



## La huella creciente de la digitalización

### Antecedentes

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publica los Informes Foresight con el fin de destacar aspectos críticos del cambio ambiental, exponer cuestiones científicas emergentes o tratar problemas ambientales contemporáneos. Estos informes ofrecen al público la oportunidad de conocer qué cambios están teniendo lugar en su entorno y las consecuencias de sus decisiones cotidianas, así como de reflexionar sobre la futura orientación de las políticas. La edición número 27 del Informe Foresight del PNUMA analiza el impacto ambiental que supone el uso de Internet y la creciente digitalización de la economía. En el informe se esbozan algunos de los factores mitigantes que se pueden poner en marcha para avanzar hacia un futuro digital más verde.

### Resumen

Desde 2010, se ha duplicado la cifra de usuarios de Internet en todo el mundo y el tráfico mundial en la red se ha multiplicado por 12. En ocasiones, a los servicios digitales de los que disfrutamos se les llama “tecnologías desmaterializadas”, pero ¿es así realmente? Los equipos informáticos, los servidores y otros dispositivos electrónicos requieren de grandes cantidades de recursos naturales. La energía necesaria para hacerlos funcionar emite grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y la obsolescencia programada y el bajo porcentaje de reciclaje generan residuos electrónicos. La inmensa mayoría de los datos almacenados en la nube no se utilizan. Sin negar los numerosos beneficios que nos ofrecen estas tecnologías, incluso para el medio ambiente, es importante que los usuarios, los proveedores de servicios y los encargados de la formulación de políticas entiendan cuáles son sus repercusiones y conozcan de qué forma podemos avanzar hacia unas tecnologías digitales más verdes.

### Introducción

Durante la última década, la importancia de Internet y de las tecnologías digitales conexas ha aumentado de manera exponencial tanto en nuestra vida personal como profesional. La “vida en la nube” —en la que nuestra música, fotos, películas, correos electrónicos, documentos y las redes sociales se encuentran almacenados en servidores ubicados a gran distancia y a los que se accede de forma inmediata con una computadora de sobremesa o portátil, o un teléfono celular desde cualquier rincón del planeta— se ha convertido en la nueva norma. Además, nuestras transacciones económicas, en la mayoría de los casos, se han digitalizado. Se calcula que, para finales de 2022, el 60% del producto interno bruto (PIB) será digital y el 70% del nuevo valor que se creará en la economía durante el próximo decenio se basará en plataformas digitales (Foro Económico Mundial, 2019).

Aunque la mitad de la población mundial sigue estando desconectada (Secretario General de las Naciones Unidas, 2020), en la actualidad hay 4.200 millones de usuarios de redes sociales. A día de hoy, 5.200 millones de personas usan el teléfono móvil, lo cual lo convierte en el dispositivo conectado a Internet más utilizado en todos los países (Kemp, 2021). Desde 2010, se ha duplicado la cifra de usuarios de Internet en todo el mundo y el tráfico mundial en la red se ha multiplicado por 12 (Agencia Internacional de la Energía [AIE], 2020). Más de la mitad de la población mundial (4.700 millones de personas) utilizó Internet en 2020; de ellas, más de un millón de personas se conectaron a Internet por primera vez cada día.

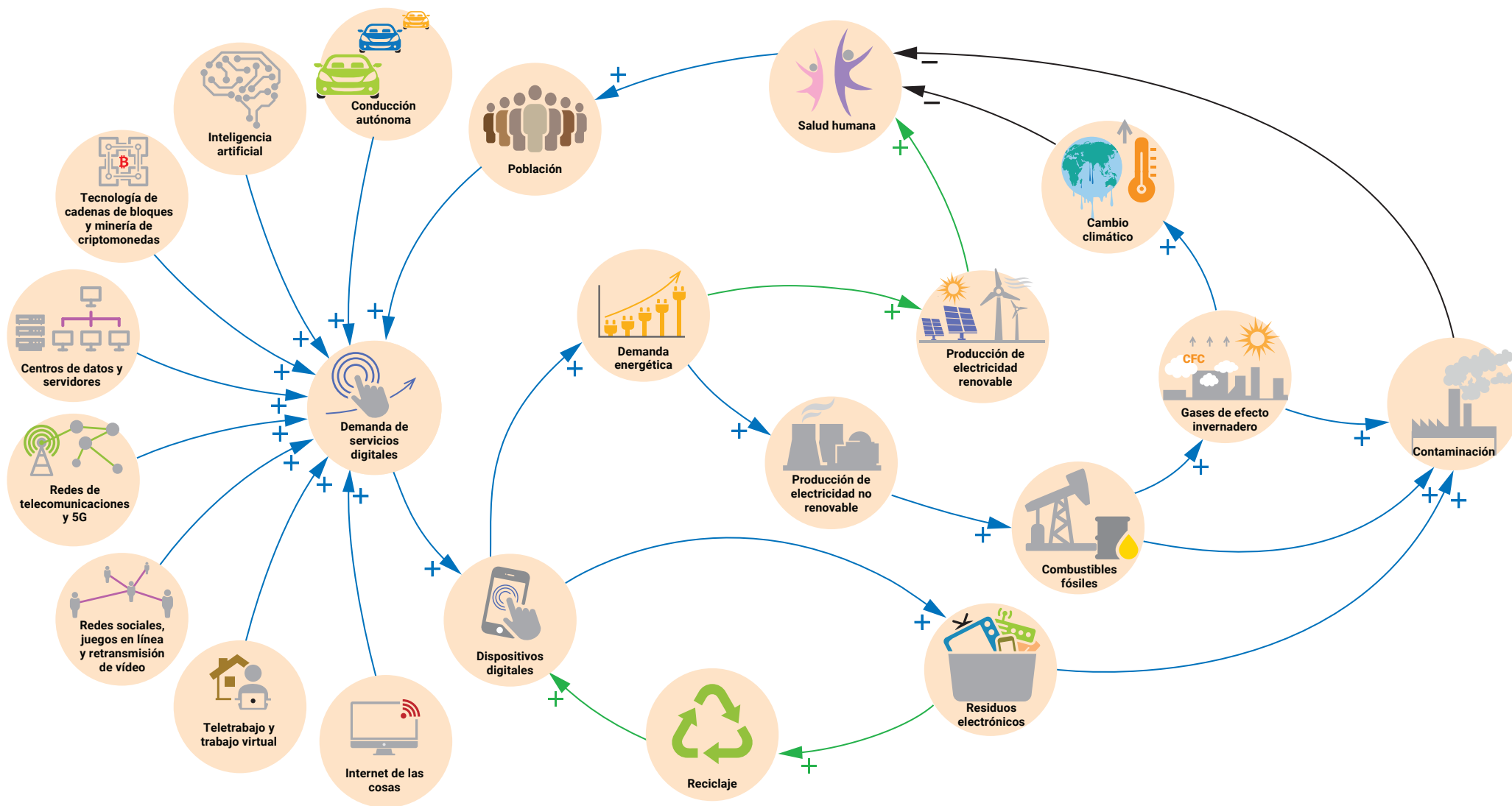
La crisis de la COVID-19 ha acelerado el avance de la transformación digital. Gran parte de nuestra resiliencia ante la COVID-19 se basó en las tecnologías digitales; en esa resiliencia también se incluye el desarrollo de vacunas, la elaboración de modelos sobre riesgos y el seguimiento de los contactos. Muchas empresas e instituciones educativas también se pasaron a un formato en línea; así, en los países más desarrollados, las conferencias web se convirtieron en la norma en el ámbito laboral y escolar, además de ser utilizadas para mantenerse en contacto con familiares y amigos.



