alcance 1 <ul style="list-style-type: none"> Emisiones de GEI 	mtCO2e	✓	✓	✓	
	<ul style="list-style-type: none"> Alcance 2 <ul style="list-style-type: none"> Emisiones de GEI basadas en la ubicación Emisiones de GEI basadas en el mercado 	mtCO2e mtCO2e	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓	
	<ul style="list-style-type: none"> Alcance 3 <ul style="list-style-type: none"> Emisiones de GEI 	mtCO2e			✓	
	<ul style="list-style-type: none"> Eficacia del uso del carbono (CUE) 	kg CO2e/kWh		✓	✓	
	<ul style="list-style-type: none"> Compensaciones totales de carbono 	mtCO2e		✓	✓	
	<ul style="list-style-type: none"> Ajuste de suministro y consumo renovable por hora 	%			✓	
	Agua (5)	<ul style="list-style-type: none"> Consumo total de agua del sitio 	M3	✓	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> Consumo total de agua de fuente de energía 		M3			✓	
<ul style="list-style-type: none"> Efectividad en el uso del agua (WUE) 		m3/MWh		✓	✓	
<ul style="list-style-type: none"> Reposición de agua 		M3			✓	
<ul style="list-style-type: none"> Uso total de agua en la cadena de suministro 		M3			✓	
Residuos (6)	<ul style="list-style-type: none"> Residuos generados <ul style="list-style-type: none"> Desperdicio total Residuos electrónicos Batería 	t t t		✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	
	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de desviación de residuos <ul style="list-style-type: none"> Desperdicio total Residuos electrónicos Batería 	Ratio Ratio Ratio		✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	
	Ecosistema local (4)	<ul style="list-style-type: none"> Suelo <ul style="list-style-type: none"> Uso total del suelo Intensidad del uso del suelo 	M2 kW/m2		✓ ✓	✓ ✓
		<ul style="list-style-type: none"> Ruido exterior 	dB(A)		✓	✓
		<ul style="list-style-type: none"> Abundancia media de especies (MSA) 	MSA/km2			✓

mtCO2e = tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente

Energía

Consumo total de energía (kWh)

Definición - La energía total consumida para operar un centro de datos. Normalmente es la energía eléctrica extraída de la red eléctrica, pero también incluye cualquier producción de energía in situ procedente de generadores, energía solar o eólica. También debe contarse la energía importada en forma de gas natural, vapor o agua fría.

Aplicación - Permite a los operadores de centros de datos tomar mejores decisiones sobre la selección del sitio, soluciones de refrigeración, etc., durante la fase de diseño para reducir el coste operativo y los impactos ambientales negativos. En muchos casos, una parte significativa de las emisiones de carbono de los centros de datos proviene del consumo energético. Comprender el consumo total de energía es necesario para seguir la mejora en la eficiencia y reducir la mezcla de carbono en el suministro tanto en la fase de diseño como en la de operación. Los operadores de centros de datos también deben equilibrar el consumo de energía y agua a medida que se impactan mutuamente. Consulte la sección de métricas de consumo total de energía de fuente para más detalles.

Efectividad en el uso de energía (PUE)

Definición - El consumo total de energía de un centro de datos dividido por el consumo energético de TI. PUE está definida por [ISO/IEC 30134-2](#)⁵ y fue creada de forma famosa por The Green Grid (TGG) en 2007. Para más información sobre la definición y cálculo de PUE, consulte TGG White Paper #49, [PUE™: A Comprehensive Examination of the Metric](#), y Schneider Electric White Paper 158, [Guía para el cálculo de eficiencia \(PUE\) en centros de datos](#).

Aplicación - PUE es una métrica eficaz para impulsar la eficiencia de las instalaciones durante la fase de diseño y operación. Normalizado a la carga de TI, PUE permite comparaciones entre diferentes centros de datos. El PUE variará según la carga porcentual, la resiliencia (es decir, el nivel) y el clima. Aunque PUE no es una métrica perfecta, su simplicidad ha permitido a los operadores de centros de datos minimizar el consumo energético de sus instalaciones.

Consumo total de energía renovable (kWh)

Definición - Energía renovable total que es propiedad, controlada o comprada para su uso en una instalación de centro de datos. Esta es la

⁵ Tecnología de la información - Centros de datos – Indicadores clave de rendimiento - Parte 2: Efectividad en el consumo de energía (PUE)

energía obtenida de fuentes renovables como la energía solar, eólica, geotérmica, bioenergética, hidroeléctrica, etc.⁶

Aplicación – Las organizaciones pueden reducir sus emisiones de carbono de Alcance 2 aumentando su cuota de energía renovable. Sustituir la energía basada en combustibles fósiles por energía renovable debería ser un componente clave de las estrategias neutras en carbono para el consumo energético. Esta métrica permite a los operadores de centros de datos seguir sus planes de reducción de Alcance 2 y es necesaria para informar sobre el uso de energía renovable. Existen dos enfoques para que los operadores de centros de datos obtengan energía renovable: la producción de energía renovable in situ (autogenerada) y la energía renovable comprada. Se puede comprar energía renovable mediante acuerdos de compra de energía a largo plazo (PPAs), tarifas verdes o adquiriendo certificados de atributos energéticos (EACs⁷) individualmente en el mercado abierto.

Factor de energía renovable (REF)

Definición – Energía renovable propiedad y controlada por una organización de centro de datos dividida por el consumo total de energía del centro de datos, según [ISO/IEC 30134-3](#)⁸. El REF contabiliza la energía adquirida mediante certificados de energía renovable (REC) y consumida por el centro de datos. Alcanzar un REF=1.0 indica que toda la energía de un centro de datos es renovable.

Aplicación – Esta métrica normalizada permite comparaciones entre diferentes centros de datos y permite a los operadores rastrear el consumo de energía renovable a medida que cambia la carga del centro de datos.

Factor de reutilización de energía (ERF)

Definición – La proporción entre la energía reutilizada y el consumo total de energía del centro de datos. Esta métrica está definida bajo la norma [ISO/IEC 30134-6](#). Los valores ERF oscilan entre 0 y 1,0, siendo 0 lo que significa que no se reutiliza energía térmica y 1,0 significa que toda la energía térmica de un centro de datos se reutiliza o exporta.

Aplicación – El propósito de esta métrica es presionar a los operadores de centros de datos y a los municipios para que encuentren formas de

⁶ Según [ISO/IEC 13273-2](#) Eficiencia energética y fuentes de energía renovable – Terminología internacional común – Parte 2: Fuentes de energía renovable, la fuente de energía renovable es "fuente de energía que no se agota por la extracción, ya que se repone naturalmente a un ritmo más rápido del que se extrae". Los criterios para categorizar una fuente de energía como renovable pueden variar entre jurisdicciones, en función de razones ambientales locales u otras razones.

⁷ Estos se denominan certificados de energía renovable (REC) en EE. UU., garantías de origen (GOs) en Europa y certificados de electricidad verde (GEC) en China.

⁸ Tecnología de la información - Centros de datos - Indicadores clave de rendimiento - Parte 3: Factor de energías renovables (REF)

reutilizar el calor residual. Un caso de uso para los centros de datos es alimentar el calor residual hacia los sistemas de calefacción distrital cercanos. [El centro de datos de Facebook en Odense, Dinamarca](#) , es un buen ejemplo.

Utilización del servidor (ITEU_{sr})

Definición - La utilización media anual de CPU de todos los servidores en un centro de datos, según [ISO/IEC 30134-5](#)⁹.

Aplicación - El uso de esta métrica permite a los operadores de centros de datos desarrollar una política para operar los servidores de forma eficaz con el fin de mejorar la eficiencia energética del servidor. Por ejemplo, reducir el número de servidores activos manteniendo la misma carga de trabajo o aumentar la carga de trabajo manteniendo el mismo número de servidores activos son dos enfoques para optimizar la efectividad del servidor. Esta métrica también permite a los operadores de centros de datos mejorar la eficiencia o efectividad energética del mismo.

