

Tecnologías emergentes: Riesgos y oportunidades en la década del clima

A programme of



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
DE ASUNTOS ECONÓMICOS
Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL

SECRETARÍA DE ESTADO
DE DIGITALIZACIÓN
E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

red.es



MOBILE
WORLD CAPITAL™
BARCELONA

Sobre Digital Future Society

Digital Future Society es una iniciativa transnacional sin ánimo de lucro que conecta a responsables políticos, organizaciones cívicas, expertos académicos y empresarios para explorar, experimentar y explicar cómo las tecnologías se pueden diseñar, usar y gobernar, a fin de crear las condiciones adecuadas para una sociedad más inclusiva y equitativa.

Nuestro objetivo es ayudar a los responsables políticos a identificar, comprender y priorizar los desafíos y las oportunidades fundamentales, ahora y en los próximos diez años, en relación con temas clave que incluyen la innovación pública, la confianza digital y el crecimiento equitativo.

Para más información visite digitalfuturesociety.com

Un programa de



SECRETARÍA DE ESTADO
DE DIGITALIZACIÓN
E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

red.es



Permiso para compartir

Esta publicación está protegida por la licencia internacional [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0).

Publicado

Junio del 2020.

Aviso legal

La información y las opiniones expuestas en este informe no reflejan necesariamente la opinión oficial de Mobile World Capital Foundation. La Fundación no garantiza la exactitud de los datos incluidos en este informe. Ni la Fundación ni ninguna persona que actúe en nombre de la Fundación será considerada responsable del uso que pueda darse a la información que contiene.

Nota a la versión en español

Este informe ha sido escrito en inglés y traducido al español. Digital Future Society apoya el uso de conceptos técnicos en español y se esfuerza por encontrar una traducción precisa, siempre que sea posible, sin comprometer por ello el significado original del contenido.

Contenidos

Resumen ejecutivo	4
Glosario	6
1. Donde confluyen el clima y las tecnologías emergentes	8
¿Por qué abordamos este tema ahora?	9
Objetivo y alcance	15
¿De qué tecnologías emergentes y qué consecuencias hablamos?	16
2. La humanidad está traspasando los límites del planeta	19
Cómo afectan al medioambiente las tecnologías emergentes	20
3. El auge de los dispositivos digitales	28
Un maremoto de residuos electrónicos y consumo energético	29
Reto del futuro inmediato: adaptación al cambio climático con IoT	35
4. Redes ICT: las superautopistas de los datos	36
Efectos medioambientales de las redes ICT	37
5G: la red (móvil) de redes	39
Reto del futuro inmediato: streaming de vídeos y videojuegos	43
5. Centros de datos y redes empresariales: los cerebros de Internet	44
El consumo de energía de los centros de datos	45
Cómo generan residuos electrónicos los centros de datos	50
Reto del futuro inmediato: centros de datos neutros en carbono	52
6. Cómo pueden beneficiar al medioambiente las tecnologías emergentes	54
Las tecnologías exponenciales y la ley del carbono	59
Digitalización para cerrar el círculo	59
7. Conclusiones y recomendaciones	61
Hacia un futuro digital más ecológico	62
Recomendaciones para los responsables de la formulación de políticas y la toma de decisiones	63
Referencias	71
Agradecimientos	85

Resumen ejecutivo

El mundo está experimentando una profunda transformación, moldeada por fuertes tendencias que están afectando a nuestro presente y determinando nuestro futuro.

Una de esas tendencias, la digitalización, se está desarrollando mucho más rápido que ninguna otra.

Actualmente, más de la mitad de la población mundial utiliza Internet.¹ Al mismo tiempo, en el mundo hay casi 840 millones de personas sin acceso a la electricidad, unos 26,5 millones de personas han tenido que emigrar en la última década debido a desastres naturales —intensificados por el cambio climático y la degradación del medioambiente— y, por primera vez en la historia, en un solo año se han incorporado a la economía mundial más de 100 000 millones de toneladas de materiales (incluyendo minerales, combustibles fósiles y biomasa).^{2,3}

Para hacer frente a estos retos, diversos Gobiernos, empresas, grupos de investigación y otras organizaciones están investigando cómo pueden ayudar los avances tecnológicos a superar esta situación de emergencia climática y medioambiental. Se está prestando especial atención a las tecnologías emergentes, por su potencial de cambiar radicalmente las economías, las sociedades y la biosfera. Sin embargo, la creciente adopción de estas tecnologías también tiene un coste medioambiental: agrava el cambio climático y fuerza a la humanidad a desarrollarse más allá de los límites del planeta.

El objetivo de este informe es demostrar que, si se actúa de la manera adecuada, el sector de las tecnologías emergentes puede subsanar la mayoría de sus efectos negativos sobre el clima y el medioambiente, y no solo eso: también puede proporcionar herramientas clave para combatir la crisis climática y la emergencia medioambiental. Con las condiciones adecuadas, las tecnologías emergentes pueden tener un impacto positivo en 103 de las 169 metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU; contribuir significativamente al proceso de transición global hacia un modelo de economía circular, y reducir las emisiones de carbono hasta 10 veces más que las que producen en un año esas mismas tecnologías.⁴

Para ello, este informe recopila pruebas y resultados de más de 200 fuentes, como entrevistas con expertos en clima y tecnología; análisis de informes de investigación, artículos y publicaciones del sector, y medios de comunicación. Analiza cómo afectan las tecnologías emergentes a la degradación medioambiental, los residuos electrónicos, el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Y demuestra los beneficios de la digitalización para crear empresas que hagan un uso más eficiente de los recursos, lograr economías desmaterializadas y neutras en carbono, conseguir ciclos de materiales más circulares y ayudar a superar los retos más importantes en materia de biodiversidad y conservación.

En la última sección de este informe, se proponen una serie de recomendaciones para aquellas personas que están en posición de cambiar los procesos: responsables de formular políticas y tomar decisiones clave pertenecientes a los sectores público y privado, las organizaciones del tercer sector y el mundo académico. Se explica cómo aprovechar el potencial de las tecnologías emergentes para dar fuerza a las acciones que pueden cambiar el clima y el medioambiente a todos los niveles.

Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C, o incluso a 2 °C, es necesaria una intención de cambio exponencial, no lineal. La revolución digital puede ayudar a reorientar sectores enteros de esta manera, y abrir paso a nuevas economías neutras en carbono, circulares y regenerativas.

Para satisfacer las necesidades de todos sin sobrepasar los límites de nuestro planeta, debemos replantearnos el vínculo entre el mundo físico y el digital.⁵

¹ Unión Internacional de Telecomunicaciones 2018

³ Observatorio de Desplazamiento Interno 2020

⁵ Raworth 2017

² Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas 2019

⁴ Global Enabling Sustainability Initiative 2015

Glosario

Análisis del ciclo de vida (ACV)

Técnica para evaluar los efectos medioambientales asociados a todas las etapas de la vida de un producto o servicio, desde la extracción de la materia prima hasta el procesamiento de los materiales, la fabricación, la distribución, el uso y el fin de la vida útil.

Centro de datos

Edificio, espacio de un edificio o grupo de edificios que se utiliza para albergar sistemas informáticos y sus componentes, y que suelen utilizar las empresas y organizaciones para almacenar, procesar o distribuir a distancia grandes cantidades de datos.

Centro de datos de hiperescala (o hiperescala empresarial)

Instalación que pertenece a la empresa a la que presta servicio y está controlada por ella (por ejemplo, una compañía como Amazon, Microsoft, Google o Apple). El término “hiperescala” hace referencia a la capacidad de adaptar el tamaño de la arquitectura informática a medida que crece la demanda. Suele referirse a la ampliación de la capacidad de computación, la memoria, la infraestructura de redes y los recursos de almacenamiento.

Crisis climática

Término que describe el calentamiento global y el cambio climático, y sus consecuencias. Este término se utiliza para describir la amenaza que representa el calentamiento global para el planeta y exigir medidas drásticas contra el cambio climático. El renombrado periódico británico *The Guardian*

reemplazó el término “cambio climático” por “emergencia climática” o “crisis climática” en su guía de estilo en octubre del 2019, para reflejar la urgencia de estas medidas.⁶

Curva medioambiental de Kuznets

Una hipótesis que describe la relación entre la degradación del medioambiente y el nivel de renta. También se ha utilizado para describir la relación entre las TIC y el medioambiente. Según esta hipótesis, dicha relación adopta la forma de una U invertida, de modo que el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) crecen lentamente mientras el uso de las TIC es bajo, pero se aceleran rápidamente cuando se invierte en grandes equipos de TIC. Sin embargo, una vez instalados los equipos de TIC, se pueden utilizar para optimizar los procesos de producción y distribución, así como para aumentar la eficiencia energética, con lo que se reducen el consumo de energía y las emisiones de GEI.

Economía circular

A diferencia del modelo lineal de “obtener-producir-desechar”, la economía circular está diseñada para ser regenerativa y pretende desvincular gradualmente la actividad económica del consumo de recursos finitos, así como diseñar los sistemas de manera que no generen residuos. El modelo circular se apoya en la transición a fuentes de energía renovables para generar capital económico, natural y social. Se basa en tres principios: eliminar los residuos y la contaminación, mantener en uso los productos y los materiales, y regenerar los sistemas naturales.⁷

⁶Ellen MacArthur Foundation 2020

⁷Zeldin-O'Neill 2020

Efectos rebote (paradoja de Jevons)

La idea de que el aumento de la eficiencia energética conduce a un mayor consumo de energía. Aunque disminuya el consumo energético a microescala (es decir, el de un individuo), el consumo total de energía a macroescala (el de las sociedades) se incrementa debido a que muchos individuos aumentan su uso. Los efectos rebote pueden evolucionar hasta dar lugar a la *paradoja de Jevons*, que se produce cuando el efecto rebote es superior al 100 %, con lo que supera la ganancia de eficiencia inicial. Un claro ejemplo de la paradoja de Jevons es el del papel en las oficinas. En las décadas pasadas ha quedado demostrado, en contra de lo que cabría esperar, que las TIC no han evitado el uso de papel en las oficinas. De hecho, el consumo real de papel se ha multiplicado desde que existen los programas de edición y maquetación. El consumo de papel en Estados Unidos se quintuplicó entre 1960 y 1997.⁸

Eficiencia del uso de la energía (PUE, del inglés *Power Usage Effectiveness*)

Parámetro que mide el nivel de eficiencia energética total de un centro de datos. Representa la energía total consumida por el centro de datos dividida entre la energía suministrada a los equipos informáticos únicamente. Un valor de PUE de 1 representaría un uso óptimo de la energía; cuanto más alto es el valor, peor es la eficiencia energética. El PUE típico de un centro de datos promedio es de alrededor de 1,8.

Emergencia climática

Situación en la que se requieren medidas urgentes para reducir o detener el cambio climático y evitar los daños medioambientales que conlleva, potencialmente irreversibles. Hasta junio del 2020, han declarado el estado de emergencia climática 1501 jurisdicciones de 30 países, lo que representa a más de 820 millones de ciudadanos de todo el mundo.⁹

Habilitación (efecto)

Cualquier mecanismo que, al usarse, ayuda a evitar las emisiones de carbono. Un ejemplo de mecanismo de habilitación es la banca online, ya que evita que los clientes tengan que desplazarse hasta una sucursal.

Huella ambiental (o huella ecológica)

El efecto que tiene una persona, empresa, actividad, etc., sobre el medioambiente. Mide la demanda de recursos naturales en relación con la capacidad de la Tierra de restaurar o regenerar los recursos consumidos.

Huella de carbono

La cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas directa e indirectamente por un individuo, evento, organización o producto. Normalmente se expresa en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e). Las normas que regulan la huella de carbono suelen clasificar las emisiones de GEI en tres tipos o "alcances". Las emisiones de alcance 1 provienen de fuentes propias o controladas directamente, como los generadores diésel o los vehículos de una flota. Las de alcance 2 son las emisiones indirectas derivadas de generar la energía comprada. Y las de alcance 3 son todas las emisiones indirectas no incluidas en el alcance 2; provienen de fuentes que no están bajo el control ni la propiedad de esa entidad, como las emisiones relacionadas con el uso del transporte público, los vuelos o el transporte marítimo.

Internet de las cosas (IoT) y máquina a máquina (M2M)

IoT es la interconexión mediante Internet de dispositivos informáticos incorporados en objetos cotidianos, que les permite enviar y recibir datos. Las aplicaciones M2M son parte del IoT. M2M describe cualquier tecnología que permite a los dispositivos conectados en red intercambiar información y realizar acciones sin la ayuda manual de un ser humano.

⁸ Climate Emergency Declaration 2020

⁹ Halaweh 2013

Ley de Moore

Observación de que el número de transistores que contiene un circuito integrado denso se duplica cada dos años, aproximadamente. Desde mediados de la década de 1960, la potencia de los chips informáticos se ha duplicado cada 18–24 meses, mientras que el precio se ha reducido a la mitad. Por ejemplo, los primeros circuitos integrados, en los años sesenta, tenían unos 10 transistores, mientras que los chips de silicio más complejos de la actualidad tienen 10 000 millones.

Obsolescencia programada

El acto calculado de asegurarse de que la versión actual de un producto quede obsoleta o inservible en un plazo determinado. Por ejemplo, en diciembre del 2017, Apple pidió disculpas a sus clientes por ralentizar deliberadamente el rendimiento de los modelos antiguos de iPhone sin el conocimiento ni el consentimiento de los usuarios.¹⁰

Red de telecomunicación

También llamada *red ICT* o *red de distribución*, es un sistema de transmisión que permite enviar información por medios analógicos o digitales entre varios sitios, a través de señales electromagnéticas u ópticas. La información puede consistir en datos de audio, de vídeo o de otros tipos. Las redes de telecomunicación se basan en infraestructuras cableadas o inalámbricas. Algunos ejemplos de redes de telecomunicación son las redes de telefonía fija, las móviles, las de televisión por cable e Internet.

Residuos electrónicos

Nombre informal para referirse a los productos electrónicos que se desechan al finalizar su “vida útil”. Ordenadores, teléfonos móviles, televisiones, equipos estéreo, fotocopiadoras o máquinas de fax son algunos ejemplos habituales de productos electrónicos, y muchos de ellos se pueden reutilizar, reacondicionar o reciclar.

Tecnologías de la información y la comunicación (TIC)

Conjunto diverso de herramientas y recursos que se usan para transmitir, almacenar, crear, compartir o intercambiar información. Incluye los ordenadores, servidores y centros de datos, Internet y las tecnologías web, las tecnologías de difusión de grabaciones y contenidos en directo (radio, televisión, emisión web, podcasts, dispositivos de almacenamiento y reproductores de audio y vídeo) y la telefonía (fija o móvil, por satélite y por videoconferencia).

Tecnologías de vanguardia

Un tipo de tecnologías emergentes. En este informe, al hablar de las tecnologías emergentes, nos referiremos principalmente a este subconjunto de tecnologías. De acuerdo con la OCDE, las tecnologías de vanguardia son aquellas “que redefinirán la industria y las comunicaciones, y proporcionarán las soluciones que necesitamos con tanta urgencia para enfrentarnos a desafíos globales como el cambio climático [...], además de tener el potencial de reemplazar procesos existentes”¹¹.

¹⁰ Wilkinson 2019

¹¹ Greenfield 2017

¹² Plepys 2002

Tecnologías emergentes

Tecnologías con varios años de desarrollo por delante, pero que pueden cambiar radicalmente el comercio, la industria o la sociedad.¹² En este informe, el término *tecnologías emergentes* hace referencia a las TIC en el ámbito digital. Esto incluye, entre otros, el almacenamiento distribuido de datos y de la nube, las redes neuronales, la informática cognitiva (análisis avanzados, aprendizaje automático, inteligencia artificial), la realidad digital (realidad aumentada, realidad virtual, realidad mixta), la simulación de modelos, los videojuegos, la informática perimetral, la computación cuántica, la (nueva) Internet, las redes de datos fijas y móviles (5G), la robótica de última generación, el Internet de las cosas, los centros de procesamiento de datos y las tecnologías de registro distribuido (*blockchain*).

Utilización (tasa)

La medida en que se utiliza, en total, una infraestructura o un dispositivo, como los servidores de un centro de datos o una estación base de telecomunicaciones. Se suele indicar como porcentaje.



Donde confluyen el clima y las tecnologías emergentes

¿Por qué abordamos este tema ahora?

El mundo está sufriendo una transformación sin precedentes y cada vez más rápida. La trayectoria y el ritmo de esta transformación están determinados por una confluencia de fuerzas increíblemente poderosas. Existen cinco megatendencias que están definiendo las prioridades de nuestra sociedad, de acuerdo con la inversora Blackrock y la consultora PwC: la rápida urbanización, el cambio social y demográfico, la riqueza global emergente (o los cambios en el poder económico mundial), el cambio climático y la escasez de recursos, y los avances tecnológicos.^{13, 14} Estas megatendencias están redefiniendo la forma en que funciona el mundo y cómo será el futuro.

Este informe analiza la confluencia de dos de estas megatendencias: los avances tecnológicos y las tecnologías emergentes, claves para resolver o acelerar cada una de las cinco megatendencias, y el cambio climático y la escasez de recursos, que están poniendo en peligro el futuro de la humanidad.

Pese a la distribución desigual del acceso, el uso y el impacto de la digitalización en el mundo, la globalización y la omnipresencia de la tecnología han fomentado la adopción de nuevas tecnologías revolucionarias, como los vehículos eléctricos, el comercio electrónico, los paneles solares, la robótica, el *blockchain*, la informática en la nube, el streaming y las redes eléctricas inteligentes. Juntas, están desencadenando una ola de cambios drásticos en todos los sectores y economías, al tiempo que generan vulnerabilidades que desafían a nuestra sociedad y el planeta como nunca antes.

Por primera vez en la historia, cinco problemas medioambientales han encabezado la lista de riesgos a largo plazo en la 15.^a edición del Informe de Riesgos Globales que publica cada año el Foro Económico Mundial, con el fracaso de la acción climática como el epicentro de todos los riesgos.¹⁵ El motivo es que la sociedad está llegando más allá del “espacio operativo seguro para la humanidad”, o lo que se ha denominado “los límites del planeta”.¹⁶

Las tecnologías emergentes representan un arma de doble filo en lo que se refiere a la crisis climática y medioambiental que atraviesa el planeta. Estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la demanda y la eficiencia energéticas, optimizar la movilidad y los flujos de transporte, y contribuir a cerrar el ciclo de los materiales. También pueden reducir la demanda de materias primas y ayudar a las comunidades a mejorar su resiliencia y capacidad de adaptación a través de iniciativas como el diseño de sistemas de detección temprana, la adaptación de los sistemas agroalimentarios y la instalación de sistemas de monitorización y protección para la infraestructura.

Un informe publicado en el 2019 por Global Enabling Sustainability Initiative (GeSI) y Deloitte indica que las tecnologías emergentes pueden tener un impacto positivo en 103 de las 169 metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas antes del 2030.¹⁷

¹³ PwC 2016

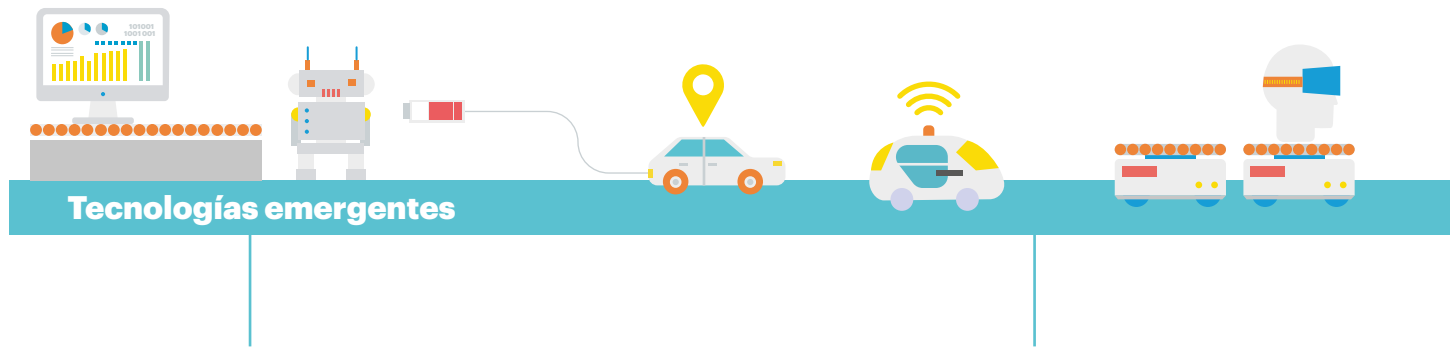
¹⁴ Blackrock 2019

¹⁵ Foro Económico Mundial 2020

¹⁶ Rockström et al. 2009

¹⁷ Global Enabling Sustainability Initiative 2019

Ejemplos de efectos positivos de las tecnologías emergentes para los ODS



La economía digital está ayudando a muchas personas de renta baja a acceder por primera vez a servicios financieros, un paso crucial para salir de la pobreza.



La digitalización puede dar más voz a las mujeres en su entorno, en su Gobierno y en todo el mundo, además de ofrecer nuevas oportunidades para empoderarlas económicamente.



Las TIC ayudan a los agricultores a aumentar el rendimiento de los cultivos y su productividad comercial, al mejorar el acceso a datos del mercado, previsiones meteorológicas y programas de formación.



Las TIC son fundamentales para una gestión del agua inteligente, ya que ayudan a medir y controlar el suministro de agua y a ampliar los servicios de agua, saneamiento e higiene de forma equitativa y sostenible.



El *big data* puede ayudar a observar situaciones, analizar tendencias y crear proyecciones de brotes de enfermedades, uso de servicios sanitarios y conocimientos, actitudes y prácticas de los pacientes.



Las redes eléctricas inteligentes, los edificios inteligentes y los procesos logísticos e industriales inteligentes están ayudando a transformar el mundo para un futuro más sostenible y un consumo energético más eficiente.



Con los dispositivos móviles, los estudiantes pueden acceder a recursos educativos en cualquier momento y lugar, lo que ayuda a eliminar barreras económicas, brechas de género y diferencias entre el ámbito rural y el urbano.



Las competencias digitales ya son un requisito para casi todos los tipos de empleo y están transformando el comercio en todo el mundo, además de crear oportunidades laborales.

Figura 1. Cómo las tecnologías emergentes pueden influir de forma positiva en los ODS.

Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: UIT (2020).



La infraestructura digital es la columna vertebral de nuestra economía digital. El 5G será una infraestructura esencial en el siglo XXI, por su capacidad para mejorar la industria y la innovación.