Fotografía: Belen Desmaison

Cuando se observan los cortos períodos en los que se han implantado estos medios técnicos, los avances digitales que se han logrado resultan sorprendentes. Sin embargo, este hecho también tiene su contrapartida, puesto que la producción de **hardware** y la electricidad necesaria para alimentar esta explosión de Internet dejan una gran huella ambiental. La economía digital nos ofrece oportunidades para reducir nuestro impacto ambiental —por ejemplo, recurrir a las videoconferencias en lugar de volar hasta el lugar de celebración de un congreso—, además de muchos otros beneficios (ver PNUMA, 2019a; PNUMA, 2020). Por lo tanto, en este Informe Foresight se formula y se da respuesta a la siguiente pregunta: ¿de qué manera podemos empezar a avanzar hacia un futuro digital más verde?

Una perspectiva de pensamiento sistémico



La demanda de servicios digitales impulsa la producción y la oferta de dispositivos digitales, lo cual provoca un aumento de la demanda energética. El suministro de energía a partir de combustibles fósiles que contaminan y aumentan los gases de efecto invernadero empeorará el cambio climático y, a su vez, tendrá efectos adversos para la salud humana. Los dispositivos digitales, si se fabrican y utilizan mediante recursos procedentes de energías renovables y con componentes reciclables, como, por ejemplo, las baterías, ayudarán a mejorar la salud humana gracias a la reducción de la contaminación y del cambio climático. Este enfoque, a su vez, conduce a un refuerzo más sostenible de la demanda de servicios digitales. (+) La influencia va en la misma dirección, (-) la influencia va en la dirección contraria.

## ¿Por qué es importante este tema?

El tráfico en Internet ha crecido de forma exponencial; 2020 fue un año especial, puesto que el tráfico mundial en Internet aumentó en casi un 40% durante la primera oleada de la crisis de la COVID-19. Se trata de una tendencia que seguirá en aumento a medida que se estreche la brecha digital. Este crecimiento se vio impulsado por el teletrabajo; la brusca demanda de videoconferencias, videojuegos, emisiones de video en directo, y el uso de las redes sociales. Aunque resulta difícil de calcular, estos cambios redujeron la demanda de movilidad y sus correspondientes emisiones; sin embargo, ¿cuál fue la huella ambiental que dejó la tecnología por sí sola?

No resulta fácil dar con una respuesta rotunda, puesto que depende de muchos factores, como el modo de producción de la electricidad empleada para la fabricación y el uso del equipamiento digital, por ejemplo, mediante energía renovable o mediante centrales eléctricas de carbón. He aquí algunos promedios: la consulta de una búsqueda en Internet emite en torno a 1,45 gramos de CO<sub>2</sub> (Gröger, 2020). Con 50 consultas al día, una sola persona llega a generar 26 kg de CO<sub>2</sub>e (**dióxido de carbono equivalente**) al año. Si bien no parece una gran cantidad, debe multiplicarse por los miles de millones de personas que hacen búsquedas en Internet cada día. Con respecto a 2018, Google declaró una huella de carbono de 4,9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e y un consumo de energía eléctrica de 10 TWh<sup>1</sup> (Google, 2019), lo cual supone una cuarta parte del consumo de electricidad de Nueva Zelanda o de Hungría (AIE, 2021). A continuación, se enumeran algunos de los efectos de un uso tan alto de Internet y de la digitalización.

### Aumento de la demanda de energía

Si Internet fuese un país, sería el sexto mayor consumidor de electricidad del planeta, puesto que representa hasta el 7% del consumo mundial de electricidad (Andrae, 2020; eon, 2021) y es responsable de hasta el 3,8% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Bordage, 2019); es decir, una cifra superior a la del tráfico aéreo internacional, cuyo porcentaje de emisiones de GEI es del 2,5% (Lee et al., 2021).

*“ Si Internet fuese un país, sería el sexto mayor consumidor de electricidad del planeta...”*

Andrae, 2020; eon, 2021

En Alemania, por ejemplo, se calculó que los 400 grandes centros de datos y los más de 50.000 pequeños centros de datos consumieron por sí solos 14 TWh en 2018, lo cual supone el 2,7% del consumo total de electricidad de este país, aproximadamente la misma cantidad que consume la ciudad de Berlín (Hintermann, 2019). Todos los centros de datos, las redes y los dispositivos de Alemania juntos consumen 55 TWh: el equivalente a 10 centrales eléctricas de carbón de tamaño mediano (Klumpp, 2018; Statista, 2021). Se trata de un aumento de casi el 40% desde 2010 (Hintermann, 2019).