Emisiones de GEI

Alcance 1 - Emisiones de GEI (mtCO_{2e})

Definición - Emisiones directas que ocurren de fuentes controladas o propiedad de la organización del centro de datos. Las fuentes incluyen la combustión de combustibles de los generadores de respaldo, la fuga de hexafluoruro de azufre (SF₆) de los equipos de media tensión, hidrofluorocarburos (HFC) liberados por sistemas de refrigeración, el transporte de materiales y los trabajadores que utilizan fuentes móviles de combustión propiedad o controladas por la organización, como camiones, coches, etc.

Aplicación - Durante la fase de diseño de la instalación, se deben considerar las emisiones de Alcance 1 y se deben implementar soluciones para reducir o eliminar esta fuente. Por ejemplo, reemplazar el generador de respaldo por otras formas de almacenamiento de energía es un tema que actualmente se está debatiendo. Para más información, véase el White Paper 14, [La realidad de reemplazar generadores diésel por gas natural, Energy Storage, Fuel Cells y otras opciones](#).

Ámbito 2 - Emisiones de GEI basadas en la ubicación y el mercado (mtCO_{2e})

Definición - Las emisiones de GEI basadas en la ubicación reflejan la intensidad media de emisiones de las redes en la ubicación del centro de datos, dentro de un área geográfica definida y un periodo de tiempo definido. La emisión de GEI basada en el mercado se refiere a acuerdos

⁹ Tecnología de la información - Centros de datos - Indicadores clave de rendimiento - Parte 5: Utilización de equipos informáticos para servidores (ITEU_{sv})

contractuales bajo los cuales el operador del centro de datos adquiere electricidad de fuentes específicas, como la energía renovable. La [Guía de Alcance 2 del Protocolo GHG](#) identifica estos dos métodos para la contabilidad de Alcance 2.

Aplicación - Estas dos métricas se utilizan para medir las emisiones indirectas de electricidad, vapor, calor y refrigeración comprados o adquiridos (*según* corresponda) que están controlados o poseen a una organización de centros de datos. La métrica basada en la ubicación puede utilizarse para describir la intensidad de GEI de las redes y evaluar riesgos u oportunidades alineados con los recursos y emisiones de la red local. La métrica basada en el mercado indica las acciones de adquisición de la organización y evalúa riesgos y oportunidades con la adquisición de electricidad por contrato. Esta doble métrica puede evaluar una variedad de opciones de mitigación para reducir las emisiones de carbono de Alcance 2 y proporciona transparencia para los interesados o inversores.

Alcance 3 – Emisiones de GEI (mtCO₂e)

Definición - Otras emisiones indirectas de GEI, por ejemplo, procedentes de la cadena de valor (carbono incorporado), viajes de negocios y gestión de residuos. Véase **el Apéndice** para la definición completa.

Aplicación - A medida que aumenta el uso de energías renovables, el Alcance 3 se convierte en el mayor contribuyente a las emisiones de carbono. Para más información, consulte el White Paper 53 de Schneider Electric, [Inventario Recomendado para la Notificación de Emisiones de GEI de Alcance 3 de Centro de Datos](#) y el White Paper 99, [Cuantificando las Emisiones de GEI de Alcance 3 de Centro de Datos para Priorizar los Esfuerzos de Reducción](#).

Efectividad del uso de carbono (CUE) (kg CO₂e/kWh)

Definición - La proporción entre las emisiones anuales de CO₂ de un centro de datos¹⁰ y la demanda energética de equipos de TI. Fue creado originalmente por The Green Grid y actualmente es una norma bajo [ISO/IEC 30134-8](#). La norma describe tres categorías de medición: Básica - CUE1, Intermedia - CUE2 y Avanzada - CUE3. Básico se centra solo en CO₂, mientras que Intermedio se centra en CO₂ equivalente. Advanced está reservado para uso futuro. Recomendamos Intermedio - CUE2 para centros de datos. El valor ideal de CUE es 0,0, lo que indica que no hay emisiones de carbono asociadas a las operaciones del centro de datos.

Aplicación - Esta métrica permite comparar la intensidad de emisiones de carbono entre centros de datos. Puede utilizarse en la selección de

¹⁰ Según el Anexo C - NOTA, la energía renovable certificada puede originarse fuera de las fronteras del país cuando los factores de emisión son aprobados por el gobierno local en [ISO/IEC 30134-8](#), se utiliza el Alcance 2 basado en el mercado para el cálculo de CUE.

emplazamiento (fase de diseño), así como en operaciones para medir la eficacia de los programas de mejora continua.

Compensaciones totales de carbono (mtCO2e)

Definición: Emisiones totales reducidas o evitadas mediante mecanismos financieros ajenos a la operación de un centro de datos. Las compensaciones de carbono también se conocen como reducciones verificadas de emisiones (VERs) o créditos de carbono. En esencia, un operador de centro de datos paga a otros para que no emitan carbono y lo utiliza para compensar las emisiones de las operaciones del centro de datos. Las compensaciones son reconocidas por gobiernos, organizaciones independientes de terceros y organizaciones no gubernamentales (ONG). Se consideran una forma rentable y creíble de lograr la neutralidad de carbono.

Aplicación - Esta métrica puede utilizarse para cuantificar las compensaciones de carbono compradas para abordar las emisiones de carbono de Alcance 1 y Alcance 3 que no se mitigan o evitan. Proporciona transparencia en los informes y visibilidad sobre los verdaderos esfuerzos de reducción de carbono frente a las compensaciones compradas. Por ejemplo, [Microsoft](#) se comprometió a ser neutra en carbono en 2012. "Para financiar su objetivo, la empresa cobra una tasa interna a los grupos empresariales basada en su emisión de carbono. Estas tarifas se utilizan luego para comprar compensaciones de carbono, entre otras soluciones, apoyando proyectos en todo el mundo como la preservación forestal, la reforestación, métodos de cocina eficientes energéticamente, desarrollo de energía eólica y más." Según el [Estándar Net-Zero de SBTi](#), las compensaciones no pueden considerarse reducciones de emisiones para cumplir los objetivos científicos de una organización. Pero puede considerarse una opción para neutralizar emisiones residuales o para financiar una mitigación climática adicional. Los objetivos científicos a largo plazo (SBT) deben cubrir al menos el 90% de las emisiones de alcance 3 mediante esfuerzos de reducción. En otras palabras, los desplazamientos comprados pueden compensar como máximo un 10% del Alcance 3. Otros beneficios incluyen incentivos económicos para reducir las emisiones de carbono o como herramienta política para ayudar a estabilizar los mercados de carbono. Para más información sobre compensaciones de carbono, véase el White Paper, [Moviendo a las organizaciones hacia la neutralidad de carbono: El papel de las compensaciones de carbono](#).

Suministro y consumo renovables por hora (%)

Definición - Esta métrica mide, en porcentaje, hasta qué punto la generación de energía renovable iguala el consumo energético en tiempo real dentro de una organización de centro de datos. Esto está ganando

terreno en la industria, por ejemplo, gigantes de internet como Microsoft y Google están pilotando este concepto.

Aplicación – Esto puede proporcionar un mayor nivel de transparencia sobre cómo la producción de energía renovable se ajusta al consumo en tiempo real. El objetivo es alcanzar una igualación del 100% entre la producción y el consumo renovable hora a hora.

Agua

Consumo total de agua del sitio (m3)

Definición – Consumo total de agua in situ para la operación de un centro de datos. Este consumo de agua es el valor neto que cubre las extracciones de agua, la evaporación y la descarga. Incluye el uso de agua potable, no potable y de agua recuperada. El agua recuperada puede utilizarse para torres de refrigeración de centros de datos para ahorrar agua potable.

Aplicación – Esta métrica se utiliza para informar del uso directo de agua por parte de un centro de datos, similar a las emisiones de GEI de Alcance 1. Predecir el uso de agua en la fase de diseño te ayudará a seleccionar una tecnología de refrigeración optimizada que reduzca el consumo de agua en el sitio. Por ejemplo, [los centros de datos de Vantage](#) adoptan enfriadores refrigerados por aire en lugar de refrigeradores convencionales refrigerados por agua para reducir el consumo de agua en el sitio. El agua recuperada puede utilizarse para torres de refrigeración de centros de datos para ahorrar agua potable fresca/potable. Por ejemplo, [Loudoun Water](#) construyó el primer sistema de distribución de tuberías para suministrar agua reciclada a la industria de centros de datos en 2010. Por último, el seguimiento del uso de agua durante las operaciones identificará problemas como fugas y creará una base para mejoras continuas.