Las imágenes de satélite son cruciales para conocer el estado de la Tierra, compartir información climática, hacer previsiones y usar sistemas de alerta temprana para adaptarnos mejor a las consecuencias del cambio climático.



La conectividad permite a los refugiados y a otras personas desplazadas dentro de su país contactar con sus familiares, decirles que están bien e informarse sobre la situación en su lugar de origen.



El *big data* permite analizar tendencias a corto y a largo plazo en términos de biodiversidad, contaminación y evolución de los ecosistemas, y planear medidas de mitigación.



Las tecnologías emergentes ofrecen formas más eficaces e integrales de gestionar las ciudades, con edificios inteligentes, gestión de residuos inteligente, transporte inteligente, etc.



Las imágenes de satélite proporcionan datos precisos y actualizados sobre la biodiversidad de todo el planeta, y los sensores de IoT pueden informar de los cambios terrestres de un lugar en tiempo real.



Las tecnologías emergentes contribuyen a la desmaterialización y la virtualización, además de otros usos innovadores que ayudan a la producción y el consumo sostenibles.



Los Gobiernos usan cada vez más datos abiertos, lo que mejora la transparencia, empodera a los ciudadanos y es importante para la gestión de crisis, la ayuda humanitaria y la consolidación de la paz.



Las TIC aceleran el crecimiento económico, la inclusión social y la sostenibilidad medioambiental, y proporcionan medios de implementación innovadores y eficaces para el mundo interconectado en el que vivimos.

En el 2015, GeSI estimó también que hasta el 2030 se podrían evitar hasta 12 gigatoneladas de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante el uso de soluciones de TIC, una cantidad casi 10 veces superior a la huella de carbono de las TIC prevista para ese año.¹⁸ El informe *Exponential Roadmap* (Hoja de ruta exponencial) afirma que las tecnologías digitales podrían ayudar a reducir las emisiones mundiales de carbono hasta un 15 % mediante soluciones relacionadas con la energía, la fabricación, la agricultura y el uso de la tierra, los edificios, los servicios, el transporte y la gestión del tráfico.¹⁹ Por su parte, el informe *The Frontiers of Impact Tech* (Las fronteras de la tecnología de impacto) analiza exhaustivamente los efectos de más de 180 tendencias tecnológicas de gran influencia y su contribución a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con cientos de ejemplos de cómo las tecnologías emergentes pueden abordar algunos de los problemas mundiales más difíciles de resolver.²⁰

Sin embargo, el impacto ambiental de las tecnologías emergentes es abrumador. Se estima que el consumo actual de energía del sector de las TIC en todo el mundo (incluidos el entretenimiento y los medios de comunicación) se sitúa entre el 5 % y el 9 % del consumo eléctrico total de nuestro planeta, con una huella de carbono equivalente al 2 %, aproximadamente, de todas las emisiones de GEI (incluyendo tanto el consumo de electricidad de los equipos y redes en funcionamiento como las emisiones de los niveles superiores e inferiores de todo el sector).^{21, 22, 23, 24} Es casi el equivalente a las emisiones derivadas del consumo de combustible del transporte aéreo civil.²⁵ Una inmensa parte de esta huella de carbono se debe a los centros de datos, los servicios en la nube y la conectividad.²⁶ En Europa, según varios estudios recientes, se estima que el sector de las TIC representa el 10 % de la cantidad total de electricidad que se consume actualmente en la Unión Europea pre-Brexit y es responsable del 4 % de sus emisiones de GEI.²⁷

Abordar los desafíos climáticos y medioambientales a los que se enfrenta nuestro planeta supone un esfuerzo colosal. Son desafíos complejos, y requieren medir y minimizar el impacto climático de las tecnologías emergentes: tanto su consumo energético como las emisiones de GEI y el volumen de residuos electrónicos que generan. Lograr que el consumo de datos sea más sostenible e implantar métodos responsables y éticos para extraer materiales y fabricar tecnología es otro reto muy complejo. Existen oportunidades de mejora: por ejemplo, que el sector privado fomente modelos empresariales con neutralidad en carbono (o incluso positivos para el clima, como los recientes compromisos asumidos por Microsoft²⁸ y Stripe²⁹) y de economía circular que incorporen al diseño de productos y servicios el enfoque ecoeficiente “de la cuna a la cuna”. En el sector público, hay numerosas oportunidades para abrir camino diseñando y adoptando marcos reguladores, e incentivando prácticas sostenibles.

¹⁸ Global Enabling Sustainability Initiative 2015

¹⁹ Falk et al. 2019

²⁰ Tincq et al. 2019

²¹ Comisión Europea 2020

²² Global Enabling Sustainability Initiative 2015

²³ Ferreboeuf et al. 2019

²⁴ Belkhir y Elmeligi 2018

²⁵ Asociación Internacional del Transporte Aéreo 2018

²⁶ Comisión Europea 2020

²⁷ Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León, Fundación San Valero y Ayuntamiento de Logroño 2016

²⁸ Smith 2020

²⁹ Anderson 2019

Objetivo y alcance

El objetivo de este informe es identificar los riesgos y oportunidades que pueden presentar las tecnologías emergentes en la lucha contra el cambio climático y en la consecución de los ODS. Para ello, este informe persigue dos fines principales:

- Identificar y explicar, con ejemplos concretos, hasta qué punto las tecnologías emergentes y el sector de las TIC están causando perjuicios medioambientales que llevan a la sociedad más allá de los límites de nuestro planeta.
- Identificar cómo las tecnologías emergentes pueden no solo contrarrestar esos perjuicios, sino también convertirse en una herramienta fundamental para abordar el cambio climático y los desafíos medioambientales globales.

Para elevar las expectativas climáticas y medioambientales, y promover la adopción de medidas a todos los niveles, el informe se dirige a dos tipos de público:

- **Responsables de formulación de políticas y reglamentos:** responsables políticos, funcionarios y trabajadores públicos de todos los niveles de gobierno (local, regional, nacional e internacional), investigadores y miembros de instituciones académicas que quieran aprovechar el potencial de las tecnologías emergentes en la lucha contra la emergencia climática y medioambiental. El sector público promueve el diseño y la adopción de marcos normativos, invierte en innovación con objetivos específicos y lidera la creación de entornos favorables para incentivar el consumo y la producción sostenibles.
- **Líderes en tecnologías emergentes:** ejecutivos del sector privado, líderes del sector de las TIC, pymes, organizaciones de la sociedad civil y otros agentes del sector privado preocupados por el impacto social de la transformación digital. El sector privado es un actor clave a la hora de desarrollar una infraestructura de TIC neutra o negativa en carbono y soluciones que contribuyan a alcanzar los compromisos mundiales en materia de cambio climático y los ODS.

¿De qué tecnologías emergentes y qué consecuencias hablamos?

La OCDE elaboró una lista con las 40 tecnologías emergentes más comunes (figura 2).³⁰ Se organizan en cuatro cuadrantes que representan grandes áreas tecnológicas: biotecnología, materiales avanzados, tecnologías digitales y energía y medioambiente.

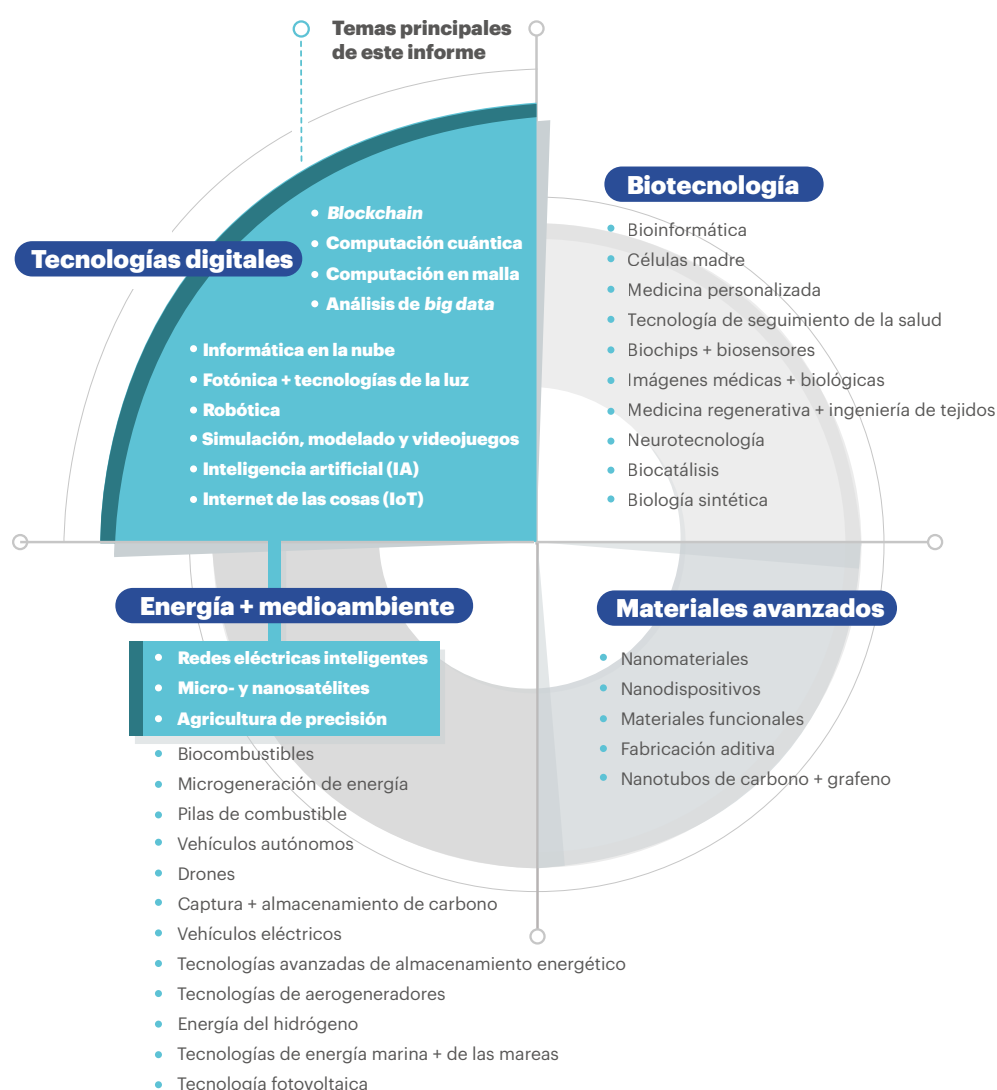


Figura 2. Tecnologías emergentes para el futuro y alcance de este informe. Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: adaptación de OECD Science, Technology and Innovation Outlook (2016).

³⁰ OECD Science, Technology and Innovation Outlook

Este informe se centra en el área de las tecnologías digitales (figura 3). Hay tecnologías que se relacionan con otras áreas y se utilizan de forma combinada (por ejemplo, los sensores digitales o los satélites suelen ir asociados a análisis de *big data*), por lo que algunas tecnologías clasificadas en el cuadrante de “energía y medioambiente” también están incluidas en este informe.

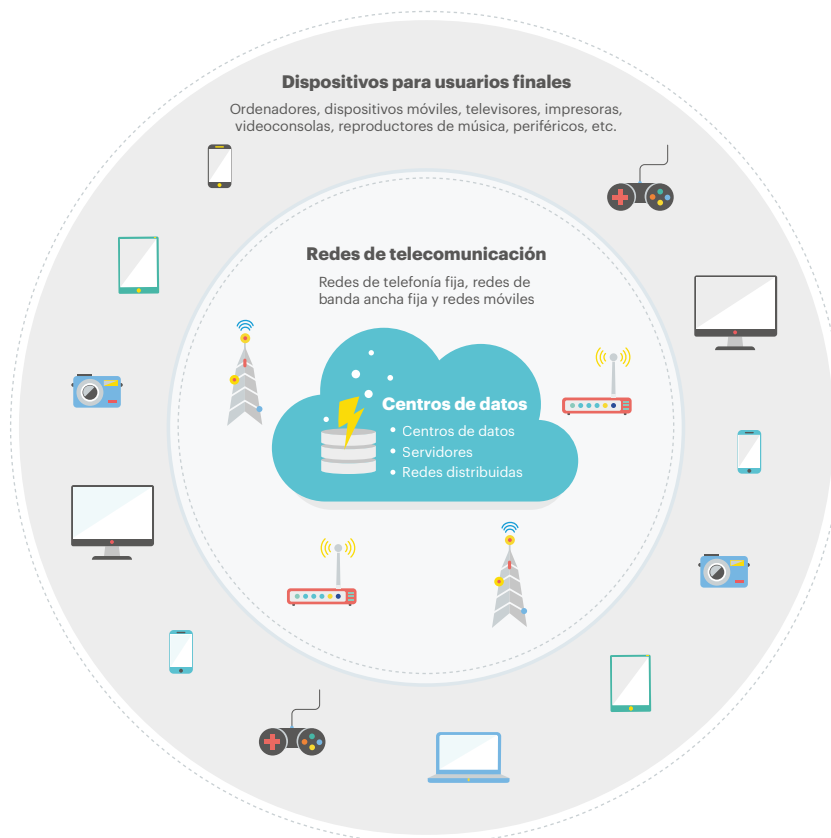


Figura 3. Alcance del análisis de este informe. Fuente de la imagen: Digital Future Society.

Dentro de este ecosistema de tecnologías emergentes, el informe analiza las soluciones de las TIC (productos y servicios) que pertenecen a las siguientes categorías generales:

- Dispositivos electrónicos para usuarios finales
- Redes de telecomunicación/ICT
- Centros de datos

No obstante, estos componentes solo representan la mitad del paisaje. La omnipresencia y el uso de las tecnologías emergentes están desencadenando efectos medioambientales tanto positivos como negativos, y en este informe analizaremos ambos. Las TIC y las tecnologías emergentes pueden generar tres tipos de consecuencias para el medioambiente:³¹

- Los **efectos directos** son exclusivamente negativos y se derivan de la fabricación de productos de TIC (por ejemplo, hardware como ordenadores, teléfonos móviles, pantallas, impresoras o cables de red), su uso y su eliminación al final de la vida útil.
- Los **efectos indirectos** son positivos en su mayoría y están relacionados con la desmaterialización (por ejemplo, pasar de la prensa en papel a los medios digitales o de los discos compactos a los servicios de música en streaming). Los efectos indirectos también pueden ser el resultado de procesos de producción más eficientes (por ejemplo, el diseño asistido por ordenador, la agilización de la fabricación o un control mejorado de los procesos de producción).
- Los **efectos estructurales o del comportamiento** pueden ser positivos o negativos y provienen de cambios en la estructura y la forma de hacer las cosas (por ejemplo, la transición de las economías industriales a economías de servicios, el crecimiento de las “industrias ligeras” o el consumo ecológico), incluidos los efectos rebote (como el crecimiento de los viajes de larga distancia), que se observan a menudo en los sectores del transporte y la energía.³²

2

La humanidad está traspasando los límites del planeta

En el año 2009, un grupo de 28 científicos de todo el mundo definió un “espacio operativo seguro para el planeta” determinado por nueve límites del planeta, dentro de los cuales la humanidad puede seguir prosperando y desarrollándose: el cambio climático, las nuevas entidades, la pérdida de ozono estratosférico, la carga de aerosoles en la atmósfera, la acidificación de los océanos, los flujos biogeoquímicos, el uso de agua dulce, el cambio del sistema terrestre y la integridad de la biosfera. En el informe se analizaron las condiciones del planeta que la humanidad debe respetar y mantener para evitar cambios catastróficos en el medioambiente.³³

Traspassar uno o más límites del planeta puede tener consecuencias letales, porque conlleva un mayor riesgo de generar cambios medioambientales abruptos o irreversibles a muy gran escala que afecten a los sistemas continentales y planetarios. El informe concluyó que ya se han traspasado tres de esos límites del planeta —el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la interferencia en el ciclo del nitrógeno— y nos estamos acercando a gran velocidad a los límites del uso de agua dulce, los cambios en el uso de la tierra, la acidificación de los océanos y la interferencia en el ciclo global del fósforo.

En el 2018, otro informe publicado por el mismo grupo de científicos advirtió que, aunque los países logren cumplir sus objetivos de carbono, el mundo podría encontrarse en una trayectoria irreversible.³⁴ El estudio señalaba que, si se alcanzaba un aumento medio de la temperatura mundial de entre 3 y 4 °C, se obtendría una temperatura media mundial mucho más elevada que la de ningún periodo interglacial de los últimos 1,2 millones de años y un nivel del mar considerablemente más alto que en ningún otro momento de la era del Holoceno.³⁵

Con los compromisos de carbono actuales, el mundo se dirige ya hacia un aumento de 3 °C antes del año 2100. Este cambio climático descontrolado puede provocar la destrucción de los ecosistemas: los de los mares tropicales pueden exponerse a incrementos de temperatura catastróficos ya desde el 2030, y los bosques tropicales pueden enfrentarse a la misma situación en el 2050.³⁶

Cómo afectan al medioambiente las tecnologías emergentes

Nuestro modelo económico está acelerando la destrucción medioambiental. La economía global funcionaba de un modo prácticamente circular hasta hace un par de siglos. No fue hasta la Primera Revolución Industrial cuando se desencadenaron en todo el mundo dos fuerzas paralelas: la aceleración de la extracción de recursos y la de la demanda de los

³³ Rockström et al. 2009

³⁵ Ibid.

³⁴ Steffen et al.

³⁶ Trisos et al.

Puntos críticos de impacto socioambiental de las tecnologías digitales en el mundo

Silicon Valley (Estados Unidos)

Algunas empresas tecnológicas han admitido acortar deliberadamente la vida útil de sus dispositivos. Han presionado para que no se legisle a favor de facilitar la reparación de los productos.

Condado de Loudoun (Estados Unidos)

Alberga más de 3500 empresas tecnológicas y la mayor concentración de centros de datos de todo el mundo. La mayoría se alimenta de combustibles fósiles.

Presidente Figueiredo (Brasil)

La mina Pitinga, el mayor depósito de casiterita (estaño) sin desarrollar del mundo, es un caso histórico de injusticia contra los pueblos indígenas y el medioambiente.

Cauchari Olaroz (Argentina)

Con 46 proyectos de extracción, Argentina es el 4.º productor de litio del planeta. Pero preocupa su falta de atención a los derechos humanos y los problemas medioambientales.

Agbogbloshie (Ghana)

Uno de los vertederos de residuos electrónicos más grandes del planeta, donde cada año se procesan millones de toneladas en condiciones inadecuadas y nocivas para la salud.

Lagos (Nigeria)

Se calcula que cada mes llegan a Nigeria 500 contenedores de residuos electrónicos. Se vierten en tres lugares de Lagos: Olusosun, Igodun e Ikorodu.

Figura 4. Puntos críticos de impacto socioambiental de las tecnologías digitales en el mundo.
Fuente de la imagen: Digital Future Society.

Unión Europea (UE)

La UE es el segundo mayor productor de residuos electrónicos del mundo. Se recicla formalmente casi el 40 %, pero hay exportaciones ilegales a países en desarrollo.

Seelampur (India)

En el mayor mercado de desmontaje de residuos electrónicos de India trabajan 50 000 personas. Procesan desechos tóxicos y peligrosos de forma manual, algunos por solo 4 dólares diarios.

Taiyuán (China)

Los residentes están expuestos a gases tóxicos emitidos por la planta de Foxconn, fabricante de marcas internacionales como Apple, Intel, Amazon y Sony.

Mongolia Interior (China)

Alberga la mayor mina de carbón a cielo abierto de China y el mayor centro de datos del mundo. Una de las principales regiones de minería de bitcoins, alimentada principalmente por carbón.

Guiyu (China)

Desde hace mucho tiempo, se considera el mayor centro de reciclaje de residuos electrónicos del mundo, con más de 5000 pequeñas empresas familiares dedicadas a este oficio.

Isla de Borneo (Indonesia)

La extracción ilegal de oro (destinado a productos electrónicos) está muy extendida en esta región, una de las más contaminadas de la Tierra.

Montañas Virunga (Ruanda)

Tierra de gorilas donde la extracción ilegal de diversos minerales para productos electrónicos es una de las principales amenazas para estas montañas y sus habitantes.

Kolwezi (República Democrática del Congo)

Tántalo, tungsteno y estaño (los llamados 3TGs), muy utilizados en productos electrónicos, siguen extrayéndose con trabajo infantil y forzoso en la R. D. del Congo.

Bangka Belitung (Indonesia)

Bangka Belitung representa un tercio del suministro mundial de estaño. Su extracción se está expandiendo a bosques protegidos, ecosistemas marinos y áreas residenciales.