Aunque el ahorro de energía provocado por la mejora de la eficiencia ha aplanado la curva del consumo energético, las tendencias mundiales como el minado de criptomonedas, el uso de la nube, la inteligencia artificial, la realidad virtual y aumentada, la conducción autónoma, el “Internet de las cosas” y la aplicación prevista del 5G seguirán aumentando la demanda de energía.



Fotografía: Belen Desmaison

### Efectos de las cadenas de suministro de minerales y metales necesarios para los productos digitales y las tecnologías de la energía

Los bits y los bytes son invisibles a nuestros ojos, pero los motores que impulsan esta red oculta están elaborados a partir de materiales extraídos de la tierra. Este proceso de extracción, así como el proceso de producción destinado a convertir los minerales en teléfonos móviles, equipos informáticos y servidores, trae consigo su propia huella ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida. De forma similar, el número cada vez mayor de tecnologías de energías verdes que alimentan a las tecnologías digitales también cuenta con cadenas de suministro basadas en el uso extensivo de metales y de minerales poco frecuentes en la tierra.

En países que luchan contra la inestabilidad política, en los que la gobernanza del sector minero es débil, la extracción de estos minerales puede estar vinculada a la violencia, a conflictos, a abusos de los derechos humanos y a importantes daños para el medio ambiente. En muchos casos, las reservas mundiales de estos minerales fundamentales se encuentran precisamente en zonas que sufren fragilidad, conflictos y violencia. El cobalto, el grafito, el cobre y los minerales poco comunes despiertan una especial preocupación, puesto que los depósitos importantes se concentran en regiones vulnerables. Importantes reservas de 18 minerales clave se encuentran ubicadas en Estados que figuran en los **puestos más altos** del índice de percepción de la corrupción de 2017 (Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible [IISD], 2018).



Fotografía: Belen Desmaison

<sup>1</sup> TWh = 1.000.000.000.000 Wh





Fotografía: Shutterstock.com

### Aumento de los desechos electrónicos

La vida útil de nuestro *hardware* digital es relativamente corta: a menudo de solo unos pocos años. Los retos que supone la correcta recogida y, en el mejor de los casos, el reciclaje siguen siendo enormes.

En 2019, se alcanzó el récord de 53.600 toneladas métricas (Tm) de producción de desechos electrónicos, el peso equivalente a 125.000 aviones de pasajeros Boeing 747: más que el de todas las aeronaves comerciales jamás creadas. Esta cifra indica que los desechos electrónicos constituyen el torrente de residuos domésticos de más rápido crecimiento del mundo, impulsado fundamentalmente por mayores índices de consumo de equipos eléctricos y electrónicos, ciclos de vida cortos y pocas opciones para su reparación. Únicamente se ha documentado de manera oficial la recogida y el reciclaje del 17,4% de los desechos electrónicos. Solo 78 países cuentan con legislación en materia de desechos electrónicos (Forti *et al.*, 2020).

Puesto que menos del 20% de los desechos electrónicos se reciclan formalmente, el 80% restante termina en vertederos o se somete a un reciclaje informal: gran parte de este reciclaje se realiza a mano en países en desarrollo, en los que se expone a los trabajadores a sustancias peligrosas o cancerígenas como el mercurio, el plomo o el cadmio. Los desechos electrónicos que se tiran en vertederos contaminan el suelo y las aguas subterráneas, lo cual pone en peligro los sistemas de suministro de alimentos y las fuentes hídricas (Naciones Unidas, 2017; PNUMA, 2019b; Forti *et al.*, 2020). Estas sustancias peligrosas constituyen una amenaza para la salud humana, tanto mediante el contacto directo como a través de la contaminación del suelo y del agua. Tal situación afecta fundamentalmente a la población más pobre de los países menos adelantados y, por lo tanto, repercute de manera considerable en la sociedad y el medio ambiente.

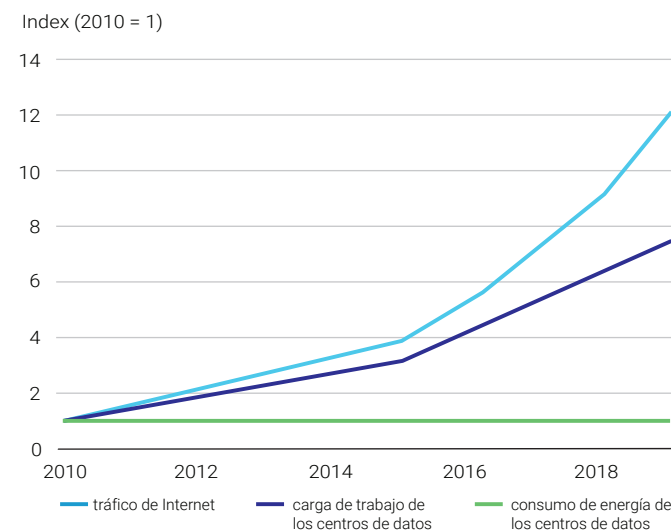
## ¿Cuáles son las principales conclusiones?

Dado que la digitalización y el consumo de servicios digitales están aumentando y se acelerarán en el futuro a medida que se cierre la brecha digital, es importante tener en cuenta el impacto que este proceso tiene en el medio ambiente.

- **Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>:** La buena noticia es que, gracias a los rápidos avances que se han producido en materia de eficiencia energética durante los últimos años, se ha limitado el crecimiento de la demanda de energía que requieren los centros de datos (**figura 1**) (AIE, 2017; Shehabi *et al.*, 2018; Masanet *et al.* 2020).