Consumo total de agua de fuente (m3)

Definición – Agua total utilizada para producir la energía que consume un centro de datos. Esto suele provenir de la producción eléctrica de la compañía eléctrica.

Aplicación – Similar a las emisiones de GEI del Alcance 2, esta métrica puede usarse para ilustrar el agua indirecta que utiliza una organización de centro de datos. Los operadores de centros de datos pueden utilizar esta métrica como un enfoque (es decir, la selección de servicios públicos) para optimizar el uso de agua relacionado con el consumo energético. A veces, existe un equilibrio entre el consumo de agua energética, el consumo de agua en el sitio y el consumo energético. Por ejemplo, el uso de agua del sistema de refrigeración evaporativa de un centro de datos ahorrará consumo energético, lo que a su vez reduce el

consumo de agua en la central eléctrica. Comprender el uso del agua en el lugar y la fuente de energía ofrece una visión global para minimizar el consumo total de agua.

Eficiencia en el uso del agua (WUE) (m³/MWh)

Definición – La relación entre el consumo de agua de un centro de datos y la suma de energía consumida por equipos informáticos. Creado por The Green Grid, este indicador se ha convertido en un estándar bajo [ISO/IEC 30134-9](#)¹¹ con tres categorías para la medición de WUE: Básico – WUE1, Intermedio – WUE2 y Avanzado – WUE3. Básica no considera la reutilización del agua, mientras que la intermedia considera la reutilización no industrial en la producción de agua. Avanzado considera la reutilización industrial y no industrial en la producción de agua y el consumo de agua de la producción de energía en la entrada de agua. La reutilización del agua no industrial no es típica, o como mucho, insignificante para los centros de datos; por ello, recomendamos Basic – WUE1 para centros de datos. Para más información sobre WUE, consulte el White Paper #35 de TGG, [WUETM: Una métrica de sostenibilidad de centros de datos de red verde](#).

Aplicación – WUE permite comparaciones entre diferentes centros de datos y debe considerarse durante las fases de diseño. También se utiliza en la fase de operación para seguir la reducción continua del uso de agua.**Reposición de agua (m³)**

Definición – Reducción o ahorro total de agua mediante mecanismos financieros fuera de la operación de un centro de datos. Las inversiones en programas de compensación del agua también se conocen como equilibrio del agua. En esencia, un operador de centro de datos paga a otros para que devuelvan agua a los ecosistemas y utiliza esa información para compensar el consumo de agua de las operaciones del centro de datos.

Aplicación – Esta métrica puede usarse para cuantificar la reposición de agua al ecosistema y así equilibrar el uso de agua en centros de datos. Proporciona transparencia sobre cuánta agua utiliza y repone una organización de centro de datos. Por ejemplo, [Microsoft](#) informó que en 2021 se reabastecieron 1,3 millones de metros cúbicos de agua gracias a inversiones. [Apple](#) se asoció con la ciudad de Prineville, Oregón, para construir una instalación subterránea de almacenamiento de agua que ampliara el suministro de agua potable de la ciudad.

¹¹ Tecnología de la información - Indicadores clave de rendimiento de centros de datos - Parte 9: Eficacia del uso del agua

Consumo total de agua en la cadena de suministro (m3)

Definición - Agua total consumida en la cadena de valor de un centro de datos. Este concepto está en desarrollo y es análogo a las emisiones del Alcance 3 aguas arriba.

Aplicación - Esta métrica rastrea el agua consumida en la cadena de valor, que suministra materiales, equipos y servicios a un centro de datos. Recomendamos que los proveedores divulguen los datos de consumo de agua a través de divulgaciones ambientales de productos (EPDs).

Residuos

Residuos generados: residuos totales, residuos electrónicos y batería (tonelada métrica)

Definición - El peso de cada tipo de material (total / equipo electrónico / batería) generado en un centro de datos. La medición debe comenzar desde la construcción y continuar hasta el final de la vida útil de un centro de datos. Al igual que las emisiones de carbono, los residuos pueden medirse como residuos directos, pero también como residuos generados dentro de la cadena de suministro del centro de datos.

Aplicación - Estas métricas pueden utilizarse para cuantificar los impactos de la organización relacionados con los residuos en el medio ambiente, reduciendo los residuos generales, electrónicos y de baterías generados. El desperdicio directo debería ser el foco de los informes y, a medida que la información mejora en toda la industria, se puede añadir la generación indirecta de residuos para seguir la cadena de suministro.

Tasa de desviación de residuos - residuos totales, residuos electrónicos y batería

Definición - Peso total de residuos reciclados (total / equipos electrónicos / batería) dividido por el peso total de residuos generados (total / equipos electrónicos / batería) en un centro de datos. Los residuos pueden ser desviados de los vertederos mediante metodologías circulares que incluyen, pero no limitándose a, reutilización, remanufactura y reciclaje.

Aplicación - Estas métricas son ratios comparables entre centros de datos. Son útiles para hacer benchmarking y hacer seguimiento de programas de mejora que llevan las proporciones hacia el 100%. Esta práctica de economía circular se considera una de las palancas más impactantes para reducir la generación de residuos y alcanzar el objetivo de cero residuos. El equipo que ya no sea adecuado para infraestructuras críticas puede ser reutilizado o remanufacturado para su reutilización y, por tanto, desviado de los vertederos. El equipo que ya no puede cumplir su propósito puede ser reciclado. Por ejemplo, cuando los servidores y las baterías de los SAI alcanzan su vida útil al final, pueden reciclarse. En el

caso de las baterías VRLA, la industria tiene una tasa extremadamente alta de reciclabilidad de materiales (99%+), con un proceso de reciclaje altamente regulado a nivel local, estatal, nacional e internacional. La aplicación de la tecnología de baterías de ion de litio a aplicaciones de UPS ha sido una tendencia creciente en los últimos años y, aunque las prácticas de reciclaje de baterías continúan desarrollándose, se prevé que en un futuro próximo se reciclarán mayores cantidades de litio, cobalto y níquel, reduciendo la demanda de minerales extraídos. Consulte el **Apéndice** para más información sobre las prácticas de la economía circular.

Ecosistema local

Terreno - uso total del suelo (m²)

Definición – Superficie total directa consumida para operar un centro de datos. El uso del suelo incluye el terreno sobre el que se construye el(los) edificio(s) físico(s) del centro de datos, incluyendo cualquier área asociada a la operación del centro de datos, como equipos / módulos exteriores de energía y refrigeración, aparcamientos, etc. Cualquier terreno que haya sido desforestado para acomodar los requisitos de drenaje, retroceso o amortiguamiento también debe incluirse en el área total de uso del suelo. Si el centro de datos está ubicado en un campus o centro industrial con otras actividades, asigna la proporción adecuada de terreno al centro de datos para esta métrica. Tu metodología para determinar el uso del suelo debe publicarse.

Aplicación – Esta métrica se utiliza para informar del uso directo del suelo por parte del operador de un centro de datos, similar a las emisiones de GEI de Alcance 1. Predecir el uso del suelo en la fase de diseño reduce el impacto en el ecosistema local al optimizar la selección de los sitios del centro de datos. Por ejemplo, reutilizar terrenos contaminados tendría el menor impacto en el medio ambiente, mientras que la selección de terrenos nuevos debería evitar la artificialización de bosques o suelos vírgenes. El uso directo del terreno por parte de un centro de datos es comparativamente mínimo respecto a otras industrias, pero debe prestarse precaución durante la selección del sitio y la protección durante la construcción.

Intensidad del uso del suelo (kW/m²)

Definición – La proporción entre la capacidad de TI nominal y la huella total de un centro de datos. Valores más altos significan mejor uso del suelo o menos uso del suelo.