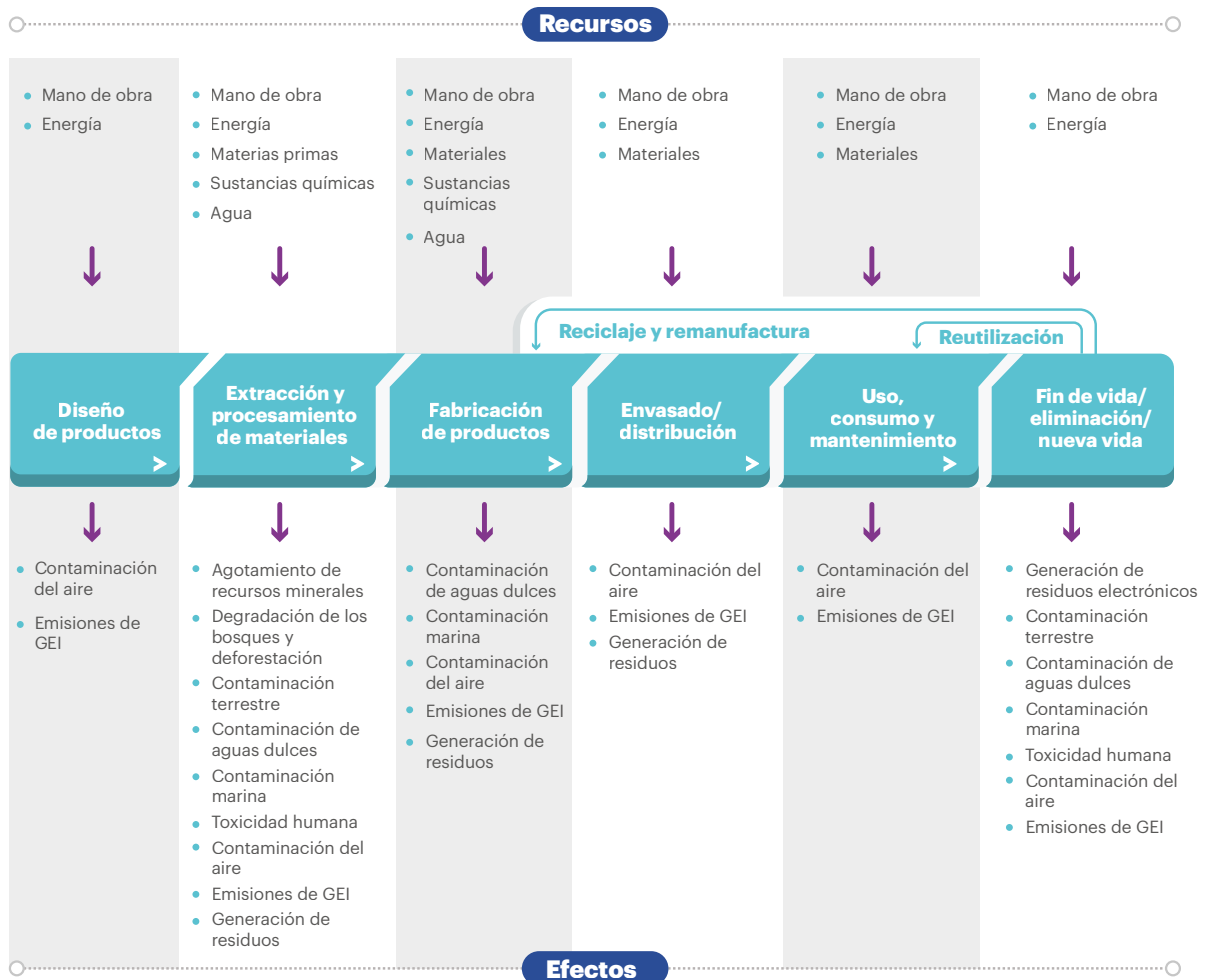


Figura 5. Efectos medioambientales de las soluciones de TIC a lo largo de su vida. Fuente de la imagen: Digital Future Society.

consumidores, lo que impulsó el nuevo modelo lineal de “obtener-producir-desechar”. El siglo XX, tras la Segunda y la Tercera Revolución Industrial, vio nacer la producción en masa, la electricidad y la electrónica, las nuevas TIC, los sistemas de automatización e Internet. Estos desarrollos consolidaron el modelo de economía lineal y lo aceleraron, integrándolo profundamente en nuestra sociedad.

La linealidad también predomina en el sector electrónico; esto significa que las tecnologías emergentes también están llevando a la humanidad más allá de los límites del planeta. La producción de un dispositivo digital (por ejemplo, un dispositivo con tecnología de IA) provoca efectos medioambientales a lo largo de toda su cadena de valor, desde el primer paso de su fabricación hasta su destrucción (figura 6). Además, varios estudios y trabajos de investigación sobre las consecuencias de las TIC para el medioambiente destacan el aumento significativo del consumo de energía y la inmensa huella de carbono que conllevan el desarrollo y el uso de tecnologías emergentes. Las soluciones de TIC y las tecnologías emergentes pueden causar hasta 13 tipos de efectos medioambientales directos a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción y el procesamiento de las materias primas hasta el final de la vida útil y la eliminación de los dispositivos, como se muestra en la figura 5 y se desglosa en las siguientes secciones.³⁷

³⁷ Arushanyan 2016

Entran recursos, salen residuos

En el 2017, por primera vez en la historia, se incorporaron a la economía mundial en un solo año más de 100 000 millones de toneladas de materiales (incluyendo minerales, combustibles fósiles y biomasa).³⁸ De ellos, 5600 millones de toneladas se utilizaron únicamente en el sector de las comunicaciones (desde dispositivos móviles hasta centros de datos).

Las materias primas que emplean las marcas de electrónica en sus productos no siempre se obtienen de manera responsable. A pesar de los recientes esfuerzos de la industria, la extracción de estas materias primas (generalmente minerales) suele ir acompañada de graves vulneraciones de los derechos humanos y laborales, así como de abusos medioambientales (figura 4).^{39, 40, 41}

En el 2017 se recogieron como residuos 32 600 millones de toneladas de materiales. De ellos solo se reciclaron 8650 millones de toneladas, lo que supone el 8,6 % del total del material utilizado.⁴² La diferencia entre la cantidad de residuos que se han perdido (vertidos, incinerados y desperdiciados en operaciones mineras, más una estimación de los residuos no registrados) y los residuos que se han reciclado se denomina *brecha de circularidad*.

El sector de las TIC no es una excepción a esta brecha. En el 2016, el mundo generó 44,7 millones de toneladas de residuos electrónicos, lo que equivale a 6,1 kg por persona, de los que solo el 20 % se recicló a través de los canales adecuados. Se prevé que la cantidad de residuos electrónicos alcance los 52,2 millones de toneladas, o 6,8 kg por persona, en el 2021.⁴³

El microchip de 1,7 kg

Los microchips tienen grandes repercusiones para el medioambiente. Aunque los resultados ya están obsoletos, un estudio realizado en el 2002 por la IT and Environment Initiative (Iniciativa de Informática y Medioambiente), dentro del Programa de medio ambiente y desarrollo sostenible de la Universidad de las Naciones Unidas, reveló que en ese año se necesitaron 1,2 kg de combustibles fósiles y 72 gramos de productos químicos para fabricar un chip de memoria de 32 MB que pesa solamente 2 gramos.⁴⁴ Además, fueron necesarios 400 gramos de combustibles fósiles para generar la electricidad que se consumió durante el periodo de utilización, con lo que la cantidad total fue de casi 1,7 kg de combustibles fósiles y productos químicos. Este cálculo no incluye los 32 kg de agua necesarios para elaborar cada chip.

³⁸ Circular Economy 2020

³⁹ Comisión Europea 2017

⁴⁰ Temper y Martínez Alier 2020

⁴¹ Good Electronics 2020

⁴² Circular Economy 2020

⁴³ Baldé et al. 2017

⁴⁴ Williams et al. 2002. El estudio fue corroborado en el 2010 por Duque, Gutowski y Garetta.

Entra energía, salen emisiones

El sector digital se está convirtiendo rápidamente en una de las industrias con mayor consumo energético de la economía mundial. Según diversas fuentes, se estima que el sector de las TIC consume entre el 5 % y el 9 % del total de la electricidad mundial y que se asocia a una huella de carbono de entre el 1,4 % y el 4 % de las emisiones mundiales de GEI; la cifra más probable según la mayoría de los estudios es del 2 %.^{45, 46, 47, 48}

En el 2010, el 33 % del consumo mundial de energía de las TIC se produjo en los centros de datos; el 28 %, en las redes de comunicación, y el 39 %, en los dispositivos de los usuarios finales (ordenadores de sobremesa, pantallas, ordenadores portátiles y móviles).⁴⁹ Para el 2020, se estimaba que estas cifras serían del 45 %, 24 % y 31 %, respectivamente.

Con el auge de la informática en la nube, la inteligencia artificial (IA), el 5G y el Internet de las cosas (IoT), la mayoría de las estimaciones del consumo energético y la huella de carbono relacionados con las TIC auguran un crecimiento constante de cara al futuro. Este asunto no está exento de controversia, ya que los pronósticos apuntan a dos tendencias opuestas.

Algunos informes indican que de aquí al 2030, el consumo de electricidad de los centros de datos se multiplicará por 15 aproximadamente, hasta alcanzar el 8 % de la demanda mundial de electricidad estimada.⁵⁰ En este sentido, los estudios sugieren que, para el año 2040, la huella de carbono de las TIC podría representar hasta el 14 % de la huella total mundial según el nivel del 2016.⁵¹ Sin embargo, estas predicciones pueden quedar obsoletas en los próximos años, a medida que las compañías de TIC y telecomunicaciones adquieran compromisos climáticos más radicales. Por ejemplo, en febrero del 2020, las operadoras de redes móviles anunciaron un acuerdo para establecer un plan basado en la ciencia que les permita reducir las emisiones de carbono al menos un 45 % hasta el 2030 y lograr que sean neutras en el 2050.⁵²

Por otra parte, instituciones como la Agencia Internacional de la Energía calculan que, aunque la carga de trabajo de los centros de datos triplicará en el 2020 sus niveles de actividad del 2014, gracias al aumento de la eficiencia, la demanda de electricidad se incrementará solamente un 3 %.⁵³ Siguiendo este razonamiento, algunos estudios afirman que la huella de carbono de las TIC podría incluso reducirse en el 2020, a medida que los móviles reemplazan a dispositivos de mayor tamaño.⁵⁴ De hecho, hay quienes afirman que la huella de carbono de las TIC ha dejado de crecer, y la que producen las empresas de entretenimiento y medios de comunicación (E&M) ha disminuido entre el 2010 y el 2015; según estas afirmaciones, la huella de los dispositivos electrónicos estaría disminuyendo, mientras que la de las redes seguiría creciendo lentamente.⁵⁵

⁴⁵ Comisión Europea 2020

⁴⁶ Global Enabling Sustainability Initiative 2015

⁴⁷ Ferreboeuf et al. 2019

⁴⁸ Belkhir y Elmeligi 2018

⁴⁹ Ibid.

⁵⁰ Andrae y Edler 2015

⁵¹ Belkhir y Elmeligi 2018

⁵² GSMA 2020

⁵³ AIE 2017

⁵⁴ Ibid.

⁵⁵ Malmmodin y Lundén 2018

¿Cuándo y dónde se producen los efectos?

Se ha determinado que la fabricación y el uso son las etapas del ciclo de vida de los productos de TIC con mayor impacto medioambiental, sobre todo en lo que respecta a la huella de carbono.⁵⁶ Sin embargo, el transporte y el tratamiento al final de la vida útil del producto no se deben pasar por alto como posibles aspectos que mejorar. Ha quedado ampliamente demostrado que los efectos medioambientales se producen a lo largo de toda la vida de los productos de las TIC (figura 5), aunque varían dependiendo del producto y la etapa del ciclo de vida.⁵⁷

Cada día los usuarios finales utilizan miles de millones de dispositivos en todo el mundo, y este es, con diferencia, el segmento que representa la mayor parte de la huella de carbono total de las TIC. En conjunto, la huella de carbono derivada de los dispositivos de usuarios finales (395 millones de toneladas de emisiones de GEI) es superior a las emisiones de GEI que produce España.^{58, 59} En general, la mitad de las emisiones de GEI asociadas a los dispositivos de los usuarios finales están relacionadas con su uso, y la otra mitad, con el resto del ciclo de vida.⁶⁰ El uso de ordenadores de sobremesa y la fabricación de móviles representan la mayor parte de las emisiones de carbono dentro de este segmento, seguidos de los equipos locales de clientes (CPE), ordenadores portátiles y monitores.

Junto con las redes de telecomunicación y los centros de datos —que son el segundo y el tercer factor, respectivamente, que más contribuyen a la huella de carbono mundial de las TIC—, las emisiones de GEI que produce el uso de dispositivos de usuarios finales representan el principal factor emisor de carbono.⁶¹

El transporte tiene un impacto bastante reducido en los efectos medioambientales del ciclo de vida de muchos productos de TIC, excepto en el caso de los productos ligeros (como los teléfonos móviles), dado que sus componentes proceden de cientos de proveedores ubicados en diferentes partes del planeta.^{62, 63} La fase del final de la vida útil de los productos de TIC también es difícil de valorar, ya que en las evaluaciones se suele presuponer que el proceso de tratamiento de residuos funciona como debe, lo que difiere considerablemente de los procesos de reciclaje informales que pueden darse en la práctica. En cualquier caso, aunque solamos creer que los residuos aparecen al final de la vida útil de un producto, en realidad se generan en todas las etapas de su desarrollo (en forma de desechos sólidos o emisiones de gases): desde la minería hasta la fabricación, el uso del producto y su eliminación final.⁶⁴

⁵⁶ Arushanyan 2013

⁵⁷ Arushanyan 2016

⁵⁸ Malmodin y Lundén 2018

⁵⁹ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020

⁶⁰ Malmodin y Lundén 2018

⁶¹ Ibid.

⁶² Ibid.

⁶³ Barboza 2016

⁶⁴ Lepawsky 2018

Desacoplamiento: la batalla entre la ley de Moore y la paradoja de Jevons

Desvincular el crecimiento económico de la degradación medioambiental, lo que se ha venido a llamar *desacoplamiento*, es una batalla en dos frentes. Por un lado están los que se apoyan en la ley de Moore y sostienen que el enorme aumento de la actividad que se prevé en el sector de las TIC (a causa de la IA, el *big data*, el *blockchain* y otras tecnologías emergentes) no provocará necesariamente un aumento de la demanda energética, dado que la eficiencia mejorará.

Por otro lado, los que contradicen la ley de Moore señalan dos argumentos. El primero es que esta ley está decayendo de forma gradual, como han reconocido diversos informáticos de renombre y expertos del sector.⁶⁵ El segundo es que el riesgo de efectos rebote puede contrarrestar cualquier mejora de la eficiencia.

Hasta hace poco, la mayoría de los estudios preveían un crecimiento de la huella energética y de carbono en el sector de las TIC. En cambio, en el 2016, un estudio realizado en Suecia demostró que el desacoplamiento es posible en el sector de las TIC.⁶⁶ El informe mostraba cómo la huella de energía y carbono de los sectores de las TIC y del entretenimiento y los medios de comunicación (E&M) había alcanzado su nivel máximo alrededor del 2010 y luego había empezado a disminuir, aunque el tráfico de datos fuera cada vez mayor.⁶⁷

En Alemania y Estados Unidos se han observado tendencias similares de disminución del consumo energético. Y ¿cuál es la causa? En el informe se argumenta que la introducción de los smartphones y otros terminales similares, que sustituyeron al hardware y las soluciones anteriores —más ineficientes desde el punto de vista energético—, así como la consolidación de varios productos con diferentes funciones en un solo dispositivo, son la razón principal.⁶⁸ Los autores creen que podrían observarse las mismas tendencias a escala mundial. Mientras tanto, continúa la batalla del desacoplamiento.

⁶⁵ Blank 2018 y Rotman 2020

⁶⁶ Malmodin y Lundén 2018

⁶⁷ Ibid.

⁶⁸ Ibid.

3

El auge de los dispositivos digitales

Actualmente, la digitalización es uno de los principales impulsores del desarrollo económico y se está produciendo mucho más rápido que otras tendencias globales, como la urbanización. En enero del 2020, el 55 % de la población mundial vivía en zonas urbanas, el 67 % tenía un teléfono móvil, el 59 % disponía de acceso a Internet y el 49 % utilizaba habitualmente las redes sociales.⁶⁹ De media, los usuarios de Internet pasan 6 horas y 43 minutos conectados al día. Esto equivale a más de 100 días de conexión por usuario al año.

A escala mundial, con un incremento anual del 10 %, los dispositivos y las conexiones están creciendo más rápido que la población (1 % de crecimiento anual) y que el número de usuarios de Internet (6 % de crecimiento anual).⁷⁰ Todos los años se introducen en el mercado nuevos dispositivos, más inteligentes y con funciones mejoradas, que aceleran este incremento del número medio de dispositivos y conexiones por hogar y por persona.

Se espera que en el 2023 se introduzcan en el mercado mundial casi 30 000 millones de dispositivos digitales, unas 3,5 veces la población prevista para ese año. De estos, las conexiones M2M serán la categoría que crecerá más rápidamente, seguida de los smartphones, los televisores conectados (incluyendo televisores de pantalla plana, decodificadores, adaptadores de medios digitales, reproductores de discos Blu-ray y consolas de videojuegos), los ordenadores y las tabletas.

Un maremoto de residuos electrónicos y consumo energético

A medida que el número de dispositivos digitales crece, también lo hacen los residuos electrónicos. Cada año se generan alrededor de 50 millones de toneladas de estos residuos, a pesar de que dos tercios de la población mundial están sujetos a la legislación que los regula. Solo se recicla de manera formal el 20 %, el equivalente en peso a todos los aviones comerciales que se han fabricado hasta ahora.⁷¹ Si no se toman medidas, el ritmo de generación de residuos será más del doble en el 2050, hasta alcanzar los 120 millones de toneladas anuales.

Esto se debe a varios factores: el aumento del consumo mundial de equipos eléctricos y electrónicos, el diseño no sostenible de los productos, la obsolescencia programada, la falta de opciones de reparación, las bajas tasas de reciclaje, las exportaciones ilegales y la insuficiencia de las iniciativas para aplicar, implementar y animar a más países a elaborar políticas eficaces en materia de residuos electrónicos.

La fabricación de dispositivos digitales es un ejercicio de despilfarro. Algunos estudios indican que menos del 2 % del material utilizado para producir un ordenador pasa a formar parte del producto; el resto son residuos de fabricación.⁷² Sin reciclaje, por cada 12 kg de material útil para fabricar un ordenador pueden generarse 500 kg de residuos de minería. Si se reciclara correctamente, la cantidad de desechos podría reducirse a 93 kg.⁷³

⁶⁹ DataReportal 2020

⁷² Hilty y Ruddy 2000

⁷⁰ Cisco 2020

⁷³ Vereecken et al. 2010

⁷¹ Baldé et al. 2017

¿Desmaterialización o rematerialización?

Uno de los efectos indirectos positivos de las TIC para los procesos de producción, los productos y los sistemas de distribución es la desmaterialización. La digitalización los desmaterializa al sustituir los bienes materiales por información, y los viajes por comunicación. Algunos expertos defienden que los efectos medioambientales de las TIC son principalmente positivos, porque consideran que la información es diferente de los materiales y la energía, y que sustituye al uso de recursos materiales.

Para otros, más pesimistas, las TIC son un emblema de las prácticas de producción y consumo insostenibles. Esto se refleja en la gran variedad de perjuicios medioambientales que provocan los ordenadores y otros equipos informáticos; en concreto, el creciente volumen de residuos de los equipos eléctricos y electrónicos.

Hoy en día, muchos países siguen teniendo sistemas de gestión y marcos jurídicos inadecuados para hacer frente a los residuos electrónicos. Incluso los que cuentan con marcos legislativos y políticos sólidos, como los pertenecientes a la Unión Europea, tienen dificultades para aplicarlos. Las cifras oficiales indican que casi el 40 % de los residuos electrónicos de la UE se reciclaron de manera formal en el 2017, una de las tasas más altas del mundo.⁷⁴ Pero, después de rastrear cientos de dispositivos electrónicos enviados a centros de reciclaje de 10 países europeos, el informe de la Basel Action Network (BAN) del 2018 probó que también se están exportando ilegalmente residuos electrónicos desde Europa a países en desarrollo como Nigeria, Ghana, Hong Kong, Pakistán, Tanzania y Tailandia. La BAN ha pedido a estos países receptores que imiten a China y prohíban la importación de residuos electrónicos.⁷⁵

La exportación ilegal de residuos electrónicos a países en desarrollo, donde se aplican técnicas ineficientes para extraer sus materiales, constituye una grave amenaza para las personas y el medioambiente. La eliminación inadecuada de estos residuos, el tratamiento incorrecto que reciben y el reciclaje ilegal, realizado por trabajadores no cualificados, pueden provocar la liberación de sustancias tóxicas en el aire, el suelo y las aguas subterráneas, causando graves problemas de salud y medioambientales.

¿Blockchain para un futuro circular?

Los residuos electrónicos valen más que una mina de oro. De hecho, hay 100 veces más oro en una tonelada de teléfonos móviles que en una tonelada de mineral de oro.⁷⁶ En todo el mundo, el material de los residuos electrónicos por sí solo tiene un valor de 55 000 millones de euros, 3 veces más que la producción anual de todas las minas de plata del mundo y más que el PIB de la mayoría de los países.⁷⁷

Consciente de este valor, la plataforma PACE (Platform for Accelerating the Circular Economy), un mecanismo de colaboración público-privada y acelerador de proyectos centrado en la consecución de una economía circular con rapidez y a gran escala, propone mejorar el sistema y adoptar la economía circular. Para ello, recomienda varias medidas como la minería

⁷⁴ Eurostat 2020

⁷⁶ Platform for Accelerating the Circular Economy 2019

⁷⁵ The ASEAN Post Team 2018

⁷⁷ Ibid.