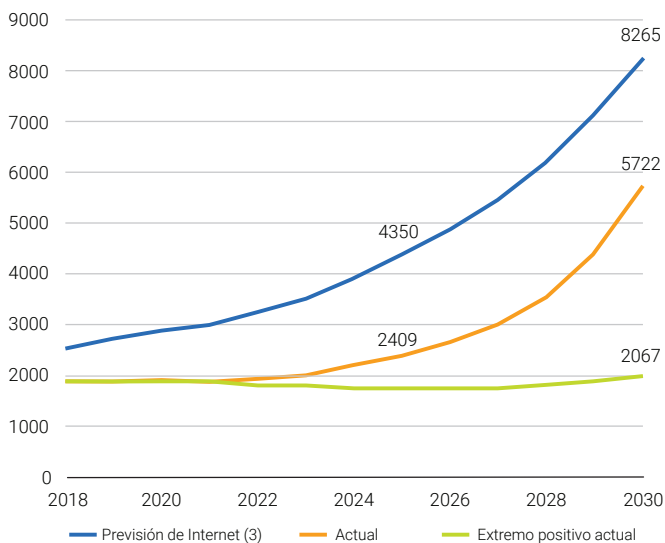
Sin embargo, el consumo total de energía y las emisiones de GEI relacionadas provenientes de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) aumentan de manera constante.

### Tendencias mundiales del tráfico en Internet, la carga de trabajo de los centros de datos y el consumo de energía de los centros de datos, 2010-2019



**Figura 1:** Tendencias mundiales del tráfico en Internet, la carga de trabajo de los centros de datos y el consumo de energía de los centros de datos, 2010-2019 (AIE, 2020)

**Consumo de electricidad de las TIC, 2018-2030 (TWh)**



**Figura 2:** Escenario de consumo de electricidad de las TIC. (Andrae, 2020)

- **Consumo de energía:** Aumentó de 700 TWh en 2010 a entre 1.500 y 3.000 TWh en 2020, y a 8.000 TWh si se incluye la energía gris que se necesita para fabricar el equipamiento (Bordage, 2019; Andrae, 2020).
- **Emisiones de GEI:** Estas emisiones aumentaron de 0,8 a 1,5-2 Gt de CO<sub>2</sub>e, sin contar con el proceso de fabricación, que puede incrementar esta cifra entre un 10% y un 40% (Malmodin y Lundén, 2018; Bordage, 2019; Bieser et al., 2020).

En los escenarios relativos al futuro consumo de energía de las TIC se observan importantes aumentos (figura 2): según las estimaciones realizadas entre los estudios más optimistas y más pesimistas, de aquí a 2030, la demanda de energía de la fase de uso podría crecer solo levemente hasta los 2.000 TWh, o bien superar los 8.000 TWh (Andrae y Edler, 2015; Belkhir y Elmeligí, 2018; Hintemann, 2018; Bordage, 2019; Efoui-Hess, 2019; Andrae, 2020; Bieser et al., 2020; Obringer et al., 2021).

- **Ahorro de emisiones:** La mejora de la eficiencia energética en la fase de uso ha sido importante durante los últimos años;

sin embargo, esta mejora ya no puede compensar el aumento continuado de, por ejemplo, el tamaño de las pantallas y las necesidades de energía de los consumidores finales de los productos: un ejemplo del clásico “efecto rebote”.

Desde una perspectiva integral de la huella ambiental, la reciente tendencia provocada por la COVID-19, consistente en el uso de videoconferencias y el teletrabajo, se puede considerar al menos parcialmente positiva en lo que a emisiones se refiere: aunque es demasiado pronto para contar con datos detallados, es posible que la crisis del coronavirus reduzca enormemente las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el transporte. El creciente consumo energético resultante de la mayor digitalización probablemente solo represente un porcentaje más pequeño de esta disminución en el consumo de energía (y en emisiones).

- **Videos:** Están disponibles en distintas plataformas y pueden verse sin necesidad de descargarlos (emisión en directo o streaming); representan hasta el 80% de la transferencia mundial de datos (Efoui-Hess, 2019). La mayor parte de estos



**Figura 3:** Cálculo de los datos que se crean en un minuto en Internet. (Statista, 2020)

*“Actualmente solo usamos el 6% de los datos que generamos. El 94% restante va a parar a lo que yo llamo el vertedero digital.”*

Antonio Neri, Director Ejecutivo de Hewlett Packard Enterprise, declaración realizada en el Foro Económico Mundial de Davos en 2020, citada por Lucy Ingham (2020).

videos no están relacionados con el trabajo, sino que tienen una finalidad lúdica. En un solo minuto se retransmiten cerca de 400 mil horas de películas en Netflix y se ven 4,5 millones de videos en YouTube (figura 3) (Lewis, 2019; Statista, 2020).

- **Centros de datos:** Constituyen la columna vertebral de Internet; en todo el mundo solo existen unos pocos miles de centros de datos de gran escala, los cuales acogen casi 67 millones de servidores (Bordage, 2019; Statistica, 2021). Consumen en torno a 400 y 500 TWh de electricidad, lo que supone unas emisiones de entre 200 y 250 Mt CO<sub>2</sub>e (cifra que incluye las emisiones de producción) (Bieser et al., 2020). En torno al 60% de las emisiones de GEI de los centros de datos se debe a los componentes informáticos, como servidores, sistemas de almacenamiento y redes. El 40% de las emisiones de GEI se debe a la infraestructura, sobre todo de refrigeración y aire acondicionado, así como de seguridad del suministro eléctrico. La cantidad de energía que se necesita para refrigerar estos sistemas es enorme. Aunque el calor que se produce en las granjas de servidores se podría emplear para calentar los hogares cercanos, por ejemplo, solo el 19% de los centros de datos mundiales reutilizan ese calor que han producido. La fase de uso es la responsable del 90% de las emisiones de GEI (Bieser et al., 2020).

Además, “en la nube” se almacenan cantidades enormes de datos conformados por informaciones antiguas y caducas. Según Antonio Neri, Director Ejecutivo de Hewlett Packard Enterprise, únicamente se utiliza el 6% de los datos generados; el 94% restante va a parar a lo que él denomina “vertederos de datos” (Ingham, 2020).