Aplicación – Esta métrica permite comparaciones entre diferentes centros de datos y debe considerarse en la fase de diseño para medir la efectividad del uso del suelo. Existen varios enfoques para que los

operadores de centros de datos optimicen la efectividad del uso del suelo, incluyendo la construcción de bastidores de varias plantas en lugar de una sola planta, el despliegue de racks de alta densidad en lugar de bastidores de baja densidad, etc.

Ruido exterior - dB(A)

Definición – El nivel de sonido medido en la línea de propiedad del centro de datos (emisor). Estos valores pueden estimarse durante la fase de diseño del centro de datos.

Aplicación – Esta métrica puede ayudar a los operadores de centros de datos y a las jurisdicciones locales a identificar si el nivel de sonido cumple con las ordenanzas locales de ruido. En algunas ubicaciones de centros de datos, las jurisdicciones locales mantienen debates continuos sobre cómo prevenir o mitigar problemas relacionados con el sonido. Dado que el ruido puede afectar a la aprobación y operación de los centros de datos, los operadores pueden seleccionar soluciones silenciosas de HVAC y generadores para evitar estos problemas durante la fase de diseño. Los diseñadores también pueden aprovechar sistemas de mitigación de sonido (por ejemplo, cubiertas acústicas, persianas, silenciadores) para mitigarlo.

Abundancia media de especies (MSA) (MSA/km²)

Definición – [El CDC Biodiversité](#)¹² (Francia) desarrolló esta métrica como metodología de huella de biodiversidad con el objetivo de crear una puntuación global de biodiversidad (SGB¹³). Esta métrica indica el impacto en las especies locales por un centro de datos en unidades de abundancia media de especies por kilómetro cuadrado. Esto aún no es un estándar. Para más información sobre biodiversidad, el **Apéndice de la Compañía** y el White Paper de Schneider Electric, [El Por qué, qué y cómo de la acción corporativa sobre la biodiversidad: Una introducción para empresas](#) manufactureras.

Aplicación – Esta métrica hace que el impacto de un centro de datos sobre las especies sea más transparente durante todas las fases de un centro de datos. Puede ayudar a los operadores de centros de datos a evaluar la eficacia de sus planes para proteger la especie a lo largo de todo el ciclo de vida del centro de datos.

Otras consideraciones sobre sostenibilidad

Además de las métricas listadas en **la Tabla 1**, existen otras métricas que indican la sostenibilidad de los centros de datos. Por ejemplo, la tasa de utilización de una instalación de centro de datos, incluyendo espacio en

¹² CDC Biodiversité es una filial directa de la Caisse des Dépôts (CDC, la mayor institución financiera pública francesa).

¹³ Berger, J., et al., [Terreno común en metodologías de huella de biodiversidad para el sector financiero](#), 2018

planta, espacio en racks y capacidades de sistemas de energía y refrigeración, puede rastrearse internamente para impulsar mejoras. Estas métricas rastrean (y hacen transparente) la eficiencia con la que se utiliza un centro de datos. En otras palabras, cuanto más utilices un centro de datos existente, más tiempo retrasarás la expansión del centro de datos, reduciendo tus emisiones totales de Alcance 3, residuos, etc. Aunque es un concepto sencillo, la industria de los centros de datos no siempre funciona bien en este ámbito. Algunos ejemplos incluyen activos infrautilizados y capacidad de centros de datos varada o usados de forma desproporcionada (es decir, quedarse sin espacio antes de quedarse sin energía y refrigeración, o viceversa). El centro de datos más sostenible es aquel que no tienes que construir. Para más información sobre este tema, consulte el White Paper 99, [Cuantificando las emisiones de GEI del Alcance 3 de los centros de datos para priorizar los esfuerzos de reducción](#).

Establecimiento de objetivos de métricas

Existen normativas emergentes (voluntarias u obligatorias) sobre objetivos métricos en algunas regiones del mundo para impulsar el progreso de la sostenibilidad ambiental de los centros de datos. Por ejemplo, la Asociación Europea de Centros de Datos ([EUDCA](#))¹⁴ publicó valores objetivo basados en el tiempo y autorregulados para varias métricas clave (por ejemplo, PUE, porcentaje de uso de energía renovable, WUE) a través del Pacto de Centros de Datos Climáticamente Neutrales ([CNDCP](#)), mientras que China publicó un código nacional obligatorio - [GB 40879 - 2021](#), que estipula las calificaciones y los valores máximos permitidos para el PUE. Estas regulaciones podrían usarse cada vez más como referencia por más regiones en el futuro.

Para cumplir con las normativas, esta sección identifica algunas métricas clave y proporciona los valores objetivos publicados por la industria para cada métrica. Aplicamos los siguientes cinco criterios para determinar cuál de las 28 métricas clave de **la Tabla 1** podría tener valores objetivo aplicables a todos los centros de datos:

- Próximamente se emitirán regulaciones de R
- Los enfoques de medición han sido claramente definidos
- Medición como un valor de razón o normalizado, no como valor absoluto

¹⁴ EUDCA es una organización internacional sin ánimo de lucro fundada en 2011 y registrada en Bélgica. Representa los intereses de la comunidad europea de operadores comerciales de centros de datos. Su misión declarada es: "Proporcionar una plataforma para los operadores europeos de centros de datos, tanto comercial como políticamente, con el objetivo general de promover y desarrollar el crecimiento de la industria".

- No depende mucho de la geografía (por ejemplo, las intensidades del uso del suelo en Singapur y Hong Kong serán muy diferentes a las de otros países o ciudades)
- No depende mucho de las jurisdicciones locales (por ejemplo, el nivel de ruido exterior depende de la ordenanza local de ruido).

Aplicando estos criterios, identificamos cuatro métricas:

- **Efectividad en el uso de energía (PUE)** – La proporción entre el consumo total de energía de un centro de datos y el consumo energético de TI
- **Factor de energía renovable (REF)** – La proporción de energía renovable propiedad y controlada por una organización de centro de datos respecto al consumo total de energía del centro de datos
- **Efectividad del uso de carbono (CUE2):** La suma de las emisiones anuales de carbono de Alcance 1 de centros de datos y de Alcance 2 basadas en el mercado, dividida por el consumo energético de TI con la unidad de kg CO₂e/kWh.
- **Eficiencia en el uso del agua (WUE1)** – El consumo de agua en el centro de datos en el sitio dividido por el consumo energético de TI con la unidad de m³/MWh.

Como los valores de cada métrica varían significativamente dependiendo de muchos factores, incluyendo el tamaño del centro de datos, el nivel de redundancia, la ubicación, la relación de carga, el factor de emisión eléctrica, las actividades de la cadena de valor, etc. Por ello, confiamos en encuestas, estudios, normativas y actores del sector para proporcionar valores objetivo publicados en el sector. **Tabla 2** resume los mejores valores de su clase o ideales y los valores objetivo de la industria para estas métricas clave. Las siguientes subsecciones proporcionan los detalles de cada métrica.

Tabla 2

Valores objetivo del sector para las 4 métricas

Métrica clave	Definido por	Valor de referencia	Valor objetivo del sector
PUE	ISO/IEC 30134-2	1,1 (relación de carga 75%-85%)	1,2-1,3 (relación de carga 75%-85%)
REF	ISO/IEC 30134-3	1.0	0,75-1,0
CUE2	ISO/IEC 30134-8	0,0 kg CO ₂ e/kWh	0,0-0,12 kg CO ₂ e/kWh
WUE1	ISO/IEC 30134-9	0,0 m ³ /MWh	0,3-0,45 m ³ /MWh

PUE

Encuesta - La encuesta del Uptime Institute 2022 muestra que el PUE anual medio fue de 1,55, y el progreso se ha estancado desde 2014.