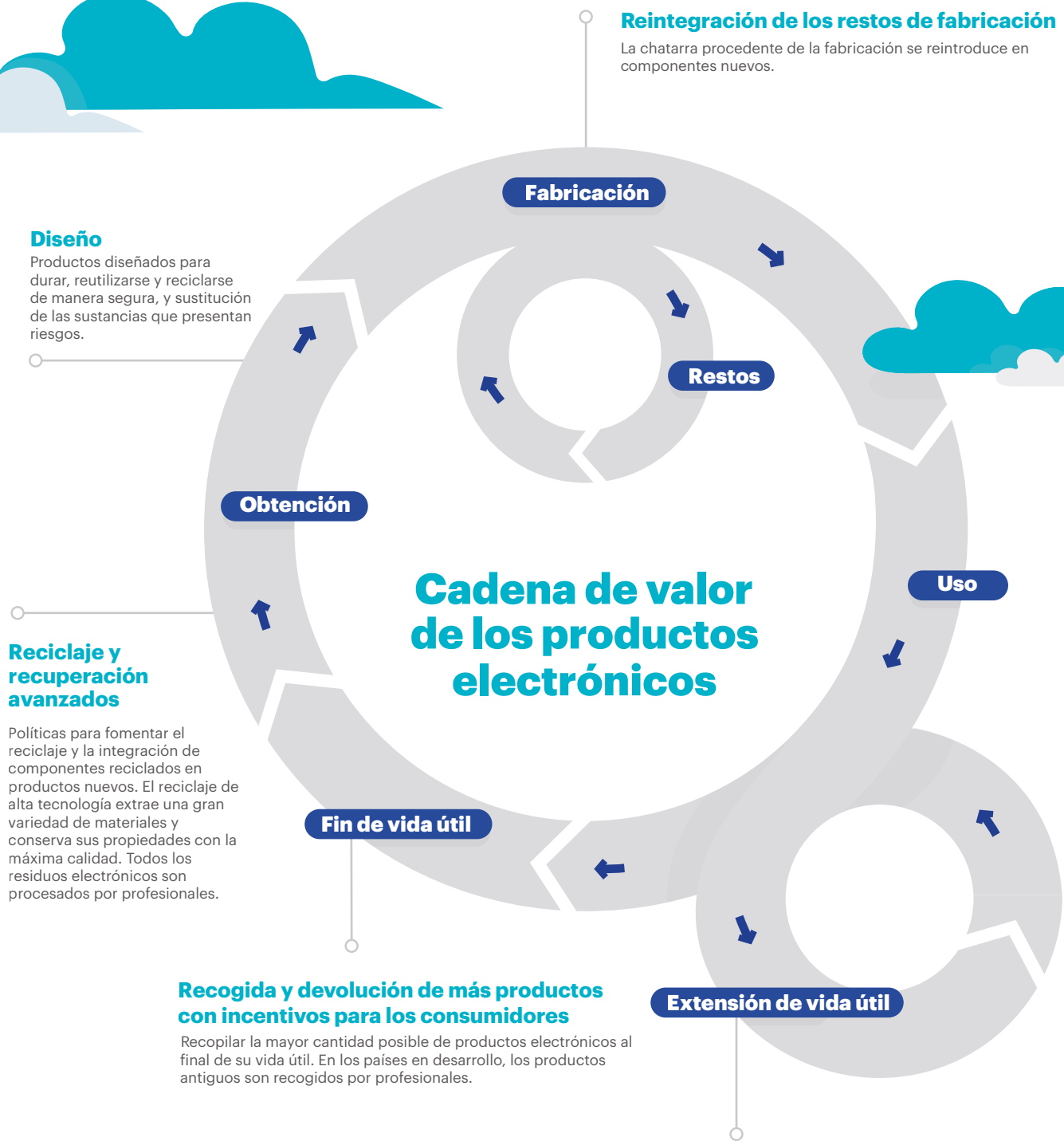


Figura 6. Un nuevo planteamiento circular de la electrónica. Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: PACE 2019.

urbana (extraer metales y minerales de los residuos electrónicos), el diseño de productos de larga duración y la inversión de la cadena de suministro (reintegrar en la producción los materiales que ya no se utilizan), como se muestra en la figura 6.⁷⁸

Abordar estas medidas no es tan fácil como parece. Por suerte, las tecnologías emergentes pueden ayudar. Con una red de *blockchain*, los productores podrían responder más fácilmente a las ofertas de los consumidores que quieran reciclar sus productos, con lo que accederían a los minerales de forma más eficiente que recogiendo los en su fuente original. Por ejemplo, en Ruanda se está utilizando la tecnología de *blockchain* para certificar los componentes de los residuos electrónicos en cada etapa de su uso, de modo que los fabricantes puedan rastrear sus productos y recogerlos de manos de los usuarios finales.⁷⁹ Así se extraen materiales como el cobre y el aluminio para su reutilización, y se usan diversos componentes para elaborar nuevos dispositivos.⁸⁰

El *blockchain* también puede aportar transparencia, muy necesaria para mantener actitudes responsables y evitar la exportación ilegal, con datos de reciclaje más precisos y mejor seguimiento. Por ejemplo, asignando una referencia cifrada a cada uno de los artículos recogidos para su reciclaje, sería posible saber qué artículo se está recogiendo, de dónde y a qué centro de reciclaje se debe llevar. Si se utilizara una cadena de bloques pública y descentralizada, las empresas y organizaciones no podrían alterar sus números para cumplir con los objetivos, lo que garantizaría la transparencia.

La entidad Electronic Reuse Association, con sede en Barcelona, a través de su proyecto eReuse, utiliza la tecnología de blockchain para prolongar la vida útil de los dispositivos electrónicos. Asegura una tasa de reciclaje del 95 % y transforma el coste para los municipios en ingresos que permanecen en la comunidad y crean un puesto de trabajo por cada 300 artículos reutilizados.⁸¹ Dados sus buenos resultados, el proyecto eReuse, de código abierto, se está replicando en más de 10 ciudades de otros 8 países.

La inteligencia artificial y la nueva oleada de consumo energético

El crecimiento exponencial de los dispositivos digitales no solo preocupa a quienes gestionan los residuos electrónicos: también, y cada vez más, a los responsables de la planificación energética. Se calcula que, en el 2015, todos los dispositivos digitales del mundo consumieron más energía que la suma de los centros de datos y las redes ICT.⁸² Si no se toman las medidas adecuadas, es probable que esta cifra ascienda drásticamente, debido a la reciente integración de la inteligencia artificial (IA) en los dispositivos digitales.

La IA se está incorporando rápidamente a numerosos dispositivos destinados a usuarios finales, para aportarles nuevas características y funciones. International Data Corporation (IDC) prevé que el 27 % del crecimiento de la IA en el 2023 corresponderá únicamente a hardware, por ejemplo, aparatos con sistemas de IA de conversación como los altavoces inteligentes con Alexa de Amazon.⁸³ De hecho, se espera que el gasto mundial en sistemas de IA alcance los 97 900 millones de dólares en el 2023, es decir, 2,5 veces más que el gasto estimado en el 2019.⁸⁴ Los gigantes de la tecnología como Apple, con más de 1000 millones de dispositivos

⁷⁸ Ibid.

⁸⁰ Ibid.

⁸² Malmodin y Lundén 2018

⁸⁴ Rasay et al. 2019

⁷⁹ Kidmose 2019

⁸¹ Zero Waste Europe 2018

⁸³ Ibid.



Figura 7. El método de eReuse para tratar los residuos electrónicos. Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: Zero Waste Europe (2020).

con IA para usuarios finales, están construyendo una de las mayores redes de informática perimetral de la historia de la IA, utilizando la informática en la nube y cálculos personalizados en función de los datos dentro de los propios dispositivos.⁸⁵

Todo esto tiene un coste energético. La firma Applied Materials calcula que, en el 2020, los servidores en los que se ejecuta la IA representan el 0,1 % del consumo de electricidad mundial.⁸⁶ Si no se innova significativamente para mejorar los materiales, la fabricación y el diseño de chips, así como la carga de trabajo de los centros de datos vinculada a la IA, esta cifra podría multiplicarse por más de 10 en los próximos años.⁸⁷ En este escenario, la computación cuántica, que aprovecha propiedades de la mecánica cuántica en lugar de los clásicos bits binarios para codificar la información, podría lograr un consumo energético significativamente menor y dar lugar a una reducción de los costes y a una menor dependencia de los combustibles fósiles a medida que se vaya adoptando.⁸⁸

El aprendizaje profundo, profundamente contaminante

El aprendizaje profundo (*deep learning*), una subcategoría del aprendizaje automático, se inspira en el funcionamiento del cerebro humano, que utiliza la energía con una eficiencia extraordinaria. Pero, aunque parezca paradójico, el aprendizaje profundo no es precisamente eficiente en cuanto al consumo energético. Según un estudio realizado en el 2019 por el Allen Institute for AI de Seattle, los cálculos computacionales necesarios para la investigación en aprendizaje profundo se han ido duplicando cada pocos meses, lo que supone un aumento de alrededor de 300 000 veces entre el 2012 y el 2018.⁸⁹

Un estudio de la Universidad de Massachusetts Amherst del 2019 reveló que el proceso de entrenamiento de varios modelos de IA comunes, de gran tamaño, puede emitir hasta 284 toneladas de CO₂e (basándose en la combinación promedio de fuentes de energía de Estados Unidos), casi 5 veces las emisiones de un coche medio durante toda su vida, o el equivalente a unos 300 vuelos de ida y vuelta entre Nueva York y San Francisco.^{90, 91} Probar los modelos de IA requiere un altísimo consumo energético, ya que para elaborar modelos precisos es necesario procesar inmensas matrices de datos. Cuantos más datos se procesan, más energía se necesita. Para solucionar este problema, los autores del estudio proponen que la eficiencia sea un criterio más de evaluación de la investigación, junto con la precisión y otros aspectos relacionados.⁹²

En respuesta a estos estudios, y siguiendo el enfoque sugerido, los investigadores del Efficient and Intelligent Computing Lab de la Universidad Rice crearon un innovador método que podría consumir 10,7 veces menos energía al entrenar una red neuronal profunda con el mismo nivel de precisión, o superior, que con el entrenamiento habitual.⁹³ Este método, llamado *entrenamiento Early Bird*, detecta patrones de conectividad clave al principio del proceso de entrenamiento, para reducir el número de cálculos necesarios y, con ello, la energía consumida y la huella de carbono.⁹⁴

⁸⁵ Panzarino 2018

⁸⁸ Brownell 2019

⁹¹ Strubell y McCallum 2019

⁹⁴ Ibid.

⁸⁶ Giles 2019

⁸⁹ Schwartz et al. 2019

⁹² Ibid.

⁸⁷ Ibid.

⁹⁰ Hao 2019

⁹³ You et al. 2020

Reto del futuro inmediato: adaptación al cambio climático con IoT

Solo en el 2019, los fenómenos meteorológicos extremos, como inundaciones, tormentas, sequías e incendios forestales, ocasionaron daños por valor de más de 100 000 millones de dólares, con miles de víctimas en todo el mundo.⁹⁵ Cerca de 2000 desastres naturales, muchos de ellos propiciados por el cambio climático, provocaron 24,9 millones de nuevos desplazamientos internos en 140 países y territorios, la cifra más alta registrada desde el 2012, y que supone el triple de los desplazamientos causados por los conflictos y la violencia.⁹⁶ Si no se aborda correctamente, es muy probable que estas cifras se incrementen de forma drástica en el futuro, a medida que se acelere el calentamiento global.

Para mitigar o evitar el impacto de los acontecimientos climáticos extremos, las ciudades y los territorios de todo el mundo deben implantar sistemas de alerta temprana que recojan información meteorológica actualizada y relevante de manera sistemática, o mejorar sus sistemas actuales, para poder reaccionar enseguida en caso de emergencia.

A medida que crece la adopción de Internet y la conectividad móvil, están proliferando las iniciativas para abordar estos problemas en los países en desarrollo y las zonas rurales. Aprovechando las tecnologías emergentes de bajo coste, como las del Internet de las cosas (IoT) y el *big data*, diversos proyectos están recopilando, analizando y utilizando datos para enviar advertencias sobre el riesgo de que se produzcan acontecimientos climáticos extremos.

Por ejemplo, gracias al IoT, los habitantes de Santo Domingo (República Dominicana) y los agricultores de Kayonza (Ruanda) reciben avisos en sus teléfonos móviles en cuanto las agencias meteorológicas nacionales pronostican un episodio meteorológico extremo en sus zonas.⁹⁷ También es el caso de Islandia, con una población muy escasa, donde prácticamente todos los habitantes poseen un dispositivo inteligente y reciben las previsiones meteorológicas más actualizadas.⁹⁸

Las ventajas del IoT no acaban ahí. La creciente popularidad de los sensores y los dispositivos conectados también puede fomentar la aplicación de técnicas innovadoras. Un ejemplo es la agricultura de precisión, que limita al mínimo el uso de plaguicidas, fertilizantes y agua, y permite a los agricultores adaptarse a las condiciones a medida que cambian.⁹⁹ Dados los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua potable, la medición de la calidad del agua con sensores también puede ser esencial a la hora de mejorar los procesos y reducir los costes de gestión de la calidad del agua.

Sin embargo, el IoT por sí solo no es la solución. Para que las soluciones del IoT logren los resultados deseados, también es necesario abordar y superar ciertos retos, como el coste de ampliar las instalaciones o los riesgos de seguridad (como la durabilidad, el mantenimiento y la seguridad de los sensores, la estabilidad de la electricidad y la conectividad a Internet), así como asegurarse de recopilar los datos conforme a las normas internacionales (por ejemplo, las de la Organización Meteorológica Mundial) y disponer de expertos en informática en cada zona.¹⁰⁰

⁹⁵ Kramer y Ware 2019

⁹⁸ PNUD 2018

⁹⁶ Organización Internacional para las Migraciones 2020

⁹⁹ Blankers 2016

⁹⁷ Centro y Red de Tecnología del Clima 2015

¹⁰⁰ Ibid.

4

Redes ICT: las superautopistas de los datos

A medida que aumentan el número de usuarios de Internet y de móviles, y la cantidad de dispositivos conectados al IoT, crece también la cantidad de datos generados. Según las estimaciones de Cisco, el número de conexiones al IoT en todo el mundo va a multiplicarse por más de 3, desde los 7500 millones del 2018 hasta 25 000 millones en el 2025. En consecuencia, se prevé que el tráfico mundial de Internet se duplique una vez más de aquí al 2022 —ya se ha triplicado desde el 2015— hasta llegar a 4,2 zettabytes anuales (4,2 billones de gigabytes).¹⁰¹ Esto significa que, en el 2022, se generará más tráfico que en los 32 años de existencia de Internet.

La pandemia de la COVID-19 ha acelerado esta tendencia, dado que las políticas de confinamiento han provocado un incremento del tráfico de datos en todo el mundo. La GSMA señala que el consumo de energía y las emisiones de carbono de las redes de telecomunicación apenas han variado, a pesar del aumento significativo en el tráfico de estas redes.¹⁰² En cualquier caso, numerosos países se están dando cuenta ahora de que su infraestructura de redes actual es inadecuada, y cada vez hay más que reclaman mejoras.¹⁰³

Según la empresa de inteligencia de mercados IDC, aunque la videovigilancia representará gran parte de los datos del IoT, los sectores industrial y automovilístico serán los que observarán las tasas de crecimiento más rápidas entre el 2018 y el 2025. En estos sectores se usarán dispositivos que registran datos continuamente, así como sensores avanzados para detectar funciones de máquinas y parámetros más sofisticados (en forma de audio, imágenes y vídeos).¹⁰⁴

Pero ¿qué consumen los usuarios de Internet? Un análisis de 2500 millones de usuarios ha revelado que el streaming de vídeo es actualmente la principal fuente de tráfico de datos en Internet, con más del 60 % de la cuota de tráfico (en el caso de la red de Internet móvil, la cifra supera el 65 %).¹⁰⁵ Le siguen la navegación web (13,1 %), los videojuegos (8 %) y las redes sociales (6,1 %).

Efectos medioambientales de las redes ICT

Las redes ICT han recibido poca atención en comparación con los dispositivos de los usuarios finales y los centros de datos, en lo que respecta al análisis de sus consecuencias para el medioambiente. Por ello, se han sometido a menos estudios e investigaciones, lo que también puede interpretarse como una oportunidad para examinar más este campo.

Esta falta de investigación no significa que las redes de telecomunicación no afecten al entorno: las redes son el segundo segmento que más energía consume dentro del sector de las TIC. Un informe estimó que, en el 2015, las redes ICT (tanto fijas como móviles) consumieron 242 TWh de electricidad en todo el mundo, una cifra cercana al consumo de electricidad de México.¹⁰⁶ Se calcula que en el 2015 este consumo de energía ha emitido 169 millones de toneladas de CO₂e, es decir, el 0,34 % de las emisiones mundiales de GEI.¹⁰⁷

¹⁰¹ Cisco 2020

¹⁰² GSMA 2020

¹⁰³ ABI Research 2020

¹⁰⁴ IDC 2019

¹⁰⁵ Sandvine 2019

¹⁰⁶ Malmödin y Lundén 2018

¹⁰⁷ Ibid.

Aunque el consumo energético de las redes es cada vez más eficiente, la mayoría de los estudios indican que el aumento previsto en la transmisión de datos durante los próximos años se traducirá en un mayor consumo de energía.¹⁰⁸ El estudio SMARTer 2020 de GeSI calculó que las emisiones de GEI relacionadas con el uso de las redes ICT aumentarían un 4 % anual en el caso de las redes fijas y un 5 % anual en el de las redes móviles entre el 2002 y el 2020, y acabarían alcanzando unos 300 millones de toneladas de CO₂e en el 2030.¹⁰⁹ Otros estudios han concluido que la cifra del 2020 podría ser en realidad un 24 % más baja que la estimada en el informe SMARTer 2020.¹¹⁰

Reducir el impacto ambiental de las redes ICT es una tarea difícil y más compleja que la de los centros de datos. A diferencia de estos últimos, que son infraestructuras centralizadas de enormes dimensiones, las redes ICT son pequeñas y dispersas, y tienen una gran variedad de características y perfiles de consumo de energía. Comprenden desde las torres y estaciones base de telefonía móvil hasta los conmutadores y routers, pasando por las redes fijas, las inalámbricas y las redes eléctricas inteligentes. Esta variedad de dispositivos se complicará aún más con la implantación del 5G y el desarrollo de la informática perimetral.

Actualmente no se dispone de datos suficientes sobre la penetración mundial de las energías renovables en este sector en concreto. Pero hay algo que está claro: las empresas tecnológicas siguen ocupando un lugar preponderante en la adquisición de energía limpia. En el 2019, todas las compañías pioneras en adoptar energías renovables fueron empresas tecnológicas, por lo que este sector fue el mayor comprador mundial de contratos de adquisición de energía (CAE) y, con mucho, el mayor inversor en electricidad renovable.¹¹¹

Informática perimetral: ¿una nueva oportunidad para la sostenibilidad?

La informática perimetral (*edge computing*) es un nuevo paradigma de informática distribuida en la nube en el que las funciones de computación y almacenamiento se descentralizan y se trasladan al perímetro topológico de la red. La informática perimetral acerca la computación y el almacenamiento de datos a los dispositivos donde se recogen esos datos, en lugar de depender de una ubicación centralizada (por lo general, centros de datos) que puede estar a miles de kilómetros de distancia. Esto conlleva varias ventajas: entre otras, aumenta la seguridad y privacidad de los datos, mejora el rendimiento de las aplicaciones, que responden mejor y son más robustas, disminuye los costes operativos, mejora la eficiencia y la fiabilidad, elimina los límites a la hora de ampliar los sistemas y reduce la latencia.

La informática perimetral también puede aportar diversos beneficios relacionados con la energía. Por ejemplo, puede reducir el exceso de carga de algunos centros de datos trasladando ciertas operaciones y procesos a dispositivos situados en el perímetro y con un consumo energético más eficiente (de menor tamaño y que requieren menos energía para su refrigeración). Las estaciones base o los routers están más cerca de la fuente de

¹⁰⁸ Andrae y Edler 2015

¹⁰⁹ Global Enabling Sustainability Initiative 2015

¹¹⁰ Malmmodin y Lundén 2018

¹¹¹ Agencia Internacional de la Energía 2020

datos, con lo que se minimiza el consumo de energía de la transmisión de datos. Y, con la tendencia actual de obtener energía renovable de manera distribuida, uno de los beneficios de la informática perimetral es que puede consumir energía cerca de donde se genera. De este modo, se reducen los problemas de suministro de energía y las pérdidas de distribución que pueden tener lugar en los grandes centros de datos. Por último, la informática perimetral puede ser clave para respaldar la implantación de redes eléctricas inteligentes, por ejemplo, optimizando la red de electricidad y la gestión de la demanda energética, si se da un uso adecuado a los dispositivos de IoT y los sensores de seguimiento y control.

La cara negativa del *edge computing*, según un informe reciente en el que se estudiaron 75 iniciativas de informática perimetral, es que los proyectos sostenibles suelen recibir muy poca atención en este campo.¹¹² Por lo tanto, es necesario fomentar la elaboración de planes sostenibles de informática perimetral.

5G: la red (móvil) de redes

Muchos consideran el 5G como la “red de redes” del sector móvil. Mientras que las generaciones anteriores de tecnologías inalámbricas (2G, 3G y 4G) conectaron a miles de millones de personas, el 5G podrá conectar a cientos de miles de millones de personas y dispositivos. En comparación con el 4G, que puede dar servicio simultáneamente a 60 000 dispositivos por kilómetro cuadrado, el 5G admitirá más de un millón de dispositivos por kilómetro cuadrado, y podrá suministrar hasta 1000 veces más datos y alcanzar velocidades 13 veces superiores a la media de las redes actuales. El potencial de conectar más dispositivos abrirá la puerta a que las ciudades se conviertan en ciudades inteligentes, los lugares de trabajo pasen a ser estaciones de trabajo del IoT y las casas se transformen en hogares inteligentes.

El despliegue tecnológico del 5G no tiene precedentes en su magnitud, escala y posibilidades. Pese a ello, ha suscitado numerosas inquietudes relacionadas con el consumo energético, un tema clave ahora que la emergencia climática está cada vez más presente en las agendas gubernamentales. Actualmente, hay varias corrientes de pensamiento contrapuestas en cuanto al consumo de energía de la tecnología 5G. Por un lado, algunos expertos creen que si sumamos la gran cantidad de antenas MIMO (siglas en inglés de “varias entradas y varias salidas”) a las redes multibanda anteriores y la enorme proliferación de células pequeñas, el 5G acarreará un aumento radical del consumo energético.¹¹³ En cambio, otros expertos consideran que el consumo neto de energía no se incrementará, dado que los nuevos equipos son más eficientes.¹¹⁴

¹¹² Hamm et al. 2020

¹¹³ Clark 2019

¹¹⁴ Malmodin y Lundén 2018

Dejando de lado los debates, con el despliegue de las redes 5G, se espera que los dispositivos y servicios se ajusten a los requisitos de la norma IMT-2020 (International Mobile Telecommunications-2020), publicada en el 2015 por el Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R). Estos requisitos incluyen cláusulas específicas relacionadas con la eficiencia energética, que estipulan que las redes deberán tener el mismo nivel de intensidad energética que las redes 4G e incluir modos de suspensión para cuando no haya tráfico en las estaciones base.

Inteligencia artificial para mejorar la eficiencia energética de las redes 5G

Una de las características principales de las redes 5G es que se basan en la virtualización de redes, es decir, en el proceso de consolidar los recursos de hardware y software en una red virtual de software. La virtualización permite gestionar la infraestructura de la red de forma remota; de esta manera, no es necesario trasladarse hasta ella y se reducen las emisiones de carbono.

Aprovechando la virtualización, los proveedores de equipos han empezado a ofrecer soluciones de ahorro energético con inteligencia artificial a las plataformas actuales de gestión de redes. Soluciones como AVA de Nokia o el sistema Operations Engine de Ericsson pueden lograr un ahorro de energía de entre el 5 % y el 15 % en la red de acceso de radio (la parte de los sistemas de telecomunicaciones que conecta cada dispositivo a otras partes de la red mediante conexiones de radio).¹¹⁵

Todavía está por verse si los requisitos de IMT-2020 lograrán o no disminuir el consumo energético. De momento, las operadoras de China y Corea del Sur —pioneras mundiales en la implantación de redes 5G desde el 2019— han advertido de un incremento en el consumo de datos y electricidad.^{116, 117, 118, 119}

Diversos expertos del sector de la tecnología 5G coinciden en que el consumo de energía seguirá la forma de una U invertida, con un aumento pronunciado a corto plazo y una disminución a largo plazo, pero que probablemente se mantendrá por encima del nivel inicial. En economía ambiental, esto se conoce como *curva medioambiental de Kuznets*. En esta línea, Ericsson propone “romper la curva energética” con un ambicioso plan para que las operadoras de redes móviles (ORM) reduzcan el consumo de energía de sus redes 5G. Sin embargo, el plan, como la mayoría de las iniciativas de este sector, contempla únicamente el lado de la oferta. Como se explica en la siguiente sección, para aprovechar al máximo los efectos indirectos y estructurales de las tecnologías emergentes, es necesario no solo desarrollar sistemas de producción más sostenibles (por ejemplo, utilizando energías renovables), sino también incentivar a los usuarios finales para que adopten pautas de consumo más sostenibles.