Fotografía: Shutterstock.com

- **Redes de telecomunicaciones:** Las redes, que conectan los terminales de usuarios entre sí y con los centros de datos, constan de unos 1.100 millones de enrutadores de fibra, 10 millones de relés para la comunicación móvil y 200 millones de "conectores" de Internet (Bordage, 2019). En 2020, el consumo de energía de las redes de telecomunicaciones fue de en torno a 200 y 500 TWh, y las emisiones de GEI ascendieron a entre 200 y 250 Tm de CO<sub>2</sub>e (incluida la producción de dispositivos). La fase de uso de las redes de telecomunicaciones es la responsable del 90% del total de las emisiones de GEI (Bieser et al, 2020).
- **Dispositivos finales:** El uso de equipos informáticos, portátiles, tabletas y teléfonos inteligentes suma entre 900 y 1.100 Tm de CO<sub>2</sub>e. La producción y el transporte de los dispositivos finales son responsables de más del 50% de sus emisiones de GEI, cifra que podría incrementarse (Bieser et al., 2020).
- **5G:** Dado que las frecuencias 5G solo pueden viajar distancias cortas, será necesario colocar torres de células pequeñas del tamaño de una maleta mediana con una separación de

250 metros. Cada una de esas células podría necesitar desde 200 a 1.000 vatios de potencia. Aunque el 5G necesita menos energía por cada GB transmitido en comparación con el 4G (GSMA, 2019; t3n, 2019), para su aplicación se requiere de una gran multiplicación de las antenas, lo cual aumenta la demanda de electricidad. Mediante el 4G, los dispositivos digitales se conectan simultáneamente a una pieza de la infraestructura (una torre de células), la cual transmite datos a la siguiente torre, y así sucesivamente. Con el 5G, los dispositivos y el equipamiento se comunican con múltiples torres y otras infraestructuras todos a la vez. Los centros de datos tradicionales no serán suficientes para lograr tal conectividad y latencia. Para reducir la latencia, se necesitarán muchos más centros de datos; una gran parte de estos "microcentros de datos" se encuentran ubicados justo en los bordes de la red (es decir, en la base de una torre de células), lo que podría aumentar el consumo total de la energía de la red entre un 150% y un 170% de aquí a 2026 (EEMFSA, 2019).

En un informe se observó que las redes de 5G de Francia podrían ser responsables de entre 3 y 7 mil millones de toneladas adicionales de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera, lo que supondría entre un 1% y un 2% de las emisiones actuales

(Francia, Haut Conseil pour le Climat, 2020). Además de las nuevas necesidades de las redes, en el mercado debe entrar una nueva generación de dispositivos móviles capaces de funcionar con 5G; a consecuencia de ello, los teléfonos móviles que se emplean en la actualidad, así como muchos otros dispositivos, quedarán obsoletos. La capacidad de las baterías se verá sumamente afectada por el 5G debido a la mayor demanda de potencia de cálculo.

- **Inteligencia Artificial (IA):** La IA se está introduciendo cada vez más en las sociedades humanas y se está empezando a utilizar en todo lo que nos rodea, desde el reconocimiento de voz en una sala de estar hasta las soluciones en la nube para aplicaciones de aprendizaje profundo utilizadas en infraestructuras esenciales. La IA podría aumentar el consumo de energía de los centros de datos. Investigadores del MIT han calculado que la capacitación de una sola aplicación de IA para el reconocimiento de voz genera cinco veces más CO<sub>2</sub> que un coche durante toda su vida útil (Hao, 2019; Strubell, Ganesh y McCallum, 2019).
- **Tecnología de cadenas de bloques:** Una sola operación de Bitcoin consume en torno a 660 kWh (Digiconomist, 2020), lo que equivale al funcionamiento de un frigorífico de 150 vatios durante ocho meses. Si Bitcoin fuese un país, habida cuenta de que consume entre 60 y 80 TWh, ocuparía la 38ª posición en



Fotografía: Shutterstock.com



consumo eléctrico, justo después de Bélgica y por encima de Austria. Con 37 millones de toneladas de emisiones de dióxido de carbono, Bitcoin se situaría entre Nueva Zelanda e Irlanda. (Kamiya, 2019; Digiconomist, 2020). El Irán decidió prohibir la producción de bitcoins, puesto que su producción causaba problemas de escasez de electricidad (Turak, 2021). Este importantísimo efecto se debe a la elección del método empleado para generar bitcoins. No todas las tecnologías de cadenas de bloques requieren de tanta energía. Las monedas digitales alternativas han elegido otras formas para generar sus monedas y demandan menos energía.

- **Conducción autónoma:** Aunque los vehículos autónomos aún se encuentran en una fase inicial de desarrollo, una mayor implantación de estos aumentaría enormemente las necesidades de ancho de banda de la comunicación móvil y de Internet. Se calcula que un vehículo autónomo genera entre 4 y 8 terabytes de datos al día y sube entre 25 y 250 gigabytes de datos por hora a la nube (Kallenbach, 2017; it-daily, 2021).



Fotografía: Shutterstock.com



Fotografía: Belen Desmaison

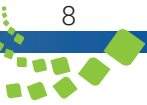
## ¿Qué se está haciendo al respecto?

La industria presta cada vez más atención a su propia huella digital y a la nuestra, y existe un interés creciente por encontrar soluciones sostenibles desde el punto de vista ambiental para la digitalización de todo el planeta:

- **Compromisos de cero emisiones netas:** Los principales operadores de la nube y de los centros de datos —como Amazon, Google y Microsoft—, así como proveedores nacionales y de menor tamaño, han adoptado objetivos de neutralidad climática con miras a alcanzarlos en 2030 o incluso antes (Stramski, 2020). Muchos ya han puesto en marcha medidas al respecto, como grandes inversiones en turbinas eólicas e instalaciones fotovoltaicas. Un gran número de empresas compensan sus emisiones de CO<sub>2</sub>, por ejemplo, invirtiendo en tecnologías de reducción del CO<sub>2</sub> o del metano o en proyectos de agricultura regenerativa y reforestación (Apple, 2020; RegenNetwork, 2021).
- **Reubicación de las grandes granjas de servidores:** Algunas empresas han trasladado todas sus granjas de servidores a zonas ricas en energías renovables, como Noruega.
- **Reutilización del calor:** Algunos centros de datos han puesto en marcha proyectos destinados a reutilizar el calor que se produce en el proceso de refrigeración y calentar así edificios cercanos (Börje, 2019).