Reglamento - [EUDCA](#) publicó los requisitos sobre PUE para todos los centros de datos que superen los 50 kW de demanda máxima de potencia TI: "El 1 de enero de 2025, los nuevos centros de datos que operen a plena capacidad en climas fríos cumplirán un objetivo anual de PUE de 1,3, y 1,4 para nuevos centros de datos que operen a plena capacidad en climas cálidos. Los centros de datos de Existing alcanzarán estos mismos objetivos antes del 1 de enero de 2030." En 2021, China publicó un código nacional - [GB 40879 - 2021](#), que estipulaba los valores máximos permitidos para las calificaciones de eficiencia energética y eficiencia energética para centros de datos. El valor máximo permitido de PUE es 1,5. Hay tres grados: 1, 2 y 3, con valores de 1,2, 1,3 y 1,5 respectivamente. [El gobierno local de Pekín](#) publicó en julio de 2021 requisitos sobre PUE para centros de datos recién construidos y adaptados, que estipulaban un PUE no superior a 1,3, 1,25, 1,2 y 1,15 para centros de datos con consumo energético anual inferior a 10.000, 10.000–20.000, 20.000–30.000 y superior a 30.000 toneladas¹⁵ de carbón estándar respectivamente. Además, la compañía impondrá una tarifa eléctrica más alta a los centros de datos ineficientes (PUE>1.4). [La Junta de Desarrollo Económico de Singapur](#) (EBD) y and Infocomm Media Development Authority ([IMDA](#)) han lanzado un Centro de Datos piloto - Ejercicio de Convocatoria para Aplicaciones (DC-CFA), que exige que los nuevos centros de datos alcancen al menos un PUE de 1,3 (con 100% de carga informática) o superior.

Actores del sector - [Google](#) reportó un PUE anual medio de 1,1 para su flota global de centros de datos en 2021, mientras [que Meta](#) reportó 1,09 PUE anual para centros de datos en 2021. [CyrusOne](#) reportó un PUE operativo medio de 1,48 para todas sus instalaciones que construyó y gestionó directamente en 2022, mientras que [Equinix](#) reportó 1,48 en su cartera global en 2021. [Alibaba](#) reportó una media anual de 1,247 PUE para sus centros de datos autónomos en 2022.

Ten en cuenta que los valores del PUE están fuertemente influenciados por la eficiencia del sistema de refrigeración, el clima y, especialmente, la relación de carga. Aunque los valores objetivo de PUE mencionados no proporcionan una relación media de carga, debe expresarse. **Creemos que un PUE de primera categoría es de aproximadamente 1,1 con un 75-85% de carga. Alcanzar un PUE medio anual de 1,2 a 1,3 con una carga del 75-85% es encomiable.**

¹⁵ Una tonelada de carbón estándar equivale a unos 8140 kWh.

Factor energético renovable R (REF)

Reglamento - [EUDCA](#) publicó requisitos sobre el uso de energía limpia: "La demanda de electricidad en centros de datos se compensará con un 75% de energía renovable o energía libre de carbono por hora antes del 31 de diciembre de 2025, y 100% antes del 31 de diciembre de 2030." [El gobierno local de Pekín](#) publicó requisitos para que todos los centros de datos construidos desde 2021, con un consumo energético anual superior a 5 millones de kWh, aumenten el consumo de energía renovable en un 10% cada año y alcancen un objetivo del 100% de energías renovables para 2030.

Actores del sector: [Google](#) reportó 1,0 REF durante cinco años consecutivos en 2021, mientras que [Equinix](#) superó el 0,9 durante cuatro años consecutivos en 2021. [Apple](#) reportó 1,0 REF en su consumo operativo de electricidad, mientras que [Amazon](#) reportó 0,85 en sus operaciones en 2021. [Alibaba](#) informó de 0,216 REF para su nube en 2022. [CyrusOne](#) informó de 0,13 REF por el total de electricidad adquirida, 0,47 REF por la electricidad consumida por sus clientes y 1,0 REF por sus operaciones europeas en 2021.

El mejor REF de su clase es 1.0. Alcanzar un REF de 0,75 a 1,0 es encomiable. Sin embargo, alcanzar la 1.0 con compras de energía renovable no significa que los centros de datos se alimenten exclusivamente de fuentes renovables. [Google](#) y [Microsoft](#) han declarado compromisos para igualar el 100% del consumo eléctrico con energía libre de carbono las 24 horas del día, los 7 días de la semana, para todas las fuentes eléctricas donde la demanda se encuentre para 2030.

Efectividad en el uso de Carbón (CUE₂)

Regulación - No existen requisitos actuales de CUE. Sin embargo, vemos los requisitos de factores de energía renovable como un indicador de los requisitos CUE porque la energía renovable desempeña un papel importante en la reducción de los valores CUE.

Actores de la industria - La mayoría de los operadores de centros de datos informaron la intensidad de carbono o de emisiones de GEI de forma diferente a la CUE (por ejemplo, intensidad de carbono de ingresos con unidades de mtCO_{2e}/millón de dólares estadounidenses, intensidad de carbono de construcción con unidades de mtCO_{2e}/ft², intensidad de carbono de las personas con unidades de mtCO_{2e}/persona activa mensual). Esta inconsistencia hace que la evaluación de valores entre organizaciones de centros de datos sea muy difícil. Basándonos en los informes ESG disponibles en línea de 2021, estimamos los valores de CUE utilizando el Alcance 1 y 2 basados en el mercado, el consumo total de energía y el PUE. Estos cálculos resultaron en: 0,111 kg de CO_{2e}/kWh para el

operador A, 0,003 para el operador B, 0,063 para el operador C y 0,141 para el operador D.

La métrica estándar CUE aborda esta inconsistencia y proporciona benchmarking para la industria de centros de datos. Cabe destacar que CUE depende en gran medida de los factores de emisión de carbono de la compañía eléctrica local y de la adquisición de energía renovable. **El valor ideal de CUE es 0,0 kg de CO₂e/kWh, pero alcanzar un CUE de 0,0 a 0,12 kg CO₂e/kWh es digno de elogio.** Aunque el Alcance 1 representa solo alrededor del 1-2% de las emisiones basadas en la ubicación según informes ESG publicados, algunos operadores de centros de datos como [Microsoft](#) anunciaron su objetivo de eliminar su dependencia de la energía diésel en sus centros de datos para 2030.

Eficiencia en el uso del agua (WUE)

Investigación - Un estudio de 2016 del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL) reveló que el consumo de agua in situ de los centros de datos en EE. UU. era de 1,8 L/kWh del consumo total de energía de los centros de datos. Esto se aplicaba a todos los centros de datos excepto a los de armarios y de salas. Sin embargo, este valor no es el valor medio de la WUE, ya que utiliza la energía total del centro de datos en lugar de la energía total del equipo informático. Según la definición de WUE de [ISO/IEC 30134-9](#)¹⁶, el valor real de WUE del estudio LBNL debería ser de aproximadamente 2,88 L/kWh (m³/MWh), asumiendo un valor medio anual de PUE de 1,6 según la encuesta del Uptime Institute.

Regulación - [EUDCA](#) exige que los operadores de centros de datos conserven agua y establezcan objetivos ambiciosos de conservación del agua: "Para 2022, los operadores de centros de datos establecerán un objetivo anual de efectividad en el uso del agua (WUE), u otra métrica de conservación del agua, que se cumplirá con nuevos centros de datos para 2025 y por centros de datos existentes para 2030. El objetivo de la métrica del agua puede variar según la especificación de diseño del centro de datos." En julio de 2022, [el CNDCP](#) publicó un valor objetivo específico de la WUE: "El límite propuesto de cero coma cuatro litros de agua por kilovatio-hora de potencia informática (0,4 l/kWh) tiene en cuenta la diversa gama de tecnologías, climas y tipos de edificios de centros de datos para garantizar que la métrica sea neutral tanto en tecnología como en la ubicación. La nueva métrica debe ser alcanzada por todos los operadores de centros de datos firmantes del Pacto antes de 2040."

¹⁶ Tecnología de la información - Indicadores clave de rendimiento de centros de datos - Parte 9: Eficiencia en el uso del agua (WUE)

Actores del sector - [AWS](#) afirmó: "0,25 litros de agua por kilovatio-hora de electricidad consumida de media en los centros de datos de AWS a nivel mundial", mientras que [Meta](#) informó de 0,26 L/kWh WUE para sus edificios de centros de datos construidos desde 2021. Ten en cuenta que tanto AWS como Meta usaron el consumo total de energía del centro de datos en lugar del consumo energético de TI como denominador para calcular los valores de WUE. Los valores reales de WUE son de aproximadamente 0,28 L/kWh asumiendo un PUE anual medio de 1,1. [CyrusOne](#) informó de 0,57 L/kWh WUE para todas las instalaciones construidas y gestionadas por ellos en 2021.