De hecho, romper la curva energética beneficia a las ORM. El consumo de energía constituye entre el 20 % y el 40 % de los costes operativos de la red de una ORM y es uno de sus

¹¹⁵ GSMA 2019

¹¹⁸ Waring 2019

¹¹⁶ Clark 2019

¹¹⁹ ZTE 2020

¹¹⁷ Hardesty 2020

principales costes de explotación, junto con la remuneración de los empleados.¹²⁰ Por ello, si bien cada vez se presta más atención al cambio climático y la sostenibilidad, a las ORM les interesa alcanzar la máxima eficiencia posible en su consumo energético, aunque solo sea por motivos económicos.

Las operadoras no siempre están en condiciones de mejorar la eficiencia energética, ya que suelen carecer de conocimientos técnicos específicos dentro de la empresa.¹²¹ Con algunas excepciones, es habitual que consideren la energía como un gasto que no pueden controlar, y la mayor parte de sus esfuerzos se centran en la calidad y la fiabilidad de sus redes. Y aquí es donde entra en juego la energía como servicio (EaaS). En lugar de recurrir a la capacitación interna de expertos en energía, la EaaS ofrece un nuevo modelo de negocio que promueve la colaboración entre las ORM y empresas externas (también llamadas *empresas de servicios energéticos* o *ESE*), a fin de que las ORM recuperen el control de su gasto energético. Gigantes de la industria como Telefónica, Deutsche Telekom y AT&T ya están siguiendo este modelo.¹²²

En todo el mundo, estamos observando una tendencia de estas operadoras a vender sus sistemas de redes, incluida la infraestructura energética, a las ESE.¹²³ Se espera que esta tendencia se acentúe en la era del 5G, lo que permitirá aplicar configuraciones muy específicas a conjuntos de torres y aportará conocimientos técnicos especializados, además de mejorar la gestión de la energía. No obstante, la regulación del 5G es muy compleja y las autoridades no siempre están a favor de externalizar las torres y otros equipos, ya que esto puede disminuir la competencia.

Por último, pero no por ello menos importante, está la creciente preocupación social por los posibles efectos perjudiciales de las redes inalámbricas para la salud y el medioambiente. Desde el 2011, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) han clasificado los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM) como “posiblemente cancerígenos” para los seres humanos.¹²⁴ En el mismo grupo se encuentran otros agentes “posiblemente cancerígenos” como el aloe vera, la carpintería y el oxazepam.

En febrero del 2020, la OMS ha publicado algunos de los resultados de investigaciones sobre los CEM más recientes. En relación con el 5G, la OMS afirma que “hasta la fecha, y después de realizar numerosas investigaciones, no se ha relacionado de manera causal ningún efecto adverso para la salud con la exposición a tecnologías inalámbricas”. No obstante, la OMS reconoce que, debido a su novedad, se han realizado pocos estudios sobre las frecuencias que emplea el 5G.¹²⁵

Para profundizar en este campo, la OMS está llevando a cabo una evaluación de los riesgos para la salud que podría conllevar la exposición a radiofrecuencias, que se publicará en el 2022.¹²⁶ Además, el EMF-Portal, un proyecto del hospital de la Universidad Técnica de

¹²⁰ GSMA 2019

¹²¹ Ibid.

¹²² GSMA 2020

¹²³ Ibid.

¹²⁴ Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer 2011

¹²⁵ Organización Mundial de la Salud 2020

¹²⁶ Flores 2020

Aquisgrán (Alemania), está elaborando una extensa base de datos con más de 31 400 publicaciones y 6700 resúmenes de estudios científicos sobre los efectos de los campos electromagnéticos.¹²⁷ De ellos, más de 430 estudios están relacionados específicamente con el 5G.

La Comisión Europea aún no ha examinado los posibles riesgos para la salud de la tecnología 5G, pero el Parlamento Europeo ha analizado las investigaciones realizadas hasta ahora y ha concluido que “aunque los investigadores consideran, por lo general, que este tipo de radiofrecuencia no constituye ningún riesgo para la población, las investigaciones realizadas hasta la fecha no han abordado la exposición constante que conllevaría la tecnología 5G”¹²⁸.

Mientras se llevan a cabo más investigaciones sobre los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, varias administraciones públicas (incluida la Agencia Europea de Medio Ambiente) están proponiendo y adoptando medidas de prevención proporcionales para evitar los posibles riesgos para la salud, potencialmente graves, derivados de los CEM.¹²⁹

¹²⁷ Research Center for Bioelectromagnetic Interaction 2020

¹²⁸ Parlamento Europeo 2020

¹²⁹ Ibid.

Reto del futuro inmediato: streaming de vídeos y videojuegos

La transmisión de vídeo por streaming, la realidad virtual, la realidad aumentada y los videojuegos son sectores a los que debemos prestar atención por dos motivos principales. El primero es que, en conjunto, representan alrededor de tres cuartas partes del tráfico mundial de datos y se prevé que pronto superarán el 80 % de la cuota mundial, con la adopción generalizada de las tecnologías de 4K, 8K, realidad virtual y realidad aumentada.¹³⁰

El segundo motivo es que los dispositivos de vídeo pueden tener un efecto multiplicador sobre el tráfico. Un solo vídeo 4K ocupa entre 3 y 5 veces más que uno en HD, y un vídeo 8K es entre 3 y 5 veces mayor que el mismo vídeo en 4K. Esto significa que una televisión de alta definición con conexión a Internet en la que se vean diariamente 2 o 3 horas de contenidos de la red generaría, de media, tanto tráfico como todo un hogar en la actualidad.¹³¹ Y este efecto es aún peor en el caso de los videojuegos. Una sola descarga del juego *Call of Duty: Black Ops* equivale a 14 horas de visualización en 4K.¹³²

Estas tendencias están provocando un crecimiento exponencial de la demanda de servicios de redes y centros de datos. Por esta razón, organizaciones como The Shift Project, con sede en París, piden un cambio hacia la sobriedad digital. La sobriedad digital propone que se dé prioridad a la asignación de recursos para usos digitales de acuerdo con los límites físicos y, al mismo tiempo, se preserven las contribuciones sociales más importantes de las tecnologías digitales.

Entre las medidas que propone The Shift Project para promover la sobriedad digital están las siguientes:

- **Limitar las ofertas de tarifa plana cuyos precios estén desvinculados de los volúmenes consumidos.** En su lugar, ofrecer suscripciones de bajo coste que den acceso a un volumen de datos más limitado. Esto daría lugar a mecanismos de regulación del consumo, al establecer un sistema de precios ajustable para acceder a los datos.
- **Regular las técnicas de diseño adictivo.** Por *diseño adictivo* se entienden las técnicas que se aplican al crear plataformas de difusión de contenidos y que tratan de aumentar al máximo el tiempo que permanecen los usuarios en esas plataformas. Algunos ejemplos son los vídeos de reproducción automática (como los de TikTok, YouTube o Netflix), los vídeos publicitarios integrados y los mecanismos de recomendaciones y notificaciones. La regulación en este campo tendría como objetivo rediseñar las plataformas para guiar las conductas hacia una selección más precisa del contenido que se consume. De este modo, se reduciría el volumen de contenido consumido y este se ajustaría más a las necesidades y conductas de los usuarios.

¹³⁰ Cisco 2020

¹³¹ Sandvine 2019

¹³² Ibid.

5

Centros de datos y redes empresariales: los cerebros de Internet

La mayor parte del tráfico mundial del Protocolo de Internet (IP) pasa por los centros de datos. Estos “cerebros de Internet” procesan, almacenan y gestionan la mayoría de los datos de Internet, desde el streaming de vídeo y los videojuegos hasta el correo electrónico, las redes sociales, la colaboración en línea y la computación científica.

Según las previsiones, en el 2022 se generarán más de 4 zettabytes anuales de tráfico de datos. En estas circunstancias, los centros de datos seguirán siendo fundamentales para la recepción, la computación, el almacenamiento y la gestión de la información. Pero el auge de estos centros que hemos observado durante la última década está llegando a su fin. Según IDC, el número de centros de datos en todo el mundo llegó a su nivel máximo en el 2015, con 8,55 millones.¹³³ Después de ese año, las cifras comenzaron a disminuir y se esperaba que descendieran hasta 8,4 millones en el 2017. Siguiendo esta tendencia descendente, se prevé que para el 2021 el número de centros de datos se haya reducido a 7,2 millones en todo el mundo, un 15 % menos que en el 2015.¹³⁴

Sin embargo, los centros de datos de mayor tamaño (denominados *centros de datos de hiperescala*) no dejan de crecer: al finalizar el 2019, había 512 (un aumento del 31 % en comparación con los 390 que existían al cierre del 2017), y se espera que ese número siga aumentando en el 2020.¹³⁵ Es el resultado de un proceso de concentración de las instalaciones de centros de datos, en un intento de reducir los costes operativos y ser más ecológicos. Además, las empresas cada vez alquilan más capacidad de servidores a proveedores externos, y la inmensa mayoría se está trasladando a servicios total o parcialmente alojados en la nube. Según el Uptime Institute, en el 2021, la mitad de las cargas de trabajo se ejecutarán fuera de los centros de datos de las empresas, ya sea en centros de datos de la nube o fuera de la nube, o en el perímetro de la red.¹³⁶

El consumo de energía de los centros de datos

Todo lo que sucede en el mundo virtual afecta al mundo físico. Con el crecimiento de la conectividad, está aumentando la demanda de servicios de los centros de datos, lo que probablemente hará que se dispare el consumo energético (sobre todo, el eléctrico) y tendrá efectos multiplicadores. Por cada bit de datos que viaja por la red desde un centro de datos hasta un usuario final, se transmiten otros 5 bits de datos dentro de estos centros y entre ellos.¹³⁷

En el momento de redactar este informe, no se puede conocer con certeza el consumo energético global de los centros de datos, porque solo algunas empresas —como Google, Apple, Switch y Facebook— publican esta información. Las estimaciones varían según la fuente. Algunos estudios calculan que los centros de datos representaron el 1 % del consumo eléctrico mundial en el 2010, mientras que las estimaciones más conservadoras apuntan a que este nivel de consumo no se alcanzó hasta el 2018.¹³⁸

¹³³ IDC 2018

¹³⁴ Ibid.

¹³⁵ CRN 2020

¹³⁶ Cisco 2020

¹³⁷ Agencia Internacional de la Energía 2019

¹³⁸ Masanet y Lei 2020

Siguiendo este enfoque conservador, la Agencia Internacional de la Energía sostiene que el incremento del consumo de energía se ha desvinculado considerablemente del crecimiento de la computación en centros de datos, puesto que el consumo energético ha aumentado solo un 6 % desde el 2010, mientras que el tráfico IP mundial es ahora más de 10 veces superior al de ese año, al tiempo que la capacidad de almacenamiento de los centros de datos de todo el planeta se ha multiplicado por 25.¹³⁹

¿Cómo se utiliza la energía en un centro de datos?

Los centros de datos están compuestos principalmente por servidores, equipos de refrigeración de precisión (como enfriadores y sistemas de aire acondicionado para salas de ordenadores) y equipos relacionados con la alimentación (como conmutadores, sistemas de alimentación ininterrumpida y baterías de reserva) para que los servidores y los sistemas de refrigeración reciban la energía que necesitan en todo momento.

De media, los servidores y los sistemas de refrigeración (incluida la distribución de energía) suponen más de tres cuartas partes del consumo eléctrico directo en los centros de datos, seguidos de las unidades de almacenamiento y los dispositivos de red.

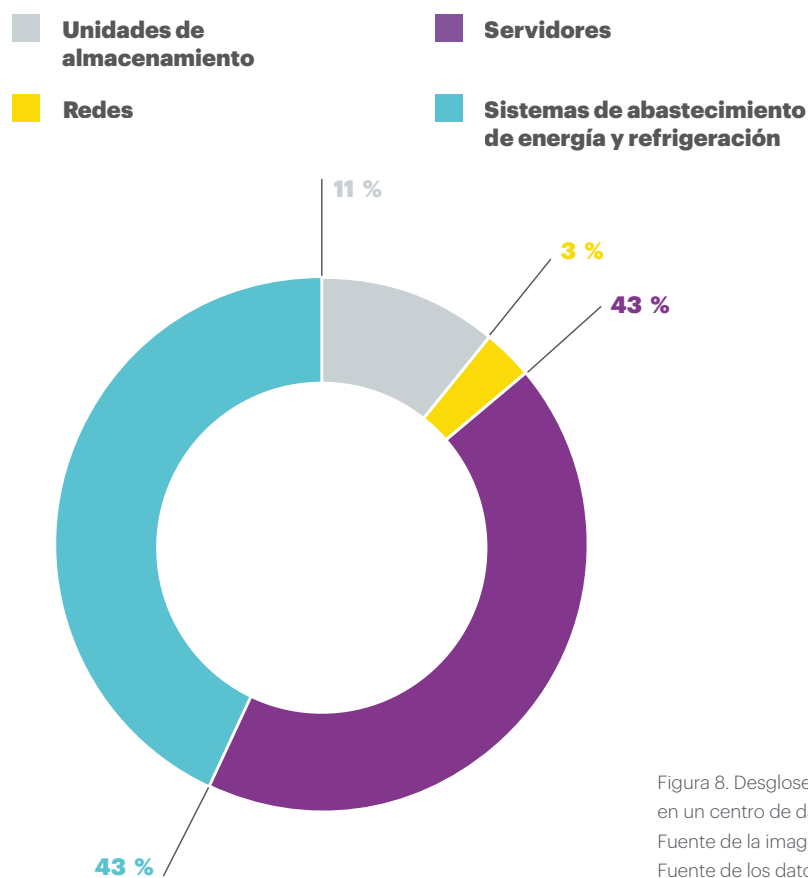


Figura 8. Desglose del consumo de energía en un centro de datos típico de EE. UU.
Fuente de la imagen: Digital Future Society.
Fuente de los datos: Shehabi (2016).

¹³⁹ Ibid.

Cuando la eficiencia implica beneficios

Por lo general, la mayoría de los centros de datos de las empresas están enfocados en la fiabilidad más que en la eficiencia, ya que para sus responsables, lo más beneficioso es que estén disponibles en todo momento, y no tanto que funcionen de manera eficiente. Los centros de datos de hiperescala y los que se emplean para prestar servicios de nube, como Google Cloud, Microsoft Azure, IBM Cloud y AWS de Amazon, están mucho más optimizados para ser eficientes.¹⁴⁰ Estos operadores sí tienen motivos de peso para derrochar menos energía, puesto que para ellos es un coste operativo importante que afecta a su margen de beneficios. Esto se traduce en diferencias sustanciales en cuestión de eficiencia. Estas instalaciones y sus servidores son más eficientes, aprovechan mejor sus servidores y utilizan más energías renovables. Tanto, que la huella de carbono de la nube de AWS es un 88 % inferior a la mediana que se generaría para obtener el mismo rendimiento de servidores en un centro de datos empresarial, según las estimaciones.¹⁴¹

De acuerdo con una encuesta realizada por Supermicro en el 2019, en la que participaron directivos de centros de datos de todo el mundo, un enorme porcentaje de ellos indicaron que el principal parámetro para medir el éxito de sus empresas era el rendimiento total de sus centros de datos, medido por parámetros como el coste total de propiedad (TCO) y el rendimiento de la inversión (ROI). En cambio, factores de éxito más asociados a los centros de datos ecológicos, como la eficiencia, la eficiencia del uso de la energía (PUE) y el coste total para el medioambiente (TCE) se mencionaron con mucha menos frecuencia (figura 9).¹⁴²

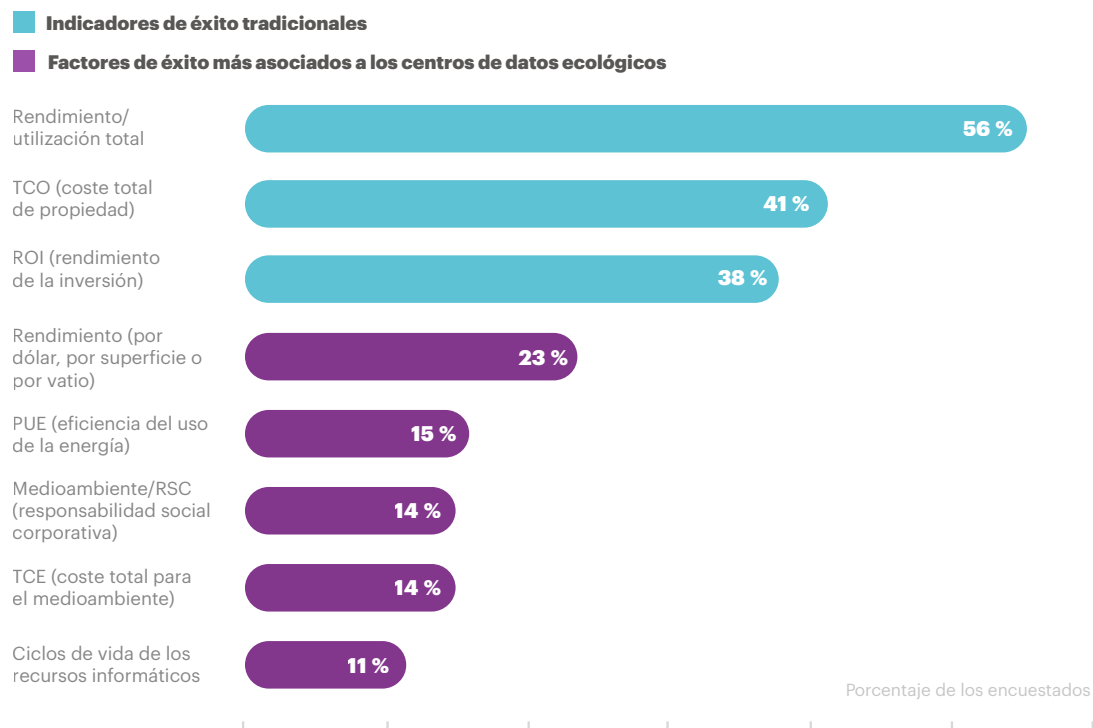


Figura 9. Resultados de una encuesta sobre los indicadores de éxito de las infraestructuras de centros de datos. Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: Supermicro (2019).

¹³⁹ Ibid.

¹⁴⁰ Sverdlik 2020

¹⁴¹ Bizo 2019

¹⁴² Supermicro 2019

Los usuarios de los centros de datos tampoco están mucho más concienciados sobre el medioambiente. En su primer informe anual sobre los centros de datos y el medioambiente, del 2018, Supermicro constató que muchas empresas subestimaban la importancia de la eficiencia. Solo el 28 % de los encuestados dijeron que tenían en cuenta realmente las cuestiones medioambientales al elegir las tecnologías de los centros de datos, y solo el 9 % indicó que la eficiencia energética era el criterio principal al definir la estrategia de diseño de los centros de datos. En cambio, daban prioridad a la seguridad, el rendimiento y la conectividad.¹⁴³

En términos generales, el consumo de energía de los centros de datos es cada vez más eficiente. El Uptime Institute ha registrado la eficiencia energética media del sector en todo el mundo a lo largo de los últimos 12 años (figura 10). La eficiencia energética ha mejorado constantemente año tras año, con la única excepción del 2019, probablemente debido a que las condiciones climáticas fueron más extremas y a que muchos centros de datos se aprovecharon menos, a medida que ciertas cargas de trabajo se trasladaban a servicios de nube pública.¹⁴⁴

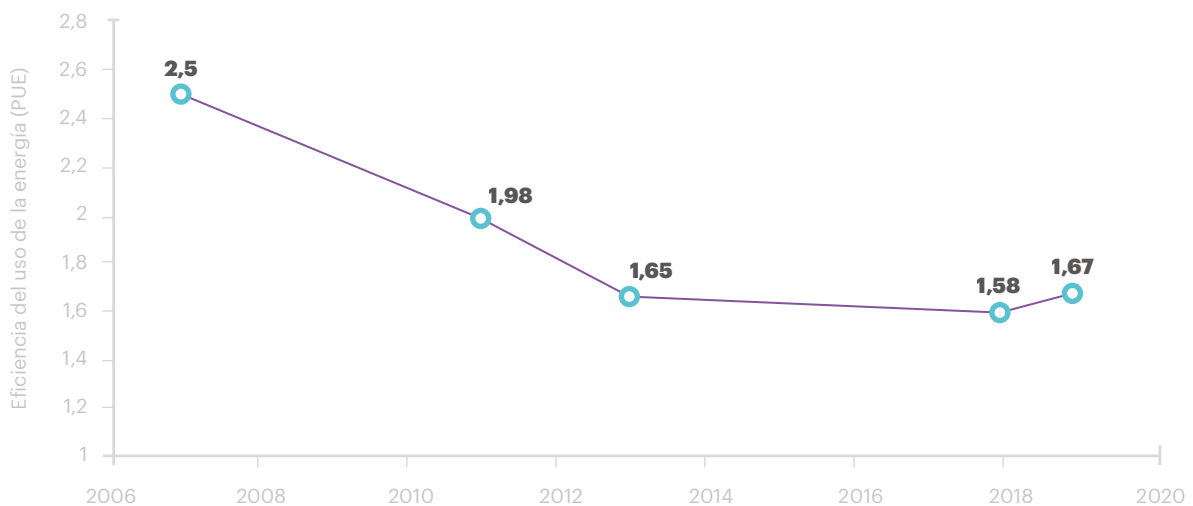


Figura 10. Evolución de la media anual de PUE en el mundo. Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: Uptime Institute 2020.