- **Mejora de la eficiencia energética:** La eficiencia ha mejorado enormemente en todos los ámbitos de la tecnología. Los denominados centros de datos de "hiperescala"<sup>2</sup>, por ejemplo, han mejorado la eficiencia de forma considerable.
- **Iniciativas internacionales:** *Declaración de la Coalición Digital Verde Europea:* Los directores ejecutivos de 26 empresas han firmado una declaración en favor de una transformación verde y digital de la Unión Europea (UE). Los 27 países que integran la UE más 2 Estados miembros adicionales han firmado una declaración de la UE por la que se comprometen a liderar la transformación digital verde. *Digitalization for Sustainability – Science in Dialogue (D4S)* es un nuevo grupo de investigación europeo que se dedica a desarrollar una visión progresiva para una digitalización que promueva la sostenibilidad ambiental y social. Con este proyecto se pretende mejorar el discurso de las políticas científicas a través de un análisis integral de las oportunidades, los riesgos y las opciones de gobernanza con respecto a la digitalización y la sostenibilidad.

<sup>2</sup> Los hiperescaladores son redes de computación con las que se logra un escalado masivo en la esfera de la computación en la nube y los macrodatos. La infraestructura de los hiperescaladores está diseñada de forma que posibilita la escalabilidad horizontal. Gracias a ello, los hiperescaladores ofrecen un altísimo nivel de rendimiento y de producción, así como de redundancia.



## ¿Cuáles son las implicaciones para las políticas?

No cabe duda de que la digitalización ofrece muchas oportunidades para relacionar personas, proyectos e ideas entre sí. La tendencia es clara y la economía se está organizando en torno a estas nuevas tecnologías. Sin embargo, para impedir que la digitalización se convierta en un problema ambiental *per se*, los encargados de la formulación de políticas, las empresas, los proveedores de servicios y los usuarios pueden adoptar diferentes medidas e incentivos.

- **Producción de electricidad:** Acelerar la adopción, así como la divulgación, de la energía renovable por parte de las industrias de las TIC, incluidos los fabricantes y las granjas de servidores. Esta medida debería incluir la obtención de certificados de energía renovable.
- **Ecologización de la cadena de suministro de las TIC:** Mejorar la gobernanza de la cadena de suministro de las TIC, sobre todo con respecto a la extracción de minerales y metales poco frecuentes en el planeta, el reciclaje de los desechos electrónicos y la eliminación segura de los materiales tóxicos.
- **Vida útil:** Ampliar la vida útil de los servidores y de otros dispositivos mediante modelos de diseño evolutivo y de economía circular, a fin de permitir la mejora y la posibilidad de sustituir los principales componentes. Garantizar la reutilización o el pleno reciclaje cuando se retiran del servicio o se desmantelan.
- **Refrigeración:** Reducir el volumen de aire acondicionado necesario para las granjas de servidores y reutilizar el calor generado para otros fines.
- **Desechos digitales:** Alentar a los usuarios y las instituciones a eliminar el contenido de la nube que ya no utilizan o archivar información en dispositivos externos que se apagan cuando se almacenan a largo plazo.
- **5G:** Estudiar los beneficios frente a los efectos negativos de esta nueva tecnología, así como sus alternativas, tales como los cables de fibra de alta velocidad. Contemplar la posibilidad de instalar una sola red de antenas, que los diversos operadores podrían compartir para así reducir el número de antenas y, gracias a ello, la cantidad de *hardware* necesario, así como la exposición a radiaciones.

- **Comportamientos en Internet:** Para combatir el cambio climático y promover la sostenibilidad, es fundamental que muchas personas adopten a gran escala un comportamiento ambientalmente responsable en Internet. Pequeñas acciones como apagar el video durante una reunión virtual, reducir la calidad de los servicios de emisión en directo, disminuir el tiempo de juego, limitar el tiempo de uso de las redes sociales, enviar menos correos electrónicos (y sin enviar mensajes en copia innecesarios), borrar correos electrónicos y contenido innecesario de los servicios de almacenamiento en la nube o darse de baja de listas de correo electrónico pueden reducir considerablemente la huella ambiental que supone el uso de Internet.
- **Criptomonedas:** Debe evaluarse el marco de las tecnologías de las criptomonedas. Se necesitan normativas y políticas con las que guiar el tipo de tecnologías que se utilizan y las necesidades energéticas asociadas.
- **Pasaportes de productos digitales:** En la UE se está trabajando actualmente en el concepto de "pasaporte de producto" digital. Ofrecerá información digital sobre el origen, la durabilidad, la composición, la huella ambiental y de carbono, la reutilización, la reparación y las posibilidades de desmontaje de un producto, así como su tratamiento al final de su vida útil. Distintos aspectos del pasaporte del producto estarían a disposición de las empresas, los gobiernos y los consumidores.
- **Adquisición pública de TIC verdes:** Cuando los gobiernos y las organizaciones internacionales adquieran infraestructuras de TIC para mejorar sus servicios o cerrar la brecha digital, deberían seguir las mejores prácticas en materia de TIC verdes.



Fotografía: Belen Desmaison

## Conclusiones

El creciente potencial de Internet y de las herramientas digitales trae consigo tanto beneficios como desafíos. En el lado positivo, pueden reducir la necesidad de viajar; pueden disminuir el costo de la supervisión y del intercambio de datos e información; permiten la interoperabilidad y, por lo tanto, la comunicación entre servidores; ofrecen datos casi en tiempo real para mejorar nuestras decisiones o para avanzar hacia ciudades inteligentes y mejorar así el uso de las energías renovables cuando estas se producen, y permiten que nos comuniquemos fácilmente con amigos y familiares por todo el mundo. En el futuro cercano, nos ofrecerán enfoques novedosos y soluciones a muchas cuestiones socioecológicas urgentes.