Ten en cuenta que los valores de WUE están fuertemente influenciados por los tipos de sistemas de refrigeración, la temperatura y la humedad.

Aunque el valor ideal de WUE es 0,0 m³/MWh, alcanzar un WUE de 0,3 a 0,45 m³/MWh es encomiable.

Conclusión

Antes de que una empresa pueda establecer objetivos o integrar el ESG en su estrategia y operaciones empresariales, debe decidir cómo medir y reportar sobre las métricas. Determinar qué métricas de sostenibilidad ambiental debe seguir una empresa de centros de datos es uno de los temas más importantes a los que se enfrenta. Los operadores de centros de datos se enfrentan a una presión creciente por parte de inversores, reguladores, accionistas, clientes y empleados para ofrecer mayor transparencia en la notificación del impacto ambiental de sus centros de datos. La transparencia basada en métricas puede añadir valor internamente al impulsar mejoras en la sostenibilidad, y externamente al aumentar la confianza de los grupos de interés (por ejemplo, accionistas) y la competitividad.

No todas las empresas de centros de datos están en el mismo punto de su camino. Hemos delineado 28 métricas en tres etapas de reporte: Inicio, Avanzado y Liderazgo. La etapa inicial representa informes básicos sobre energía, uso de agua y emisiones de GEI; en esencia, estas son las métricas clave necesarias para cada centro de datos. La etapa Avanzada añade métricas más detalladas para energía, agua y emisiones de gases de efecto invernadero, e introduce dos nuevas categorías: residuos y ecosistema local. La etapa Leading añade métricas aún más detalladas a las categorías existentes.

Los operadores de centros de datos pueden aprovechar nuestras métricas estandarizadas propuestas para desarrollar su propia lista según su etapa de su camino hacia la sostenibilidad. Luego pueden establecer objetivos métricos razonables según los valores objetivo del sector. Los operadores de centros de datos deben recopilar o medir múltiples puntos de datos durante un periodo de informe (rolling de doce meses) para calcular los valores de las métricas. Esto requiere que los operadores coloquen los medidores en los lugares adecuados para la medición y aprovechen las herramientas digitales modernas (por ejemplo, [Resource Advisor](#), [DCIM](#)) disponibles en el mercado. Los operadores de centros de datos pueden entonces consultar marcos y estándares para orientar e informar y certificar su progreso hacia sus objetivos, año tras año. Consulte el **Apéndice** para una lista de los marcos y estándares de sostenibilidad más relevantes para la orientación en la elaboración de informes y certificación.



Sobre los autores

Paul Lin es Director de Investigación y Experto Edison en el Centro de Investigación en Gestión Energética de Schneider Electric. Es responsable del diseño de centros de datos e investigación operativa, y asesora a clientes en prácticas de evaluación de riesgos y diseño para optimizar la disponibilidad y sostenibilidad de su entorno de centros de datos. Es un experto reconocido y ponente frecuente en eventos del sector de centros de datos. Antes de incorporarse a Schneider Electric, Paul trabajó durante varios años como líder de proyectos de investigación y desarrollo en LG Electronics. También es ingeniero profesional colegiado y posee más de 10 patentes. Paul posee tanto una licenciatura como un máster en ingeniería mecánica por la Universidad de Jilin. También posee un certificado en el Programa de Liderazgo Transforming Schneider por INSEAD.

Robert Bunger es Director de Programación en la oficina CTO de Schneider Electric. En sus 25 años en Schneider Electric, Robert ha ocupado cargos directivos en atención al cliente, ventas técnicas, gestión de ofertas, desarrollo de negocio y asociaciones del sector. Durante su etapa en APC / Schneider Electric, ha vivido y trabajado en Estados Unidos, Europa y China. Antes de unirse al APC, fue oficial comisionado en la fuerza de submarinos de la Marina de los Estados Unidos. Robert tiene una licenciatura en Informática por la Academia Naval de EE. UU. y un máster en Ingeniería Eléctrica por el Rensselaer Polytechnic Institute.

Víctor Avelar es analista senior de investigación en el Centro de Investigación en Gestión Ambiental de Schneider Electric. Es responsable del diseño de centros de datos e investigación operativa, y asesora a clientes en prácticas de evaluación de riesgos y diseño para optimizar la disponibilidad y eficiencia de sus entornos de centros de datos. Víctor tiene una licenciatura en ingeniería mecánica por el Rensselaer Polytechnic Institute y un MBA por Babson College. Es miembro de AFCOM.













Agradecimientos

Un agradecimiento especial a **Erik Mohn** por su experiencia y contribución a este white paper.

VALORA ESTE ARTÍCULO





-  [White Paper 64: Por qué los centros de datos deben priorizar la sostenibilidad ambiental: cuatro factores clave](#)
-  [White Paper 158: Guía para el Cálculo de Eficiencia \(PUE\) en Centros de Datos](#)
-  [White Paper 49: PUE™: Un examen exhaustivo de la métrica](#)
-  [White Paper 35: WUE™: Una métrica de sostenibilidad para centros de datos de red verde](#)
-  [White Paper:: El porqué, qué y cómo de la biodiversidad corporativa: una introducción para empresas manufactureras](#)
-  [White Paper 100: 3 pasos para calcular el consumo total de energía de TI empresarial usando DCIM](#)
-  [White Paper 53: Inventario recomendado para la notificación de emisiones de GEI de Alcance 3 del Centro de Datos](#)
-  [White Paper 99: Cuantificación de las emisiones de GEI del Alcance 3 del Centro de Datos para Priorizar los Esfuerzos de Reducción](#)
-  [White Paper: Moviendo a las organizaciones hacia la neutralidad de carbono: el papel de las compensaciones de carbono](#)
-  [White Paper: Consejos de profesionales en adquisiciones: 5 claves para comprar energía de forma más](#)
-  [Consulta todos los Documentos Técnicos](#)
-  [Explora todas las herramientas™ de TradeOff](#)

Contacta con nosotros

Para enviar tus comentarios y observaciones acerca del contenido de este informe técnico contacta con Energy Management Research Center:

dcsc@schneider-electric.com

Si eres cliente y tiene dudas concretas sobre tu proyecto de centro de datos, contacta con tu representante de Schneider Electric en

www.apc.com/support/contact/index.cfm

Apéndice

Este apéndice ofrece explicaciones adicionales de términos y conceptos mencionados en el cuerpo de este artículo.

Emisiones de GEI

Gas de efecto invernadero (GEI) significa "cualquiera de los diversos compuestos gaseosos que absorben la radiación infrarroja, atrapan el calor en la atmósfera y contribuyen al efecto invernadero".¹⁷ Según la "[Convención Marco sobre el Cambio Climático](#)" y el "[Protocolo de Kioto](#)", existen seis principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); Perfluorocarbonos (PFC); Hidrofluorocarburos (HFC); óxido nitroso (N₂O); Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Según el [Protocolo de GEI](#) y [la ISO 14064](#), existen tres categorías de emisiones de GEI: Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3 (como se muestra en la **Figura A1**).