¹⁴³ Supermicro 2018

¹⁴⁴ Lawrence 2019

A escala regional, en el 2018, los centros de datos de Europa y Estados Unidos registraron un PUE medio de entre 1,7 y 1,8.¹⁴⁵ El PUE promedio de China en el mismo año fue de entre 2,2 y 3, aunque este valor se reduce a 1,5 en el caso de las 15 mayores empresas de nube y centros de datos del país.¹⁴⁶ Además, el consumo eléctrico del sector de los centros de datos de China va camino de aumentar un 66 % entre el 2019 y el 2023.¹⁴⁷

En el 2016, Google marcó un hito en el potencial de eficiencia energética de los centros de datos: logró reducir el PUE a un valor medio de 1,1 en el último trimestre del 2019.¹⁴⁸ Parte de este éxito se debe al uso del aprendizaje automático para refrigerar sus centros de datos de forma más eficiente. Al principio, ayudó a reducir los costes de energía de refrigeración un 40 % ofreciendo recomendaciones a los operadores humanos. Actualmente, la refrigeración está totalmente controlada por un algoritmo.¹⁴⁹

Lo más frío no siempre es lo mejor

Aunque podemos encontrar centros de datos por todo el planeta, la ubicación también es un factor importante para la eficiencia energética. Tanto Apple como Facebook han construido centros de datos cerca de recursos hidroeléctricos, para tener acceso a una energía asequible, fiable y limpia.¹⁵⁰ Las empresas que construyen centros de datos también buscan climas más fríos. En el 2017, Google compró 109 hectáreas de terreno en una zona rural de Suecia, cerca del círculo polar ártico, donde las bajas temperaturas permiten ahorrar energía de refrigeración.¹⁵¹ En el 2018, Microsoft lanzó Project Natick, su proyecto de investigación para determinar la viabilidad de construir centros de datos submarinos que se alimenten de energías renovables en alta mar.¹⁵²

El acceso a las redes de fibra, el precio de la energía, la fuente de energía y el entorno circundante son factores que influyen en la ubicación elegida para los centros de datos. Hay motivos para pensar que situar estas instalaciones en zonas remotas puede ser un mal negocio, además de perjudicial para el medioambiente. Las largas distancias afectan a la fiabilidad, la latencia y el coste de distribuir los datos, teniendo en cuenta la energía necesaria para transmitirlos, incluidas las posibles pérdidas de energía.

¹⁴⁵ Open Compute Project 2018

¹⁴⁶ Greenpeace East Asia 2020

¹⁴⁷ Ibid.

¹⁴⁸ Google 2020

¹⁴⁹ Knight 2018

¹⁵⁰ CB Insights 2019

¹⁵¹ Moss 2017

¹⁵² Microsoft 2020

Cómo generan residuos electrónicos los centros de datos

Los residuos electrónicos son otro subproducto importante de las renovaciones de los centros de datos. Estos centros tienen que actualizar periódicamente la tecnología más antigua para aprovechar las características y mejoras de los nuevos productos, que los ayudan a alcanzar sus objetivos comerciales, incluidos los de eficiencia energética.

Los centros de datos tratan de aplicar el “ciclo de actualización óptimo” al sustituir sus servidores por otros nuevos. Para encontrar la frecuencia óptima de renovación, hay que encontrar un equilibrio entre reducir los gastos de capital y los residuos electrónicos, por una parte, y ahorrar en gastos operativos, como los costes de la energía, por otra parte. Mantener los servidores activos durante más tiempo parece reducir los costes de adquisición y los residuos electrónicos, pero los nuevos servidores aprovechan la energía de forma más eficiente y proporcionan más núcleos de computación y un mejor rendimiento. De acuerdo con la encuesta de Supermicro, hoy en día el ciclo medio de actualización de los servidores es de 4,1 años, y se está alargando con el tiempo.¹⁵³

Una solución, un ejemplo del planteamiento circular, es utilizar servidores desagregados. Con la arquitectura de servidores desagregados, los centros de datos pueden reutilizar los componentes de los servidores que tienen un ciclo de vida más largo, como la fuente de alimentación, para reducir los costes del ciclo de actualización, así como los residuos electrónicos. Pero, a pesar de estos beneficios, la circularidad está muy lejos de ser habitual en este sector. Actualmente, solo el 37 % de los centros de datos de todo el mundo afirman aplicar el pensamiento circular y reutilizar el hardware para otras tareas con el fin de ampliar los ciclos de vida de los productos.¹⁵⁴

¹⁵³ Supermicro 2019

¹⁵⁴ Ibid.

De los centros de datos a la calefacción urbana

El calor residual es otro tipo de residuo producido por los centros de datos. En lugar de considerarlo un residuo, cada vez hay más centros de datos que redirigen el calor de sus naves a viviendas, oficinas, invernaderos y hasta piscinas de los alrededores. En los nuevos centros de datos se está incorporando la capacidad de reutilizar el exceso de calor de los servidores, lo que ayuda a mejorar el perfil de eficiencia energética de estas instalaciones y, si se une a otras operaciones que consumen calor, como los sistemas de energía urbana, crea un circuito cerrado que no genera residuos.

La idea no es nueva: existen decenas de instalaciones en Europa y América del Norte que ya se están beneficiando de este planteamiento circular. De hecho, se espera que el uso del calor residual se convierta en una gran tendencia del sector en un futuro próximo, especialmente en los países nórdicos, donde la demanda de calefacción es muy alta.¹⁵⁵

En Dinamarca, el centro de datos que posee Facebook en Odense se ha diseñado para reaprovechar 100 000 MWh de energía al año, suficiente calor como para calentar 6900 hogares. Esta energía se obtendrá de los servidores y se reciclará en una nueva instalación, equipada con una bomba de calor y alimentada con energía 100 % limpia y renovable.¹⁵⁶

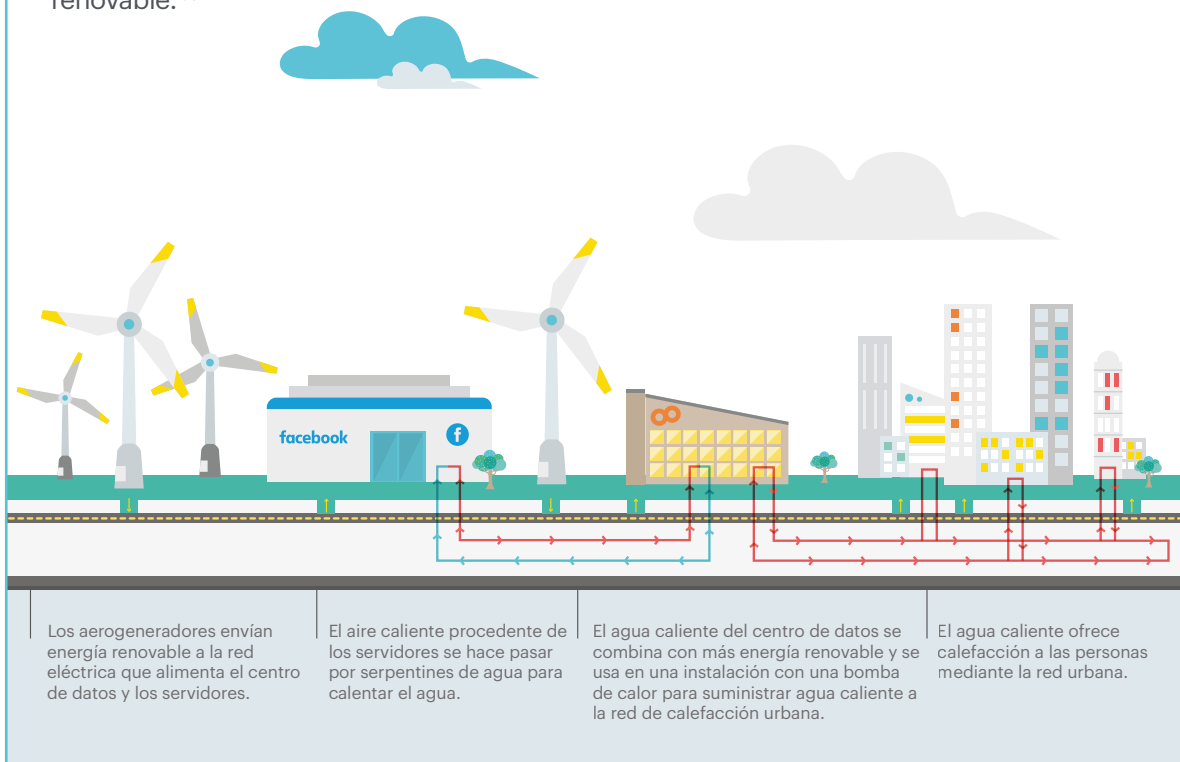


Figura 11. Proceso de reaprovechamiento del calor en un centro de datos de Odense (Dinamarca). Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: Facebook (2017).

¹⁵⁵ Wahlroos et al. 2017

¹⁵⁶ Facebook 2017

Consumo de agua: el indicador olvidado

El consumo de agua rara vez se tiene en cuenta al registrar y publicar información sobre el impacto medioambiental de los centros de datos. Y, sin embargo, los centros de datos consumen una inmensa cantidad de agua para su refrigeración. Dentro del proceso de enfriamiento de estos centros, se suele evaporar agua mediante torres de refrigeración o enfriadores por evaporación.

Dado que muchos centros de datos se encuentran en zonas donde hay o puede llegar a haber escasez de agua, la eficiencia del uso del agua (WUE, por sus siglas en inglés) es, cada vez más, un parámetro de suma importancia. En la actualidad, la WUE está incluida en la norma ISO para centros de datos (ISO/IEC 30134-5:2017), una norma internacional de carácter voluntario que proporciona directrices comunes, pero que no se suele adoptar.¹⁵⁷

La WUE se calcula como la relación entre el agua utilizada en el centro de datos y la electricidad suministrada al hardware informático. Según un informe del Departamento de Energía de EE. UU., la WUE de un centro de datos promedio en EE. UU. es de 1,8 L por kWh.¹⁵⁸ En marzo del 2019, Facebook declaró ser la primera y única compañía (según su conocimiento) en publicar sus datos de WUE. En el 2017, comunicó que sus centros de datos eran casi 8 veces más eficientes que el estándar del sector, con una WUE media de 0,24 L/kWh, evitando el uso de más de 5600 millones de litros de agua, el equivalente a llenar 18,5 millones de bañeras.¹⁵⁹

Reto del futuro inmediato: centros de datos neutros en carbono

La transformación digital debe alcanzar la neutralidad en carbono. En Europa, los centros de datos y las telecomunicaciones (incluidos los servicios de nube) tendrán que ser más eficientes desde el punto de vista energético, reutilizar la energía residual y emplear más fuentes de energía renovable. Según una comunicación reciente de la Comisión Europea, pueden y deben ser inocuos para el clima en el año 2030.¹⁶⁰ En el Reino Unido, de acuerdo con el compromiso del país de alcanzar la neutralidad en sus emisiones de GEI en el 2050, se espera que los centros de datos también cumplan esos objetivos de neutralidad.¹⁶¹

¿Cómo alcanzarán la neutralidad en carbono los centros de datos? En noviembre del 2019, TechUK publicó el informe *UK Data Centre Sector: Energy Routemap* (Plan energético para el sector de los centros de datos del Reino Unido) con el fin de lograr una huella neta de carbono igual a cero. El objetivo es alcanzar la neutralidad en carbono a través de las 10 metas siguientes:



Estrategias, políticas y objetivos: Los operadores de los centros de datos deben elaborar estrategias energéticas claras y asumir compromisos ambiciosos en relación con el cambio climático.

¹⁵⁷ Organización Internacional de Normalización 2017

¹⁵⁹ Facebook 2019

¹⁶¹ TECH UK 2019

¹⁵⁸ Shehabi et al. 2016

¹⁶⁰ Comisión Europea 2020

2

Seguridad del suministro: Los centros de datos necesitan un suministro de electricidad seguro y estable. El sector debe estar preparado ante diversos problemas temporales que pueden afectar al suministro.

3

Administración energética: El sector debe aplicar las mejores prácticas en materia de eficiencia energética, cumplir con las normas pertinentes y evaluar los avances con parámetros consolidados para medir el rendimiento.

4

Adopción de energías renovables: El sector debe apostar por obtener la energía que necesita de fuentes renovables. Los operadores deben aplicar estrategias para alcanzar el 100 % bastante antes del 2050.

5

Convertirse en prosumidores (productores-consumidores) de energía: El sector necesita encontrar maneras de depender menos de la red eléctrica y participar de forma más dinámica en el mercado de la energía.

6

Divulgación y presentación de informes: Los centros de datos deben medir su consumo de energía y plasmarlo en informes de manera rigurosa y coherente para poder llevar un control de los avances e identificar las tendencias.

7

Transparencia: Los operadores de los centros de datos deben ayudar a los clientes a entender el impacto energético de sus actividades digitales.

8

Reutilización del calor: El sector debe aprovechar mejor su calor residual.

9

Calidad del aire: Los operadores deben adoptar prácticas que minimicen los efectos de los generadores de reserva en la calidad del aire.

10

Regulación: El sector colaborará con los reguladores para contribuir a aplicar las políticas adecuadas.

6

Cómo pueden beneficiar al medioambiente las tecnologías emergentes

El mundo necesita reducir sus emisiones a la mitad y cumplir con los ODS antes del 2030 para poder limitar el calentamiento global a 1,5 °C y construir una sociedad más equitativa, justa y sostenible. Si se implementan suficientes políticas e inversiones, la digitalización puede ser un factor clave para cumplir con los ODS. Algunos informes ya señalan que las tecnologías de comunicación móvil están teniendo un gran impacto positivo en el clima de nuestro planeta.

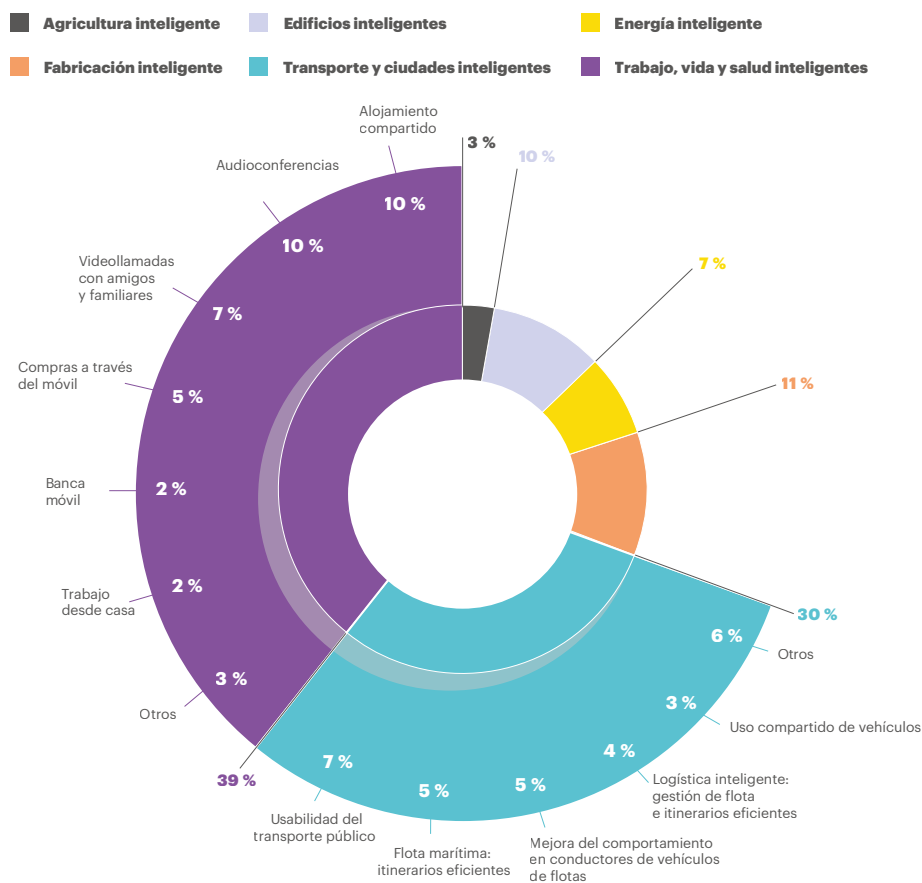


Figura 12. Ámbitos de acción prioritarios para abordar los problemas de la Tierra.
Fuente de la imagen: Digital Future Society.
Fuente de los datos: PWC 2018.

En el 2018, se estimó que las tecnologías de comunicación móvil habían evitado la emisión de 2135 millones de toneladas de CO₂e en todo el mundo, lo que equivale a casi todas las emisiones de GEI de Rusia durante el año 2017.¹⁶² Es casi 10 veces más que la huella de carbono del sector de la tecnología móvil.¹⁶³ En la mayoría de estos casos, las emisiones se evitaron gracias a un ahorro de consumo energético: contribuyeron a usar menos electricidad, gas y combustible.

Ese mismo año, las tecnologías de comunicación móvil permitieron ahorrar 1440 millones de MWh de consumo de electricidad y gas, y 521 000 millones de litros de combustible en todo el mundo.¹⁶⁴ Estas cantidades son suficientes para abastecer de electricidad y gas a más de 70 millones de hogares durante todo un año en Estados Unidos, y suficiente combustible para que los 32,5 millones de coches matriculados en el Reino Unido circulen durante 19 años.¹⁶⁵

Las tecnologías inteligentes M2M, junto con los cambios de conducta en el uso personal de los smartphones, son una solución alternativa a los productos y servicios de altas emisiones en todos los sectores. Mediante el efecto de habilitación, las tecnologías de comunicación móvil pueden mejorar la eficiencia energética de los edificios, reducir las emisiones del transporte, disminuir el consumo energético de la fabricación y mejorar la eficiencia de la distribución y la coordinación de las redes eléctricas inteligentes.

¹⁶² GSMA 2019

¹⁶⁴ Ibid.

¹⁶³ Ibid.

¹⁶⁵ Ibid.

Inteligencia artificial para la Tierra

En el 2018, el Foro Económico Mundial publicó un informe en el que alertaba de la necesidad de aprovechar el potencial transformador de la IA para abordar los desafíos medioambientales de la Tierra.¹⁶⁶ El informe planteaba la idea de que el aumento de la inteligencia y la productividad de la IA podría aportar nuevas soluciones a los retos medioambientales más acuciantes para la sociedad, como el cambio climático, la biodiversidad, la salud de los océanos, la gestión del agua, la contaminación del aire y la resiliencia.



Cambio climático

- Energía limpia
- Opciones de transporte inteligentes
- Producción y consumo sostenibles
- Uso sostenible de la tierra
- Ciudades y hogares inteligentes



Biodiversidad y conservación

- Protección y restauración de hábitats
- Comercio sostenible
- Control de la contaminación
- Control de enfermedades y especies invasoras
- Reconocimiento del capital natural



Océanos sanos

- Pesca sostenible
- Prevención de la contaminación
- Protección de hábitats
- Protección de especies
- Consecuencias del cambio climático (incluida la acidificación)



Seguridad del agua

- Aprovisionamiento de agua
- Control de cuencas
- Uso eficiente del agua
- Saneamiento adecuado
- Planificación ante sequías



Aire limpio

- Filtración y absorción
- Supervisión y prevención
- Alertas tempranas
- Combustibles limpios
- Gestión urbana flexible, integrada y en tiempo real



Resiliencia climática y frente a desastres

- Predicción y previsiones
- Sistemas de alerta temprana
- Infraestructura resiliente
- Instrumentos financieros
- Planificación de resiliencia

Figura 13. Áreas de acción prioritarias para abordar los desafíos medioambientales de la Tierra. Sociedad del futuro digital. Fuente: PwC 2018.

Consciente de que, sin una dirección clara, la IA también puede acelerar la degradación del medioambiente, el Foro Económico Mundial aboga por que se use con responsabilidad. Los que empleen tecnologías de IA deben asegurarse de incorporar principios de sostenibilidad junto con otros aspectos más generales, relativos a la seguridad, la ética, el valor y la gobernanza de la IA.¹⁶⁷ Por ello es necesario definir controles y niveles de equilibrio que garanticen que los sistemas de IA, a medida que evolucionen, sigan siendo beneficiosos e incorporen la salud del entorno natural como una dimensión fundamental.

¹⁶⁶ FEM 2018

¹⁶⁷ Ibid.

En el 2017, Microsoft lanzó AI for Earth, un programa para poner la tecnología de IA en manos de los ecologistas y conservacionistas más importantes del mundo.¹⁶⁸ La iniciativa trata de aportar elementos innovadores que revolucionen la protección del medioambiente, ofreciendo acceso a datos, herramientas de aprendizaje automático y sistemas para poner en común y aprovechar el trabajo de otras personas.¹⁶⁹ Uno de los principales frutos de ese programa es Planetary Computer, una plataforma en la que los usuarios de AI for Earth pueden consultar y analizar billones de datos recopilados por personas y máquinas en el espacio, el cielo, la tierra y el agua.¹⁷⁰

En el 2019, un grupo de voluntarios del entorno académico y el sector tecnológico se reunió para lanzar Climate Change AI, una iniciativa que pretende aprovechar el potencial del aprendizaje automático para luchar contra la crisis climática.¹⁷¹ Como parte de la iniciativa, un equipo de 22 personas —incluidos algunos de los investigadores de IA y clima más influyentes del mundo— publicó un informe en el que se detalla cómo puede combatir el cambio climático la inteligencia artificial, ya sea mediante técnicas de ingeniería eficaces o mediante investigación innovadora en 13 áreas, entre ellas, el transporte, la previsión del clima y la educación.¹⁷²

A partir del 2021, en el marco del Pacto Verde Europeo, la comunidad científica e industrial de Europa colaborará para desarrollar un modelo interactivo de alta precisión de la Tierra. Esta innovadora iniciativa se ha denominado Destino Tierra, o Digital Twin Earth Challenge (reto de la Tierra gemela digital) de la Agencia Espacial Europea. Ofrecerá una plataforma de modelado digital para visualizar, supervisar y predecir la actividad natural y humana del planeta.^{173, 174} La iniciativa pretende mejorar la visibilidad y la comprensión de los datos de observación obtenidos por los satélites de la Tierra, y combinarlos con la IA, el IoT, el aprendizaje automático, la informática en la nube y el análisis de datos para contribuir al desarrollo sostenible.

¹⁶⁸ Microsoft 2020

¹⁶⁹ Ibid.

¹⁷⁰ Ibid.