En el lado negativo, en cambio, la huella ambiental de las infraestructuras digitales presenta amenazas graves para nuestro planeta y las futuras generaciones. La demanda de metales preciosos o poco frecuentes para la producción de las infraestructuras y el alto consumo de energía para hacerlas funcionar constituyen retos importantes si queremos que la digitalización nos ayude a combatir el cambio climático y a reducir nuestra huella ambiental en el planeta.

Hay oportunidades que aprovechar y muchas compañías sí invierten en ecologizar sus empresas. Se necesitan más esfuerzos, sobre todo, para llegar a un 100% de energía renovable, optimizar los sistemas de refrigeración de los centros de datos y reutilizar el calor producido y los materiales empleados. Los consumidores deben adaptar su comportamiento en Internet para reducir así su huella digital: ver menos videos en alta resolución y pasar menos tiempo en Internet, aumentar la limpieza del correo electrónico y reducir el almacenamiento de fotos y correos electrónicos en la nube.



## Agradecimientos

## Autores

Stefan Schwarzer, Pascal Peduzzi, PNUMA/Base de Datos sobre Recursos Mundiales (GRID)-Ginebra y Universidad de Ginebra

## Revisores externos

Anna Dyson (Centro de Ecosistemas en la Arquitectura de la Universidad de Yale), Lambert Hogenhout, Oficina de Tecnología de la Información y las Comunicaciones de las Naciones Unidas (OTIC)

## Revisores del PNUMA

Angeline Djampou, Virginia Gitari, Samuel Opiyo, David Jensen, Saiful Ridwan, Ray Goh, Pooja Munshi

## Equipo de los Informes Foresight del PNUMA

Alexandre Caldas, Sandor Frigiyik, Audrey Ringler, Esther Katu, Erick Litswa, Pascal Muchesia

## Descarga de responsabilidad

Las designaciones utilizadas y las presentaciones no implican la expresión de ningún tipo de opinión por parte del PNUMA ni de los organismos colaboradores con relación a la condición jurídica de ningún país, territorio, ciudad o área, o de sus autoridades, ni con respecto a la delimitación de sus fronteras o límites.

© Mapas, fotografías e ilustraciones según se especifica.

## Contacto

unep-foresight@un.org

## Bibliografía

Administración de Información Energética de los Estados Unidos de América (2021). Administración de Información Energética de los Estados Unidos de América (EIA). Disponible en: <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption> (Consultado el 19 de abril de 2021).

Agencia Internacional de la Energía (2017). "Digitalization and Energy". AIE. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Agencia Internacional de la Energía (2020). "Data Centres and Data Transmission Networks – Analysis", AIE. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks> (Consultado el 27 de enero de 2021).

Agencia Internacional de la Energía (2020). "Data Centres and Data Transmission Networks – Analysis", AIE. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks> (Consultado el 10 de agosto de 2021).

Andrae, A.S.G. (2020). "New perspectives on internet electricity use in 2030", pág. 14. <https://pirst.org/psrpress/j/easi/2020/2/3/new-perspectives-on-internet-electricity-use-in-2030.pdf>.

Andrae, A. y Edler, T. (2015). "On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030". Challenges 6(1), págs. 117 a 157. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>.

Apple (2020). "Apple commits to be 100 percent carbon neutral for its supply chain and products by 2030". Apple Newsroom, 21 de julio. Disponible en: <https://www.apple.com/newsroom/2020/07/apple-commits-to-be-100-percent-carbon-neutral-for-its-supply-chain-and-products-by-2030/> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Belkhir, L. y Elmelig, A. (2018). "Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations". Journal of Cleaner Production, 177, págs. 448 a 463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>.

Bieser, J., Saliere, B., Hischer, R. y Hilty, R. (2020). "Next Generation Mobile Networks: Problem or Opportunity for Climate Protection?" Zürich: Universidad de Zürich.

Bieser, J. et al. (2020). "Climate protection through digital technologies". Bitkom e.V.

Bordage, F. (2019). "The Environmental Footprint of the Digital World". GreenIT.fr. pág. 39. [https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT\\_EENM\\_etude\\_EN\\_accessible.pdf](https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT_EENM_etude_EN_accessible.pdf).

Börje, J. (2019). "Three new data centers with heat recovery in Stockholm Data Parks". Stockholm Data Parks, 12 de noviembre. Disponible en: <https://stockholmdataparks.com/2019/11/12/three-new-data-centers-with-heat-recovery-in-stockholm-data-parks/> (Consultado el 10 de marzo de 2021).

Digicomist (2020). Bitcoin Energy Consumption Index. Disponible en: <https://digicomist.net/bitcoin-energy-consumption/> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Efour-Hess, M. (2019). "Climate crisis: the unsustainable use of online video: the practical case for digital sobriety". The Shift Project. Disponible en: <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/07/2019-02.pdf>.

EMFSA (2019). "5G – Energy Consumption, Carbon Footprint, Climate Change: Environmental Impact". EMFSA. Disponible en: <https://www.emfsa.co.za/news/5g-energy-consumption-carbon-footprint-climate-change-environmental-impact/> (Consultado el 27 de enero de 2021).

eon (2021). "Green Internet: Solutions for the future of data centres | E.ON". Disponible en: <https://www.eon.com/en/about-us/green-internet.html> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Forti, V., Balde, C., Kuehr, R. y Bel, G. (2020).

France, Haut Conseil pour le Climat (2020). "Maitriser l'impact carbone de la 5G". [https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/12/haut-conseil-pour-le-climat\\_rapport-5g.pdf](https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/12/haut-conseil-pour-le-climat_rapport-5g.pdf).

Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. UNU, UNITAR, ITU, ISWA.

Google (2019). "Google Environmental Report 2019". Google. Disponible en: <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2019-environmental-report.pdf>.

Gröger, J. (2020). "The carbon footprint of our digital lifestyles", Oeko-Institut. Disponible en: <https://blog.oeko.de/digitaler-co2-fussabdruck/> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

GSMA (2019). "Energy Efficiency: An Overview". Future Networks. Disponible en: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/energy-efficiency-2/> (Consultado el 19 de abril de 2021).