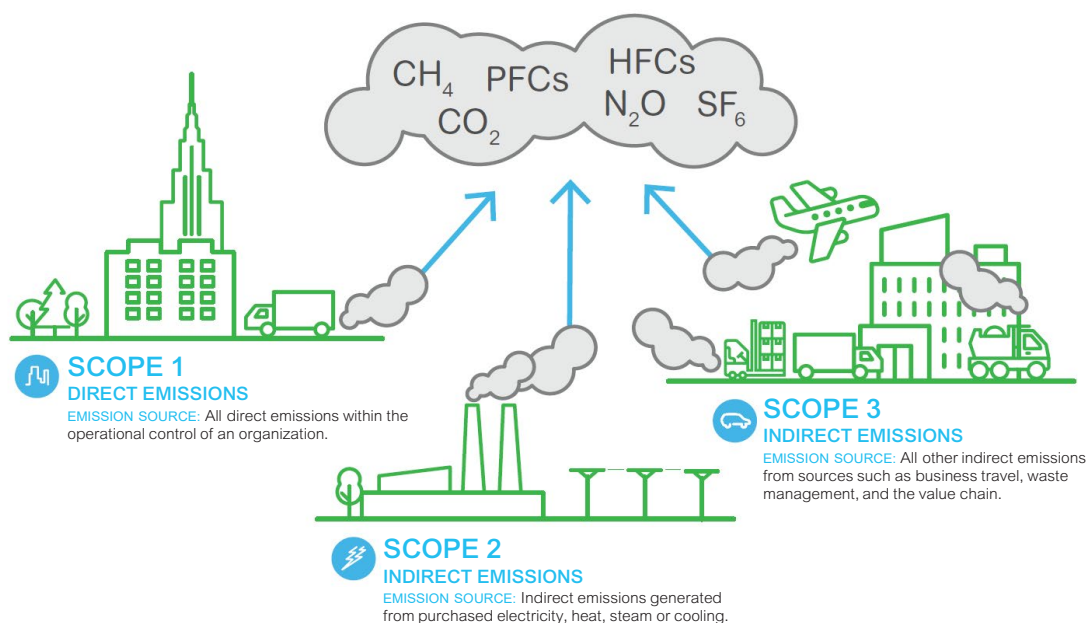
- **Ámbito 1 - Emisiones directas de GEI:** Todas las emisiones directas dentro del control operativo de una organización.
- **Ámbito 2 - Emisiones indirectas de gases de efecto invernadero energéticos:** Emisiones indirectas generadas por electricidad, calefacción, vapor o refrigeración adquiridos.
- **Ámbito 3 - Otras emisiones indirectas de GEI:** Todas las demás emisiones indirectas procedentes de fuentes como viajes de negocios, gestión de residuos y la cadena de valor.

Las emisiones de Alcance 1 son las más sencillas de calcular, mientras que los datos de Alcance 3 son más difíciles de obtener. Las emisiones de carbono de Alcance 2 generalmente pueden ser proporcionadas por tu compañía eléctrica. Según investigaciones de Carbon Intelligence, más del 80% de las emisiones de una empresa son de Alcance 3. Pero en los centros de datos, que requieren mucha energía, las emisiones de Alcance 3 se acercan más al 50% durante la vida útil del centro de datos. Como los datos para el Alcance 3 aún están desarrollándose, hemos identificado esta métrica como líder.

¹⁷ <https://www.merriam-webster.com/dictionary/greenhouse%20gas>

Figura A1

3 categorías de emisiones de GEI de una organización



Según las categorías anteriores, las emisiones de GEI de un centro de datos no solo provienen de sus propias operaciones y consumo eléctrico, sino también de los bienes que los centros de datos compran. Las emisiones de GEI (Alcance 3) pueden incluir las emisiones indirectas de fuentes como los viajes, la gestión de residuos y la cadena de valor de un centro de datos. Por ejemplo, las emisiones pueden incluir la construcción de centros de datos (bienes y servicios adquiridos); desplazamientos de empleados (coches, autobuses, etc.); viajes de negocios (vuelo, tren, coches de alquiler, hoteles, etc.).

Economía circular

"Una economía circular se basa en los principios de eliminar residuos y contaminación, circular productos y materiales (en su valor más alto) y regenerar la naturaleza", según la [Fundación Ellen MacArthur](#). Para los centros de datos, la economía circular es una de las palancas más impactantes para reducir las emisiones de la cadena de suministro de Alcance 3, ilustradas en la **Figura A1**. La gente tiende a pensar en la economía circular como un reciclaje para reducir las emisiones de la cadena de suministro. Pero hay otras consideraciones:

- ¿Cuál es el plan para mantener y prolongar tu equipo? En general, cuanto más dura, menor será su huella de carbono. Sin embargo, si el equipo es muy ineficiente y el factor de emisión de la compañía es alto, puede ser mejor reemplazarlo por equipos más eficientes.
- ¿Se puede reutilizar cuando ya no se puede mantener?
- ¿Puedo refabricarla/reutilizar/redistribuirla?

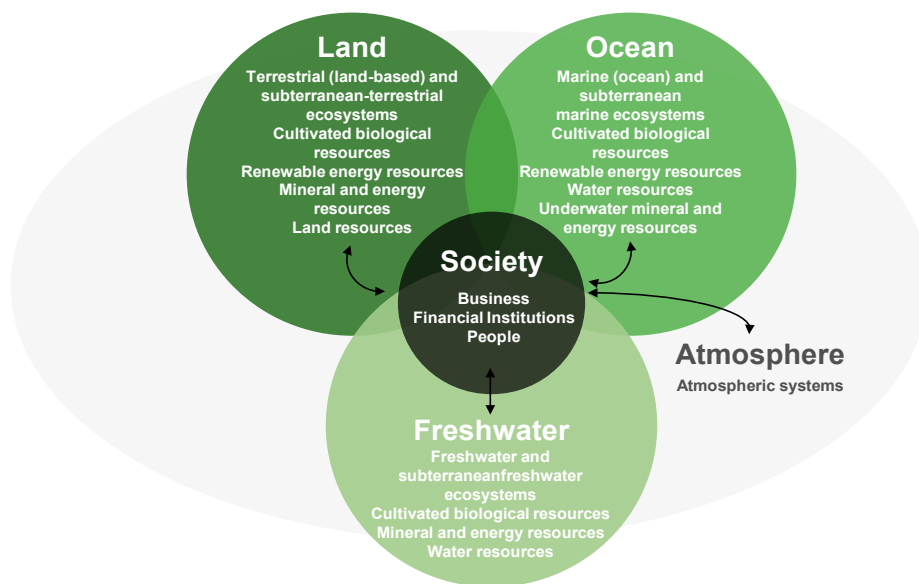
Biodiversidad

Según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), "La biodiversidad es todos los diferentes tipos de vida que encontrarás en una sola zona: la variedad de animales, plantas, hongos e incluso microorganismos como bacterias que conforman nuestro mundo natural. Cada una de estas especies y organismos trabajan juntos en ecosistemas, como una intrincada red, para mantener el equilibrio y sostener la vida. La biodiversidad apoya todo lo que necesitamos en la naturaleza para sobrevivir: comida, agua limpia, medicinas y refugio."¹⁸ Otra descripción de la importancia de la biodiversidad es de los estándares GRI 304, "Garantizar la supervivencia de especies vegetales y animales, la diversidad genética y los ecosistemas naturales. La biodiversidad también contribuye directamente a los medios de vida locales, haciéndola esencial para lograr la reducción de la pobreza y, por tanto, el desarrollo sostenible."¹⁹ **La Figura A4** ilustra cuatro ámbitos de la biodiversidad: tierra, océano, agua dulce y atmósfera. La sociedad y la economía están integradas en estos cuatro ámbitos.

Figura A4

Los ámbitos de la biodiversidad

Adaptado del [Grupo de trabajo sobre Divulgación de Información financiera relacionada con la Naturaleza](#)



A medida que los impactos en la biodiversidad atraen más atención de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, esperamos que la información de informes gane popularidad. Por ejemplo, en 2020 la UE publicó la "Estrategia de Biodiversidad para 2030" para proteger la naturaleza y revertir la degradación de los²⁰ ecosistemas.

¹⁸ <https://www.worldwildlife.org/pages/what-is-biodiversity>

¹⁹ <https://www.globalreporting.org/standards/media/1011/gri-304-biodiversity-2016.pdf>

²⁰ https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_en

Marcos y normas para la elaboración de informes y certificación

Los marcos y normas se utilizan para ayudar a las organizaciones a medir y reportar sobre sostenibilidad. Los marcos proporcionan directrices generales y suelen ser no obligatorios, mientras que los estándares pueden ser adoptados por las jurisdicciones y volverse obligatorios.

Basándonos en más de diez años de experiencia en consultoría en Schneider Electric, hemos identificado los 10 marcos y estándares de sostenibilidad más relevantes para la presentación y certificación de sostenibilidad ambiental en centros de datos en todo el mundo (como se muestra en **la Tabla A5**).