¹⁷¹ Climate Change AI 2019

¹⁷² Rolnick et al. 2019

¹⁷³ Comisión Europea 2020

¹⁷⁴ Copernicus Masters 2020

Las tecnologías exponenciales y la ley del carbono

Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C, no basta con avanzar paso a paso: hay que aspirar a un salto exponencial en las medidas para combatir el cambio climático. Este es el planteamiento propuesto por la Exponential Roadmap Initiative (ERI, siglas en inglés de *Iniciativa de la hoja de ruta exponencial*), que persigue el objetivo de neutralizar las emisiones de GEI antes del 2050. Para ello, sugiere seguir lo que denomina la “ley del carbono”, una trayectoria exponencial inspirada en la ley de Moore que, cada década, recorta las emisiones de GEI a la mitad.¹⁷⁵

Para cumplir con la ley del carbono, ERI presenta un plan de acciones exponenciales, que contiene 36 soluciones y 7 estrategias para transformar a gran escala 6 sectores: energía, industria, transporte, edificios, consumo de alimentos y soluciones basadas en la naturaleza (fuentes y sumideros).¹⁷⁶ Estas soluciones requieren la participación de las ciudades, las empresas y las personas, y pretenden transformar estos sectores rápidamente para mejorar la eficiencia en el uso de la energía y los materiales, reducir la demanda de actividades de gran consumo energético, aumentar todo lo posible la electrificación, producir esa electricidad a partir de fuentes de energía renovables, convertir la agricultura en un sumidero de carbono (en lugar de una fuente de carbono) e incrementar la captación y el almacenamiento del carbono.

Para lograr esa rápida transición en todos los sectores económicos, hasta adoptar pautas de consumo y producción sostenibles, se necesita una revolución digital. Una parte de ella vendrá de la mano del desarrollo tecnológico exponencial que pueden aportar la IA, la informática en la nube, el *blockchain*, el 5G y el IoT. Si estas tecnologías se aplican correctamente, pueden reducir de manera considerable el consumo de energía y el desperdicio de materiales en todos los sectores y, al mismo tiempo, contribuir a alcanzar los objetivos globales de salud, sostenibilidad, biodiversidad y economía. También pueden acelerar los cambios hacia modelos de negocio nuevos y disruptivos.¹⁷⁷ Pero aún falta una pieza que puede afectar significativamente a este nuevo escenario tan deseable, y está muy ligada a la digitalización: se trata de la economía circular.

Digitalización para cerrar el círculo

La revolución digital puede redefinir la forma en que se moldean la producción y el consumo, impulsando una nueva economía circular tan beneficiosa para las personas como para el planeta. Al implementar modelos de negocio circulares que utilicen los materiales de forma más eficiente, se estima que la industria de la UE podría evitar 296 millones de toneladas de CO₂e anuales antes del 2050 (el 56 % de todas las emisiones de GEI); en todo el mundo, se calcula que la industria podría evitar 3600 millones de toneladas anuales.¹⁷⁸

La circularidad está muy alineada con la tendencia hacia la digitalización que estamos observando en todos los sectores. Las soluciones digitales pueden proporcionar datos en tiempo real sobre la ubicación, el estado y la disponibilidad de un artículo. También pueden

¹⁷⁵ Falk et al. 2019

¹⁷⁷ Ibid.

¹⁷⁶ Ibid.

¹⁷⁸ Material Economics 2018

incrementar la trazabilidad de los materiales, facilitar el acceso a productos y servicios, y hacer que los procesos sean más prácticos y eficaces.

Por ejemplo, se pueden crear muchas sinergias entre el reciclaje y la digitalización. Con la tecnología de sensores y el IoT, es posible reducir rápidamente el coste de fabricar diferentes materiales y productos: ayudarían a automatizar el desmontaje y la clasificación, algo fundamental para que reciclar resulte más rentable. El robot reciclador de iPhones de Apple, Daisy, que desmonta estos dispositivos para recuperar los materiales de valor que contienen, es un ejemplo de este tipo de sinergia.¹⁷⁹

Según Climate-KIC, para aprovechar todo el potencial de la economía circular digital, es necesario cumplir cuatro condiciones clave:¹⁸⁰

1

Tecnología: Las tecnologías digitales tienen que estar bien integradas en los modelos de negocio. Los datos deben estar disponibles, ser accesibles y de buena calidad, y estar organizados para permitir la interoperabilidad en diferentes entornos.

2

Mercado: Las soluciones digitales deben ser intuitivas, accesibles y fáciles de usar, así como competitivas en precio, calidad y practicidad. Para cerrar el círculo, los consumidores deben cambiar su manera de actuar y volver a introducir en el mercado los materiales utilizados.

3

Políticas: Para aplicar modelos circulares, hacen falta entornos institucionales, políticos y normativos que sean flexibles y presten su apoyo, con instrumentos económicos adecuados para influir en su capacidad de lograr los objetivos.

4

Competencias y conocimientos: Puede ser difícil encontrar empleados con la combinación adecuada de conocimientos y competencias en diferentes disciplinas, especialmente si la falta de recursos financieros limita el acceso a un personal necesario pero escaso.

¹⁷⁹ Deahl 2018

¹⁸⁰ Climate-KIC 2019

7

Conclusiones y recomendaciones

Hacia un futuro digital más ecológico

La digitalización se está convirtiendo rápidamente en una pieza esencial para combatir el cambio climático y alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El objetivo del Acuerdo de París de limitar el aumento de la temperatura mundial a 1,5 °C y mantener el desarrollo dentro de los límites del planeta requerirá inevitablemente que las tecnologías emergentes se utilicen con criterio. Y, para aprovechar todo su potencial de habilitación, los sistemas de producción y consumo también deben sustituir su funcionamiento lineal por uno circular.

Será necesario adoptar formas innovadoras de regular y utilizar todas las herramientas disponibles, entre ellas, la legislación, las políticas no legislativas, la sensibilización, la educación, la financiación y la mentalidad de las personas. Debemos dejar de considerar las tecnologías digitales como algo aislado: las políticas digitales se deben integrar aún más con otras políticas sectoriales, incluidas las relacionadas con el medioambiente, el cambio climático, la energía, el transporte, la agricultura, la construcción y la fabricación.

Un ejemplo pionero de este planteamiento es el que actualmente promueve la Unión Europea a través de su campaña “Configurar el futuro digital de Europa”. Este nuevo paquete de medidas combina la Estrategia Digital de la UE con el Pacto Verde Europeo para conseguir una Europa neutra en carbono antes del 2050, además de abordar otros problemas medioambientales.¹⁸¹ El nuevo sistema se aplicará a nivel nacional y también en la agenda de política exterior de la UE.¹⁸²

Es imprescindible que la revolución digital tenga como eje la sostenibilidad. Sin embargo, las tecnologías emergentes aún están muy lejos de ser sostenibles. Si bien esta cuestión es cada vez más importante para muchos de los grandes protagonistas del sector tecnológico, la sostenibilidad de las cadenas de suministro sigue siendo un problema crucial con un amplio margen de mejora. Los avances de las tecnologías emergentes, como los nuevos usos de la inteligencia artificial (IA), la informática perimetral y el Internet de las cosas (IoT), aún se encuentran en una fase de aprendizaje que no está suficientemente centrada en la sostenibilidad. Y, aunque los aspectos relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad están ganando importancia, tampoco se están incorporando del todo a la formulación de políticas. En el desarrollo de los sectores digitales, también se debe prestar la atención adecuada a la posibilidad real de que se produzcan efectos rebote, una cuestión que ya se ha estudiado a fondo en las investigaciones, pero que apenas se tiene en cuenta en la práctica.

El uso sostenible y justo de los recursos sigue siendo una asignatura pendiente. La cantidad de recursos extraídos para producir un solo dispositivo digital es alarmante, y el reciclaje está lejos de ser la práctica habitual. En los últimos años, el sector digital se ha esforzado por mejorar su actuación a la hora de obtener minerales. Pero se ha limitado a unos pocos minerales conflictivos de la República Democrática del Congo y la región de los Grandes Lagos de África, mientras se prolongan otros conflictos.

Pese a que se han redoblado los esfuerzos, los residuos electrónicos crecen constantemente año tras año, y la brecha de circularidad se está ampliando. Diversos proyectos e iniciativas demuestran que adoptar un diseño sostenible, seguir el enfoque “de la cuna a la cuna”, mejorar

¹⁸¹ Comisión Europea 2020

¹⁸² Ibid.

la gestión de los residuos, reintroducir los materiales y elaborar políticas eficaces en materia de residuos electrónicos aporta resultados reales.

El mundo digital está conectado de manera inherente al entorno físico. Vivimos en un mundo de recursos finitos, de modo que el mundo digital no puede considerarse ilimitado. Y, sin embargo, la digitalización se basa en la concepción habitual de que la capacidad de la infraestructura de las TIC es infinita y debe crecer cada vez más rápido y en mayor medida. Apenas se cuestionan los patrones de consumo y comportamiento de los usuarios, como hace el movimiento por la sobriedad digital.

En el Norte Global, son los protagonistas del sector de la alta tecnología quienes lideran la revolución digital. Por ello, no siempre se reflexiona debidamente sobre los retos a los que se enfrentan los países menos desarrollados a la hora de aprovechar las oportunidades de las tecnologías emergentes. Casi la mitad del planeta vive en países de ingresos bajos y medios, y se enfrenta a innumerables obstáculos, como las deficiencias en las infraestructuras de las TIC, la falta de recursos financieros, la escasa disponibilidad de profesionales cualificados y una gran vulnerabilidad al cambio climático. Si no se abordan esos desafíos, el potencial de las tecnologías emergentes para abordar los ODS de las Naciones Unidas y la crisis climática solo se podrá aprovechar de forma parcial.

Recomendaciones para los responsables de la formulación de políticas y la toma de decisiones

De las conclusiones de este informe se desprende la siguiente serie de recomendaciones destinadas a los responsables de formular políticas y tomar decisiones clave, tanto del sector público como del privado. El objetivo de estas recomendaciones es aprovechar las tecnologías emergentes para hacer frente a la emergencia medioambiental y, al mismo tiempo, abogar por una nueva cultura de sostenibilidad en el ámbito de los productos y servicios digitales.



Promover las tecnologías emergentes como herramientas para fomentar la acción por el clima

En el mundo, cada vez hay más países que están adoptando el compromiso de alcanzar la neutralidad en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para ello son esenciales la digitalización y las tecnologías emergentes. En el 2015, casi 140 de los 190 países que presentaron planes de acción nacionales para sumarse a la acción climática mundial subrayaron la importancia de la tecnología del clima.¹⁸³ Casi la mitad insistió en la urgencia de la innovación, la investigación y el desarrollo para lograr sus objetivos climáticos.¹⁸⁴ Sin embargo, especialmente

¹⁸³ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2017

¹⁸⁴ Ibid.

en los países en desarrollo, no se suele incluir la digitalización en los planes de acción por el clima ni mencionar las tecnologías emergentes. Por ello, se necesitan una comprensión y una promoción más profunda de las ventajas que pueden aportar las tecnologías emergentes para afrontar la emergencia climática y los retos medioambientales. De ambas tareas deben encargarse los ministerios pertinentes y los organismos públicos relacionados con el cambio climático, las instituciones financieras nacionales e internacionales, las organizaciones multilaterales —especialmente las encargadas de la transferencia de tecnología—, así como las entidades que prestan servicios de asesoramiento y asistencia técnica.

2

Diseñar políticas basadas en datos que maximicen el uso de las tecnologías emergentes y aborden los efectos rebote

Para que las políticas gubernamentales resuelvan eficazmente los problemas ambientales, deben basarse en pruebas empíricas. Con la proliferación del Internet de las cosas (IoT) y de la informática perimetral, habrá miles de millones de nuevos dispositivos en todo el planeta. Es de suma importancia garantizar la transparencia respecto al consumo de energía y los datos que recogen, aunque esa información sea propiedad de entidades privadas. Los Gobiernos deben asegurarse de que dispongamos de datos de buena calidad, abiertos, accesibles y homogeneizados de manera que puedan utilizarse en diferentes plataformas.

A fin de evitar los efectos rebote que podrían anular los beneficios de la digitalización para el ahorro energético, se deben implantar políticas y estrategias de eficiencia que identifiquen y evalúen los efectos rebote relacionados con las TIC. Dichos efectos deben integrarse en las evaluaciones de la eficiencia energética, así como en los análisis del ciclo de vida (ACV). Además, las estrategias de eficiencia no deben basarse exclusivamente en el cambio tecnológico, sino también en cambios de comportamiento por parte de los consumidores, que se conseguirán creando más campañas de sensibilización para promover una demanda más sostenible.

3

Promover iniciativas y políticas centradas en la demanda, no solo en la oferta

En el sector tecnológico, es habitual abordar los desafíos ambientales centrándose principalmente en el lado de la oferta. Algunos ejemplos de estas prácticas son la renovación de equipos y hardware antiguo e ineficiente, la promoción de una mayor eficiencia energética, la mejora de las tasas de reciclaje y el fomento del uso de energías renovables. Son prácticas convenientes que deben recibir apoyo, pero representan solamente una parte del conjunto.

Para que las estrategias de sostenibilidad logren los objetivos previstos, deben abarcar tanto la producción como el consumo, la oferta y la demanda. Es importante hacer que la producción de dispositivos para usuarios finales y el funcionamiento de las redes de telecomunicación y los centros de datos sean más ecológicos, pero no es menos importante la necesidad de abordar las prácticas de consumo sostenible. La agenda medioambiental de este sector también debe incluir iniciativas como promover un cambio de comportamiento para que los consumidores hagan un uso más responsable de sus dispositivos (por ejemplo, prolongar la vida útil de los aparatos, reutilizarlos, repararlos y reacondicionarlos), evitar el desperdicio de energía y tecnologías digitales, promover la sobriedad digital, animar a los usuarios a adquirir alternativas más sostenibles y adoptar un diseño de las interacciones sostenible basado en las necesidades de los usuarios.

4

Combinar enfoques descendentes y ascendentes con acciones a diferentes niveles

Ninguna política o entidad puede resolver la crisis climática por sí sola. Abordar el colapso ecológico mundial con las tecnologías emergentes es una tarea compleja que requiere acciones a varios niveles, tanto descendentes como ascendentes. Entre los ejemplos de enfoques descendentes se encuentran los marcos de acción mundiales como el Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y los ODS de las Naciones Unidas. Otro ejemplo es la participación activa de organismos internacionales, como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en la elaboración de normativas mundiales ecológicas para el sector de las TIC. Los Estados miembros de la UE tendrán que implementar y hacer cumplir iniciativas regionales como la vinculación del Pacto Verde Europeo con la Estrategia Digital Europea, un ejemplo a seguir.

Por otra parte, las acciones de base con enfoques ascendentes son igualmente necesarias. Por ejemplo, para la transición energética habrá que desarrollar redes de energía descentralizadas, o microrredes, que se deberán implantar y operar a nivel local. Las microrredes combinan tecnologías limpias, como la generación distribuida, las baterías o los sistemas locales de almacenamiento de energía, con recursos renovables para ayudar a las empresas y organizaciones a funcionar sin depender tanto de la red eléctrica tradicional. Estas tecnologías, unidas al uso del *blockchain*, permitirían certificar que estas fuentes de energía son, en efecto, 100 % renovables.

5

Adaptar el uso y el desarrollo de las tecnologías emergentes a las condiciones locales

A la hora de implantar soluciones tecnológicas, especialmente las emergentes, no existe un único método que sea válido para todo el mundo. Cada país tiene distintas realidades políticas, económicas, sociales, culturales y medioambientales. Los territorios también difieren en sus prioridades, necesidades, capacidades, recursos energéticos y etapas de desarrollo. Y cada fase del proceso de innovación tecnológica puede requerir una combinación diferente de actores, instituciones, infraestructura, recursos y modelos de financiación. Por esta razón, los despliegues de tecnologías emergentes siempre deben diseñarse e implementarse teniendo en cuenta las condiciones locales.

Por ejemplo, Nigeria es el mayor mercado de telefonía móvil de África, con unos 173 millones de abonados y una tasa de penetración del 123 %.¹⁸⁵ Pero la infraestructura de telecomunicaciones del país es deficiente, con saturación de la red y servicios de baja calidad, y a menudo se sanciona a las operadoras de red por prestar un servicio inferior al esperado.¹⁸⁶ En mayo del 2020, a consecuencia de la desinformación en las redes sociales, el Senado pidió al Gobierno federal que suspendiera la implantación del 5G, del que se rumoreaba que era una de las causas de la COVID-19 y que tenía otros efectos secundarios negativos.^{187, 188} Si no se abordan esas cuestiones locales y de actualidad, las oportunidades de aplicar las tecnologías emergentes para obtener resultados positivos serán menores.

6

Aplicar un nuevo enfoque circular a los productos electrónicos

Para lograr una economía sin residuos electrónicos, debemos reemplazar el modelo lineal del sistema por uno circular. Según PACE y la E-waste Coalition, para crear una economía circular en el sector electrónico hay que adoptar un “enfoque sistémico” centrado en dos etapas clave del ciclo de vida de los productos.¹⁸⁹

La primera etapa comprende el diseño y el uso de los dispositivos digitales. Estos productos deben estar diseñados para durar el mayor tiempo posible y de manera que se puedan reparar y reacondicionar, y se debe promover su segundo uso, la recogida de sus componentes e incluso su alquiler, con o sin opción a compra. Por ejemplo, Fairphone, una empresa de telefonía móvil circular de los Países Bajos, ha lanzado un programa de alquiler (Fairphone-as-a-Service) y Dell ya permite arrendar ordenadores en Estados Unidos.¹⁹⁰ Varios Estados miembros de la Unión Europea están reduciendo los impuestos de los bienes de segunda mano y los servicios de reparación.¹⁹¹

¹⁸⁵ BuddeComm 2020

¹⁸⁸ NAN 2020

¹⁹¹ Re-use and Recycling EU Social Enterprises network 2017

¹⁸⁶ Ibid.

¹⁸⁹ Platform for Accelerating the Circular Economy 2019

¹⁸⁷ Iroanusi 2020

¹⁹⁰ Ibid.

La segunda etapa comienza al final de la vida útil del producto. Se debe fomentar que los fabricantes de productos electrónicos ofrezcan sistemas de recompra o devolución para recoger los dispositivos antiguos. Deben reutilizar el material y los componentes, reintegrarlos en los dispositivos nuevos y devolver los materiales que ya no les sirvan. Por último, se deben promover las prácticas de minería urbana de todos los componentes desechados, para crear una industria de reciclaje formal que extraiga metales y minerales de los residuos electrónicos.

7

Impulsar el establecimiento de un sistema mundial de seguimiento de componentes digitales

Cada año entran en el mercado miles de millones de dispositivos digitales en todo el mundo, y uno de los mayores problemas de nuestros sistemas de producción es la falta de trazabilidad de los componentes a lo largo de su vida. Si no se aplican políticas de responsabilidad ampliada del productor (EPR, por sus siglas en inglés), una vez que finaliza el periodo de la garantía, los fabricantes de productos electrónicos están exentos de toda responsabilidad por sus productos, por lo que no tienen interés en conocer su paradero. La responsabilidad de reparar, reutilizar o desechar los productos recae en los consumidores. E incluso cuando se aplican políticas de EPR, es difícil que se cumplan los reglamentos de residuos electrónicos, debido a las exportaciones ilegales, la imprecisión de los datos de reciclaje y la ineficacia de los sistemas de seguimiento.

El uso de redes de *blockchain* ampliables, públicas y descentralizadas permitiría rastrear cada componente electrónico, desde la extracción y el procesamiento de los minerales hasta su uso y eliminación. Esto mejoraría la transparencia y garantizaría la rendición de cuentas. Las redes de *blockchain* podrían interconectarse si se asignaran identificadores universales a cada artículo, lo que abriría la puerta a la interoperabilidad y la trazabilidad. Ese sistema permitiría aplicar prácticas de abastecimiento responsable y mejorar la gestión de los residuos electrónicos.

8

Organizar cursos periódicos sobre tecnologías emergentes para mejorar las competencias de profesionales y funcionarios

Una de las razones que explica la ausencia de las tecnologías emergentes en la formulación de políticas medioambientales es la falta de concienciación y conocimientos, por parte de los funcionarios y responsables de políticas, sobre el potencial de estas tecnologías para hacer frente a la crisis medioambiental. Puesto que están surgiendo constantemente nuevas metodologías, tecnologías, herramientas y enfoques para hacer frente a la degradación ecológica, es necesario ofrecerles formación especializada sobre cómo evaluar y abordar las necesidades del medioambiente.

El Gobierno y las empresas privadas deben colaborar para llevar a cabo actividades periódicas de formación y capacitación, con las que su personal pueda aprender sobre las tecnologías más avanzadas y adquirir capacidades y competencias técnicas. Estas actividades deben convertirse en un proceso de aprendizaje continuo dirigido a funcionarios, agentes del sector privado y organizaciones de la sociedad civil que también participen en iniciativas para promover la sostenibilidad. La formación puede organizarse, homologarse y certificarse con sistemas de acreditación para garantizar que los conocimientos comunes y especializados se divulguen de manera uniforme en todo el mundo.



Fomentar las prácticas de inteligencia colectiva para promover la innovación y mejorar la transmisión de conocimientos

Los planes nacionales sobre el cambio climático y otras políticas medioambientales suelen elaborarse con procesos participativos. Mediante esta práctica se fomenta la colaboración de los interesados, tanto del sector público como del privado y de las organizaciones de la sociedad civil. De esta manera, siempre se tienen en cuenta las realidades y prioridades de los principales sectores. Este método permite integrar diversos puntos de vista, promueve la innovación y mejora la aceptación por parte del público, así como su sentido de la responsabilidad.

Las partes interesadas del sector de las tecnologías emergentes también deben involucrarse en estos procesos. La falta de foros abiertos y debates intersectoriales adecuados y periódicos, tanto en el sector público como en el privado, dificulta la formulación de políticas eficaces e innovadoras. Además, la adopción de enfoques colaborativos y de inteligencia colectiva puede ser determinante a la hora de abordar los desafíos mundiales. Las iniciativas existentes muestran lo eficaces que pueden ser estos enfoques: por ejemplo, Climate Change AI y el Climate CoLab del Center for Collective Intelligence del MIT, que analizan cómo se puede conectar a las personas y los ordenadores para actuar de manera más inteligente. Otro ejemplo es Omdena, la plataforma de innovación para crear soluciones de IA a problemas globales mediante iniciativas de colaboración ascendentes a escala mundial.

10

Consolidar la sostenibilidad empresarial en todo el sector digital

Aunque cada vez hay más empresas tecnológicas que están adoptando prácticas ecológicas y progresando en la consecución de los ODS de las Naciones Unidas, esta tendencia no está ni mucho menos generalizada. Diferentes encuestas, informes, índices y opiniones de expertos confirman que estamos muy lejos de la trayectoria deseada.^{192, 193, 194} Hoy en día, hay muy pocas empresas que consideren la sostenibilidad como un objetivo estratégico: lo más habitual es que se incluya dentro de la política de responsabilidad social corporativa (RSC). Y, en consecuencia, la huella ecológica del sector de las TIC continúa creciendo.