Hao, K. (2019). "Training a single AI model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes: Deep learning has a terrible carbon footprint". MIT Technology Review, 6 de junio. Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2019/06/06/239031/training-a-single-ai-model-can-emit-as-much-carbon-as-five-cars-in-their-lifetimes/> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Hintemann, R. (2018) (2020) ?. "Efficiency Gains are Not Enough: Data Center Energy Consumption Continues to Rise Significantly". Borderstep Inst. für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH. [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/04/Borderstep-Datacenter-2018\\_en.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/04/Borderstep-Datacenter-2018_en.pdf)

Hintemann, R. (2019). "Energiebedarf der Rechenzentren steigt deutlich an", Borderstep Institut. Disponible en: <https://www.borderstep.de/energiebedarf-der-rechenzentren-steigt-deutlich-an/> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Ingham, L. (2020). "HPE CEO: Mining the 'data landfill' is key to solving the digital divide". Verdict, 24 de enero. Disponible en: <https://www.verdict.co.uk/hpe-ceo-data-landfill/> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

International Institute for Sustainable Development (2018). State of Sustainability Initiatives Review: Standards and the Extractive Economy. Disponible en: <https://www.deslibris.ca/ID/10097867> (Consultado el 9 de agosto de 2021).

it-daily (2021). "Fachartikel über Digitale Transformation", it-daily.net. Disponible en: <https://www.it-daily.net/it-management/digitalisierung/27200-ki-baendigt-datenmengen-fuer-automatisiertes-fahren> (Consultado el 3 de marzo de 2021).

Kallenbach, C. (2017). "Datentreiber Connected Car: Das Auto - Dein Freund und Helfer". Disponible en: <https://www.computerwoche.de/a/das-auto-dein-freund-und-helfer,3329638> (Consultado el 3 de marzo de 2021).

Kamiya, G. (2019). "Bitcoin Energy Use - Mined the Gap". Agencia Internacional de la Energía. Disponible en: <https://www.iea.org/commentaries/bitcoin-energy-use-mined-the-gap> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Kemp, S. (2021). "Digital 2021: the latest insights into the 'state of digital'". We Are Social USA. Disponible en: <https://wearesocial.com/us/blog/2021/01/digital-2021-the-latest-insights-into-the-state-of-digital> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Klumpp, D. (2018). "Energiefresser Internet - Die Ökobilanz eines Mausclicks", swr.online. Disponible en: <https://www.swr.de/odyssey/oekobilanz-des-internets/-/id=13831216/did=21791748/nid=13831216/a6ozwj/index.html> (Consultado el 9 de marzo de 2021).

Lee, D.S., Fahey, D.W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q. et al. (2021). "The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018", Atmospheric Environment, 244, pág. 117834. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>.

Lewis, L. (2019). "What Happens in an Internet Minute in 2019?", Visual Capitalist, 13 de marzo. Disponible en: <https://www.visualcapitalist.com/what-happens-in-an-internet-minute-in-2019/> (Consultado el 11 de agosto de 2021).

Malmudin, J. y Lundén, D. (2018). "The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015", Sustainability, 10(9), pág. 3027. <https://doi.org/10.3390/su10093027>.

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N. y Koomey, J. (2020). "Recalibrating global data center energy-use estimates". Science 367(6481), pág 4. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba3758>.

Naciones Unidas (2017). "United Nations System-wide Response to Tackling E-waste". PNUMA

Orbinger, R., Rachunok, B., Maia-Silva, D., Arbazadeh, M., Nateghi, R. y Madani, K. (2021). "The overlooked environmental footprint of increasing Internet use". Resources, Conservation and Recycling 167, 105389. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105389>.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2019a). "Building a digital ecosystem for the planet". Informe Foresight 014, septiembre de 2019. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30612/Foresight014.pdf>.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2019b). "Nuevo reporte: es hora de apostar por la economía circular para la basura electrónica", ONU Medio Ambiente. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-reportajes/comunicado-de-prensa/nuevo-reporte-es-hora-de-apostar-por-la-economia> (Consultado el 27 de enero de 2021).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2020). "La tecnología de cadenas de bloques y la sostenibilidad ambiental". Informe Foresight 019, octubre de 2020. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34226/FB019\\_SP.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34226/FB019_SP.pdf?sequence=4&isAllowed=y).

RegenNetwork (2021). "Regen Network Announces Historic Carbon Credit Sale in Australia". Medium. Disponible en: <https://medium.com/regen-network/regen-network-announces-historic-carbon-credit-sale-in-australia-b76dfadacc095> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Shehabi, A., Smith, S.J., Masanet, E. y Koomey, J. (2018). "Data center growth in the United States: decoupling the demand for services from electricity use". Environmental Research Letters, 13(12), pág. 124030. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac9c>.

Statista (2020). "Infographic: A Minute on the Internet in 2020", Statista Infographics. Disponible en: <https://www.statista.com/chart/17518/data-created-in-an-internet-minute/> (Consultado el 9 de agosto de 2021).

Statista (2021). "Data centers worldwide by country 2021", Statista. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/> (Consultado el 19 de mayo de 2021).

Stramski, W. (2020). "Climate Neutral Data Centre Pact: The Green Deal Needs Green Infrastructure". Disponible en: <https://www.climateutraldatacentre.net/> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

Strubell, E., Ganesh, A. y McCallum, A. (2019). "Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP". arXiv:1906.02243 [cs] [Preprint]. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1906.02243> (Consultado el 15 de marzo de 2021).

t3n (2019). "Studie: 5G-Rechenzentren verbrauchen deutlich mehr Strom", t3n Magazin. Disponible en: <https://t3n.de/news/studie-5g-rechenzentren-deutlich-1232548/> (Consultado el 27 de enero de 2021).

Turak, N. (2021). "Iran bans bitcoin mining as its cities suffer blackouts and power shortages". CNBC. Disponible en: <https://www.cnbc.com/2021/05/26/iran-bans-bitcoin-mining-as-its-cities-suffer-blackouts.html> (Consultado el 2 de noviembre de 2021).