- **Informes:** Al igual que en la información financiera, los operadores de centros de datos pueden utilizar estos marcos como orientación para proporcionar información no financiera cualitativa y cuantitativa para evaluar su desempeño en sostenibilidad. Por ejemplo, el Proyecto de Divulgación de Carbono ([CDP](#)) es un marco popular para ayudar a grandes empresas a integrar la información medioambiental y los impactos empresariales en la información financiera.
- **Certificación:** Estos marcos proporcionan un medio para que las organizaciones certifiquen sus mejoras en sostenibilidad cumpliendo un número mínimo de requisitos o puntos. Por ejemplo, [LEED](#) es un sistema de valoración bien conocido para edificios que evalúa el rendimiento ambiental y fomenta el diseño sostenible.

Tabla A5

Marcos y estándares de sostenibilidad más relevantes para elaborar informes y certificación de centros de datos

Aplicaciones	Marcos y normas	Trum pec S	Atributos
Reportajes (4)	<ul style="list-style-type: none"> Junta de Normas Contables de Sostenibilidad (SASB) Grupo de Trabajo sobre Divulgaciones Financieras Relacionadas con el Clima (TCFD) Proyecto de Divulgación de Carbono (CDP) Iniciativa Global de Información (GRI) 	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores ESG corporativos Finanzas relacionadas con el clima corporativo Emisiones corporativas de GEI, agua Cambio Climático, indicadores ESG 	<ul style="list-style-type: none"> Estándar Marco Marco Marco
Certificación (6)	<ul style="list-style-type: none"> Iniciativa de Objetivos Basados en la Ciencia (SBTi) ENERGY STAR ISO 50001: Sistema de Gestión Energética ASHRAE Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental (LEED) Método de Evaluación Ambiental del Centro de Investigación de Edificios (BREEAM) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones corporativas Uso de energía en edificios e instalaciones Activos del entorno construido Estándar energético para la construcción Consumo energético en edificios corporativos Consumo energético corporativo 	<ul style="list-style-type: none"> Iniciativa Marco Estándar Estándar Sistema de clasificación Estándar

Mapear métricas con marcos y estándares

Sin la guía de este artículo, puede ser difícil para los operadores de centros de datos elegir las directrices adecuadas para sus organizaciones porque ningún Marco o estándar único cubre todas las métricas. Esta sección simplifica la complejidad de los numerosos marcos disponibles al asignar las métricas a los marcos y estándares más relevantes. Incluso esta lista más corta puede resultar abrumadora para algunos operadores de centros de datos. En estos casos, recomendamos utilizar servicios de consultoría externa con experiencia en el campo de la sostenibilidad, preferiblemente con experiencia en centros de datos. Basándonos en más de diez años de experiencia en consultoría en Schneider Electric, proporcionamos una matriz en **la Tabla A6** que muestra la relación entre métricas, marcos y estándares.

Tabla A6*Matriz entre 28 métricas, marcos y estándares clave*

Categorías métricas	Métricas clave	Marcos y normas recomendados
Energía (6)	<ul style="list-style-type: none"> Consumo total de energía Efectividad en el uso de energía (PUE) Consumo total de energía renovable Factor de energía renovable (REF) Factor de Reutilización de Energía (ERF) Utilización del servidor (ITEUsv) 	<ul style="list-style-type: none"> SASB ISO/IEC 30134-2 RE100 ISO/IEC 30134-3 ISO/IEC 30134-6 ISO/IEC 30134-5
Emisiones de GEI (7)	<ul style="list-style-type: none"> Alcance 1 <ul style="list-style-type: none"> Emisiones de GEI Alcance 2 <ul style="list-style-type: none"> Emisiones de GEI basadas en la ubicación Emisiones de GEI basadas en el mercado Alcance 3 <ul style="list-style-type: none"> Emisiones de GEI Eficacia del uso del carbono (CUE) Compensaciones totales de carbon Ajuste hora por hora de suministro y consumo 	<ul style="list-style-type: none"> GHG Protocol o ISO 14064 GHG Protocol o ISO 14064 ProtocoloG HG o ISO 14064 GHG Protocol o ISO 14064 ISO/IEC 30134-8 N/A, consulta un White Paper sobre este tema No hay marcos ni estándares disponibles
Agua (5)	<ul style="list-style-type: none"> Consumo total de agua del sitio Consumo total de agua de fuente de energía Efectividad en el uso del agua (WUE) Reposición de agua Uso total de agua en la cadena de suministro 	<ul style="list-style-type: none"> ISO/IEC 30134-9 No hay marcos ni estándares disponibles ISO/IEC 30134-9 N/A, consulta un White Paper sobre este tema No hay marcos ni estándares disponibles

Categorías métricas	Métricas clave	Marcos y normas recomendados
Residuos (6)	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos generados <ul style="list-style-type: none"> ○ Desperdicio total ○ Residuos electrónicos ○ Batería • Tasa de desviación de residuos <ul style="list-style-type: none"> ○ Desperdicio total ○ Residuos electrónicos ○ Batería 	<ul style="list-style-type: none"> • GRI 300: Medio ambiente - 306 • GRI 300: Medio ambiente - 306 • GRI 300: Medio ambiente - 306 • GRI 300: Medio ambiente - 306 • GRI 300: Medio ambiente - 306 • GRI 300: Medio ambiente - 306
Ecosistema local (4)	<ul style="list-style-type: none"> • Terreno <ul style="list-style-type: none"> ○ Uso total del suelo ○ Intensidad del uso del suelo • Ruido exterior • Abundancia media de especies (MSA) 	<ul style="list-style-type: none"> • No hay marcos ni estándares disponibles • No hay marcos ni estándares disponibles • No hay marcos ni estándares disponibles • N/A, consulta un White Paper sobre este tema.

Cambios realizados en el WP 67 Versión 1 a junio de 2023

Sección 1: Introducción

- Actualización **de la Figura 1** – eliminado "Elegir marcos y estándares" y añadido "Establecer objetivos de métrica".
- Contenido actualizado de varios párrafos

Sección 2: Cinco categorías métricas utilizadas para establecer objetivos

- Actualización **de la Figura 2** – eliminado las balas bajo cada nivel
- Sustituyó "Tierra y biodiversidad" por "Ecosistema local"
- Contenido actualizado para cada categoría
- **Tabla 1 eliminada**

Sección 3: Métricas recomendadas para la información de sostenibilidad

- Sustituyó ocho reglas por siete criterios
- Tabla 2 actualizada – El número de métricas aumentó de 23 a 28, y las métricas de "Inicio" se redujeron de 11 a 6. Los cambios específicos en las métricas incluyen:
 - Se añadió la "Utilización del Servidor (ITEUsv)" en la categoría de energía
 - Se añadió la segmentación para métricas de emisiones de GEI por alcance
 - Se eliminaron las métricas de "Intensidad de carbono basada en la ubicación (Alcance 1+ Ámbito 2)" e "Intensidad de carbono basada en el mercado (Alcance 1+ Alcance 2)"
 - Métrica actualizada "Emparejamiento hora por hora de suministro y consumo" con "Ajuste horario de suministro renovable y consumo"
 - Se ha añadido la métrica de "Reposición de agua" a la categoría de agua
 - Se eliminaron las métricas de "Residuos desechados" y "Residuos desviados"
 - Se añadieron métricas de "residuos electrónicos" y "batería" a "residuos generados" y "tasa de desviación de residuos"
 - Se añadieron las métricas de "Uso total del suelo", "Intensidad del uso del suelo" y "Ruido exterior" a la categoría de "Ecosistema local"

Sección 4: Elegir los marcos y estándares adecuados para la orientación

- He movido esta sección al apéndice. Se actualizó el contenido de la guía y se renombró la sección "Marcos y normas para la notificación y certificación"

Se añadió una nueva sección "Establecimiento de objetivos métricos"

- Proporcionó objetivos cuantitativos para un subconjunto de métricas: PUE, REF, CUE2 y WUE1.

Sección 5: Conclusión

- Actualizado el contenido de varios párrafos

Apéndice

- Sección actualizada sobre biodiversidad