La sostenibilidad debe ser una parte intrínseca de los objetivos estratégicos en las empresas tecnológicas, y la definición y el seguimiento de los indicadores de sostenibilidad deben formar parte de su gestión. Para ello, los responsables de la formulación de políticas deben tratar de establecer reglamentos basados en incentivos y mecanismos políticos para fomentar que las empresas tecnológicas den prioridad a la sostenibilidad y, al mismo tiempo, obtengan una ventaja competitiva. Las políticas de contratación pública también deben premiar a las empresas con mejores resultados en materia de sostenibilidad.

11

Incorporar la sostenibilidad en todas las etapas del ciclo de vida de las tecnologías digitales

Actualmente, la mayor parte de las empresas no considera los aspectos medioambientales como requisitos obligatorios ni estratégicos al diseñar y fabricar productos digitales, a menos que se les imponga. La calidad, la fiabilidad y el precio siguen siendo los criterios más importantes a la hora de diseñar los productos. Del mismo modo, los centros de datos y las operadoras de redes dan prioridad a los indicadores de éxito tradicionales, como la interoperabilidad, la fiabilidad, la latencia, el uso, la velocidad y el coste, a la hora de medir su rendimiento.

Se debe animar a las empresas de tecnologías digitales para que realicen más pruebas entre consumidores, algo que suelen omitir debido a sus ajustados plazos de diseño y producción, y las limitaciones presupuestarias. Si estas pruebas se acompañan de pautas de RSC claras y centradas en la investigación y el desarrollo ecológicos, pueden contribuir a la creación de soluciones más sostenibles. Además, si las empresas de informática reciben certificados y sellos o adoptan planes voluntarios para evaluar y certificar sus prácticas de desarrollo sostenible, es más fácil que satisfagan la creciente demanda de productos ecológicos de los consumidores.¹⁹⁵

¹⁹² Corporate Knights 2020

¹⁹³ Supermicro 2018 y Supermicro 2019

¹⁹⁴ Tech UK 2019

¹⁹⁵ Young 2018

12

Mejorar la transparencia y la rendición de cuentas con parámetros e informes medioambientales más adecuados

Los estándares que siguen actualmente las empresas digitales para informar sobre sus emisiones de carbono no reflejan fielmente todos los efectos de los servicios digitales. Incluyen las emisiones directas (alcance 1) y las derivadas de generar la energía comprada (alcance 2), pero rara vez informan de todas las demás emisiones indirectas (alcance 3), como las asociadas al uso de redes fijas y móviles.¹⁹⁶

En el caso de los servicios de streaming como YouTube y Netflix (que publica parte de sus emisiones de alcance 3), la mayor parte de la energía se utiliza en la red, en particular, en la red móvil.¹⁹⁷ Dada la magnitud global de la huella de carbono de esos servicios, es esencial que las empresas evalúen y publiquen esos datos. Hacerlo podría aportarles una ventaja adicional: la de identificar oportunidades de reducir sus emisiones de carbono tomando otras decisiones de diseño y encontrar formas innovadoras de reducir su impacto total.

En Francia, las operadoras de telefonía móvil y los proveedores de servicios de Internet tendrán la obligación de publicar, a partir del 2022, la cantidad de datos consumidos en sus periodos de facturación, así como su correspondiente huella de carbono.¹⁹⁸ Aunque todavía no se ha decidido la metodología y los medios para presentar esta información, es un paso positivo hacia una mayor

¹⁹⁶ Preist et al. 2019

¹⁹⁷ Netflix 2020

¹⁹⁸ Fabre 2020

Referencias

Agencia Internacional de la Energía. (2020). Top corporate off-takers, 2019. Agencia Internacional de la Energía. [online] Disponible en: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/top-corporate-off-takers-2019>

Agencia Internacional de la Energía. (2019). Tracking Buildings. Agencia Internacional de la Energía, París. [online] Disponible en: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings>

Agencia Internacional de la Energía. (2017). Digitalization & Energy, International Energy Agency. [PDF] Disponible en: <https://doi.org/10.1787/9789264286276-en>

Alcott, B. (2004). Jevons' paradox. Ecological Economics 54(1). [online] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>

Anderson, C. (2019). Decrement carbon: Stripe's negative emissions commitment. Stripe.com. [online] Disponible en: <https://stripe.com/blog/negative-emissions-commitment>

Andrae, A. y Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. Challenges 6(1). [PDF] Disponible en: <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117>

Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. Philosophical Magazine and Journal of Science 5(41). [PDF] Disponible en: https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf

Arushanyan, Y. (2016). Environmental Impacts of ICT: Present and Future. KTH, Royal Institute of Technology. [PDF] Disponible en: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:933594/FULLTEXT01.pdf>

Arushanyan, Y. (2013). LCA of ICT solutions: environmental impacts and challenges of assessment. KTH, Royal Institute of Technology. [PDF] Disponible en: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:678260/FULLTEXT02.pdf>

Asociación Internacional del Transporte Aéreo. (2018). Fact Sheet: Climate Change & CORSIA. Asociación Internacional del Transporte Aéreo. [PDF] Disponible en: <https://www.iata.org/contentassets/c4f9f0450212472b96dac114a06cc4fa/fact-sheet-climate-change.pdf>

Asociación Internacional del Transporte Aéreo. (2016). Economic Performance of The Airline Industry. Asociación Internacional del Transporte Aéreo. [PDF] Disponible en: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/airline-industry-economic-performance---2016-mid-year---report/>

Baldé, C., Forti V., Gray, V., Kuehr, R. y Stegmann, P. (2017). Quantities, Flows, and Resources. The Global E-waste Monitor – 2017. Universidad de las Naciones Unidas (UNU), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Viena. [PDF] Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf>

Banco Mundial. (2020). Transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución (% de producción). Datos de libre acceso del Banco Mundial. [online] Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.LOSS.ZS>

Barboza, D. (2016). An iPhone's Journey, From the Factory Floor to the Retail Store. The New York Times. [online] Disponible en: <https://www.nytimes.com/2016/12/29/technology/iphone-china-apple-stores.html>

Belkhir, L. y Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. Journal of Cleaner Production. 177. [PDF] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261733233X>

Berkhout, F. y Hertin, J. (2004). De-materialising and re-materialising: Digital technologies and the environment. Futures 36(8). [online] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/240173973_De-materialising_and_re-materialising_Digital_technologies_and_the_environment

Bizo, D. (2019). The Carbon Reduction Opportunity of Moving to Amazon Web Services. 451 Research. [PDF] Disponible en: <https://d39w7f4ix9f5s9.cloudfront.net/e3/79/42bf75c94c279c67d777f002051f/carbon-reduction-opportunity-of-moving-to-aws.pdf>

Blackrock. (2019). Megatrends: The forces shaping our future. Blackrock, Inc. [PDF] Disponible en: <https://www.blackrock.com/ch/individual/en/literature/whitepaper/megatrend-en-emea-whitepaper.pdf>

Blank, S. (2018). What the GlobalFoundries' Retreat Really Means. Institute of Electrical and Electronics Engineers Magazine. [online] Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/nanoclast/semiconductors/devices/what-globalfoundries-retreat-really-means>

Circle Economy. (2020). The Circularity Gap Report 2020. Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE). [PDF] Disponible en: <https://www.circularity-gap.world/2020>

Clark, R. (2019). Operators Starting to Face Up to 5G Power Cost. Light Reading. [online] Disponible en: <https://www.lightreading.com/asia-pacific/operators-starting-to-face-up-to-5g-power-cost-/d/id/755255>

Climate Change AI. (2019). Scientists join forces to tackle climate change with AI. Climate Change AI. [online] Disponible en: https://www.climatechange.ai/press_releases/2019-11-11/release.html

Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas (2019). Special edition: progress towards the Sustainable Development Goals. 2019 session. Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas. [PDF] Disponible en: <https://undocs.org/E/2019/68>

Copernicus Masters. (2020). ESA Digital Twin Earth Challenge. Copernicus Masters. [online] Disponible en: <https://copernicus-masters.com/prize/esa-challenge/#>

Duque, N., Gutowski, T. G., Garetti, M. (2010). A tool to estimate materials and manufacturing energy for a product. Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology. [PDF] Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5507677/authors#authors>

Belkhir, L. y Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. Journal of Cleaner Production. 177. [PDF] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261733233X>

Behrendt, S., M. Scharp, L. Erdmann, W. Kahlenborn, M. Feil, C. Dereje, R. Bleischwitz y R. Delzeit. (2007). Rare metals: Measures and concepts for the solution of the problem of conflict aggravating raw material extraction – the example of coltan. Research Report 363 01 124, Text 23/07. Agencia Federal del Medioambiente de Alemania (Umweltbundesamt). [PDF] Disponible en: <https://d-nb.info/990591301/34>

Blankers, P. (2016). Using the IoT as a solution for climate change adaptation. Ericsson. [online] Disponible en: <https://www.ericsson.com/en/blog/2016/7/using-the-iot-as-a-solution-for-climate-change-adaptation>

Brownell, V. (2019). Quantum computing could change the way the world uses energy. Quartz. [online] Disponible en: <https://qz.com/1566061/quantum-computing-will-change-the-way-the-world-uses-energy/>

BuddeComm. (2020). Nigeria - Mobile Infrastructure, Operators and Broadband - Statistics and Analyses. BuddeComm. [online] Disponible en: <https://www.budde.com.au/Research/Nigeria-Mobile-Infrastructure-Operators-and-Broadband-Statistics-and-Analyses>

CB Insights. (2019). The Future of Data Centers. CB Insights. [online] Disponible en: <https://www.cbinsights.com/research/future-of-data-centers/>

Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (2011). IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans. Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer / Organización Mundial de la Salud. [PDF] Disponible en: https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf

Centro y Red de Tecnología del Clima. (2015). A Community based early Warning System in every pocket from Santo Domingo, D.N.. CTCN. [online] Disponible en: <https://www.ctc-n.org/technical-assistance/requests/community-based-early-warning-system-every-pocket-santo-domingo-dn>

Cisco. (2020). Cisco Annual Internet Report, 2018–2023. Cisco. [PDF] Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>

Climate Emergency Declaration. (2020). Climate emergency declarations in 1,501 jurisdictions and local governments cover 820 million citizens. Climate Emergency Declaration. [online] Disponible en: <https://climateemergencydeclaration.org/climate-emergency-declarations-cover-15-million-citizens/>

Climate-KIC. (2019). Digitalisation - unlocking the potential of the circular economy. Climate-KIC. [PDF] Disponible en: https://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2018/08/ClimateKICWhitepaperFinalDigital_compressed.pdf

Comisión Europea. (2020). Hacia una estrategia global con África. Comunicación conjunta al Parlamento Europeo y al Consejo. Comisión Europea. [PDF] Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020JC0004&from=ES>

Comisión Europea. (2020). Shaping Europe's Digital Future. Comisión Europea. [PDF] Disponible en: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-shaping-europes-digital-future-feb2020_en_4.pdf

Comisión Europea. (2020). A European strategy for data. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Comisión Europea. [PDF] Disponible en: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-european-strategy-data-19feb2020_en.pdf

Comisión Europea. (2017). Reglamento (UE) 2017/821 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2017 por el que se establecen obligaciones en materia de diligencia debida en la cadena de suministro por lo que respecta a los importadores de la Unión de estaño, tantalio y wolframio, sus minerales y oro originarios de zonas de conflicto o de alto riesgo. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. [PDF] Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32017R0821>

Comisión Europea, DG Comunicación. (2014). Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT – cost/benefit analysis. Comisión Europea. [PDF]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/study-practical-application-new-framework-methodology-measuring-environmental-impact-ict>

Consejo de Investigación Económica y Social. (2015).

The rebound effect. Consejo de Investigación Económica y Social. [online] Disponible en: <https://esrc.ukri.org/about-us/50-years-of-esrc/50-achievements/the-rebound-effect/>

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2017). Technological Innovation for the Paris Agreement. Implementing nationally determined contributions, national adaptation plans and mid-century strategies. TEC Brief #10. Comité Ejecutivo de Tecnología. [PDF] Disponible en: <https://unfccc.int/ttclear/tec/brief10.html>

Corporate Knights. (2020). 2020 Global 100 ranking. Corporate Knights. [online] Disponible en: <https://www.corporateknights.com/reports/2020-global-100/2020-global-100-ranking-15795648/>

DataReportal. (2020). Digital 2020: Global Digital Overview. DataReportal. [online] Disponible en: <https://datareportal.com/reports/digital-2020-global-digital-overview>

Deahl, D. (2018). Daisy is Apple's new iPhone-recycling robot. The Verge. [online] Disponible en: <https://www.theverge.com/2018/4/19/17258180/apple-daisy-iphone-recycling-robot>

Ellen MacArthur Foundation. (2020). Concept: What is a circular economy? A framework for an economy that is restorative and regenerative by design. Ellen MacArthur Foundation. [online] Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>

Eurostat. (2020). Recycling rate of e-waste. Eurostat. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020_rt130&plugin=1

Fabre, M. (2020). Orange, Free, SFR... Les opérateurs devront bientôt indiquer le bilan carbone de nos activités numériques. Novethic. [online] Disponible en: <https://www.novethic.fr/actualite/social/consommation/isr-rse/a-partir-de-2022-les-operateurs-devront-indiquer-le-bilan-carbone-de-nos-activites-numeriques-148305.html>

Facebook. (2019). Case Study: Enhancing Water Efficiency Through Advanced Cooling Technology. Facebook. [PDF] Disponible en: https://sustainability.fb.com/wp-content/uploads/2019/03/Water_Efficiency_Final_Mar20191.pdf

Facebook. (2017). The Odense Data Centre to warm the community. Facebook. [online] Disponible en: <https://www.facebook.com/OdenseDataCentre/photos/a.1357162927738930/1357156894406200/?type=3&theater>

Falk, J., Gaffney, O., Bhowmik, A. K., Bergmark, P., Galaz, V., Gaskell, N., Henningsson, S., Höjer, M., Jacobson, L., Jónás, K., Kåberger, T., Klingensfeld, D., Lenhart, J., Loken, B., Lundén, D., Malmodin, J., Malmqvist, T., Olausson, V., Otto, I., Pearce, A., Pihl, E., Shalit, T. (2019). Exponential Roadmap 1.5. Future Earth. Future Earth. [PDF] Disponible en: https://exponentialroadmap.org/wp-content/uploads/2019/09/ExponentialRoadmap_1.5_20190919_Single-Pages.pdf

Flores, J. (2020). ¿Es peligroso el 5G para la salud? National Geographic España. [online] Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/es-peligroso-5g-para-salud_15514

Foro Económico Mundial. (2020). The Global Risks Report 2020. Foro Económico Mundial. [PDF] Disponible en: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf

Foro Económico Mundial. (2018). Harnessing Artificial Intelligence for the Earth. Foro Económico Mundial. [PDF] Disponible en: http://www3.weforum.org/docs/Harnessing_Artificial_Intelligence_for_the_Earth_report_2018.pdf

Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León, Fundación San Valero y Ayuntamiento de Logroño. (2016). GREEN TIC - Reducing carbon footprint of Information and Communication Technologies. LIFE 12 ENV/ES/000222. [PDF] Disponible en: http://www.lifegreentec.eu/sites/default/files/documentos/life_green_tic_-_final_report_web.pdf

Giles, M. (2019). Is AI the next big climate-change threat? We haven't a clue. MIT Technology Review. [online] Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2019/07/29/663/ai-computing-cloud-computing-microchips/>

Global Enabling Sustainability Initiative (GeSI). (2015). #SMARTer2030. ICT Solutions for 21st Century Challenges. GeSI. [PDF] Disponible en: http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf

Global Enabling Sustainability Initiative (GeSI). (2019). Digital with Purpose: Delivering a SMARTer2030. [PDF] Disponible en: <https://gesi.org/platforms/digital-with-a-purpose-delivering-a-smarter2030>

Good Electronics (2020). Sourcing of minerals. Good Electronics. [online] Disponible en: <https://goodelectronics.org/topic/sourcing-minerals/>

Greenfield, P. (2017). Apple apologises for slowing down older iPhones with ageing batteries. The Guardian. [online] Disponible en: <https://www.theguardian.com/technology/2017/dec/29/apple-apologises-for-slowing-older-iphones-battery-performance>

Greenpeace East Asia. (2020). Clean Cloud 2020 Tracking Renewable Energy Use in China's Tech Industry. Greenpeace China. [PDF] Disponible en: <https://storage.googleapis.com/planet4-eastasia-stateless/2020/01/7d439834-cleancloud-2020briefing.pdf>

GSMA. (2020). COVID-19 Network Traffic Surge Isn't Impacting Environment Confirm Telecom Operators. GSMA. [online] Disponible en: <https://www.gsma.com/newsroom/press-release/covid-19-network-traffic-surge-isnt-impacting-environment-confirm-telecom-operators/>

GSMA. (2020). Future Networks. Network Economics. Case Studies. GSMA. [online] Disponible en: <https://www.gsma.com/futurenetworks/network-economics/case-studies/>

GSMA. (2020). ICT Industry Agrees Landmark Science-Based Pathway to Reach Net Zero Emissions. GSMA. [online] Disponible en: <https://www.gsma.com/newsroom/press-release/ict-industry-agrees-landmark-science-based-pathway-to-reach-net-zero-emissions/>

GSMA. (2019). The Enablement Effect: The impact of mobile communications technologies on carbon emission reductions. GSMA. [PDF] Disponible en: <https://www.gsma.com/betterfuture/enablement-effect>

GSMA. (2019). Energy Efficiency: An Overview. GSMA Future Networks. [online] Disponible en: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/energy-efficiency-2/>

Halaweh, M. (2013). Emerging Technology: What is it? Journal of Technology Management & Innovation, 8(3). [online] Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242013000400010>

Hao, K. (2019). Training a single AI model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes. MIT Technology Review. [online] 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/>

Haranas, M. (2020). Coronavirus Won't Stop AWS, Google, Microsoft's Data Centre Spending. CRN. [online] Disponible en: <https://www.crn.com/coronavirus-won-t-stop-aws-google-microsoft-s-data-centre-spending>

Hardesty, L. (2020). 5G base stations use a lot more energy than 4G base stations: MTN. Fierce Wireless. [online] Disponible en: <https://www.fiercewireless.com/tech/5g-base-stations-use-a-lot-more-energy-than-4g-base-stations-says-mtn>

Hewlett-Packard. (2020). Product Carbon Footprint Reports: Desktop PCs. Hewlett-Packard Sustainability. [online] Disponible en: <https://h22235.www2.hp.com/hpinfo/globalcitizenship/environment/productdata/ProductCarbonFootprintdesktop-pc.html>

Hilty, L. (2008). Environmental impact of ICT: A conceptual framework and some strategic recommendations. Empa – Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research. [PDF] Disponible en: <https://www.oecd.org/sti/ieconomy/40833380.pdf>

Hilty, L. y Ruddy, T. (2000). Towards a sustainable information society. Informatik – Informatique. 4. [PDF] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313152882_Towards_a_sustainable_information_society

Hischier R., Coroama V. C., Schien D., Ahmadi Achachlouei M. (2015). Grey Energy and Environmental Impacts of ICT Hardware. ICT Innovations for Sustainability. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 310. [PDF] Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-09228-7_10

International Data Corporation. (2018). Worldwide Datacenter Installation Census and Construction Forecast, 2018-2022. IDC. [online] Disponible en: <https://www.marketresearch.com/IDC-v2477/Datacenter-Installation-Census-Construction-Forecast-11592017/>

International Data Corporation. (2019). The Growth in Connected IoT Devices Is Expected to Generate 79.4ZB of Data in 2025, According to a New IDC Forecast. International Data Corporation. [online] Disponible en: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45213219>

Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen y J. Foley. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. Ecology and Society 14(2). [online] Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Kidmose, A. (2019). Rwanda's Trash Warrior Tackles E-Waste with Blockchain. OZY. [online] Disponible en: <https://www.ozy.com/around-the-world/rwanda-trash-warrior-tackles-e-waste-with-blockchain/96604/>

Knight, W. (2018). Google just gave control over data center cooling to an AI. MIT Technology Review. [online] Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2018/08/17/140987/google-just-gave-control-over-data-center-cooling-to-an-ai/>

Kramer, K. y Ware, J. (2019). Counting the cost: 2019: a year of climate breakdown. Christian Aid. [PDF] Disponible en: <https://www.christianaid.org.uk/sites/default/files/2019-12/Counting-the-cost-2019-report-embargoed-27Dec19.pdf>

Lawrence, A. (2019). Is PUE actually going UP? Uptime Institute. [online] Disponible en: <https://journal.uptimeinstitute.com/is-pue-actually-going-up/>

Lepawsky, J. (2018). Almost everything you know about e-waste is wrong. The Conversation. [online] Disponible en: <https://theconversation.com/almost-everything-you-know-about-e-waste-is-wrong-93904>

Malmodin, J. y Lundén, D. (2018). The electricity consumption and operational carbon emissions of ICT network operators 2010-2015. KTH Centre for Sustainable Communications. [PDF] Disponible en: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1177210/FULLTEXT01.pdf>

Malmodin, J. y Lundén, D. (2018). The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015. Sustainability. [PDF] Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3027/pdf>

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., Koomey, J. (2020). Recalibrating global data centre energy-use estimates. *Science* 367 (6481). [online] Disponible en: <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/984/tab-Figuras-data>

Masanet, E. y Lei, N. (2020). How much energy do data centres really use? Aspen Global Change Institute Energy. [PDF] Disponible en: <https://www.agci.org/solutions/quarterly-research/2020-03-DataCentres>

Material Economics. (2018). The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation. Material Economics. [PDF] Disponible en: <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation-1>

Microsoft. (2020). Project Natick. Microsoft. [online] Disponible en: <https://natick.research.microsoft.com/>

Mine, E., Malmodin, J., Bergmark, P., Kimfalk, E. y Nilsson, E. (2016). Life Cycle Assessment of a Smartphone. 4th International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2016). [PDF] Disponible en: <https://download.atlantis-press.com/article/25860375.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, serie 1990-2018 (Informe Resumen). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [PDF] Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/resumen-inventario-gei-ed2020_tcm30-486322.pdf

Moss, S. (2017). Google acquires 109 hectares of land in rural Sweden. *Data Center Dynamics*. [online] Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/google-acquires-109-hectares-of-land-in-rural-sweden/>

NAN. (2020). Senate probes 5G network in Nigeria. *The Guardian, Nigeria*. [online] Disponible en: <https://guardian.ng/news/senate-directs-committees-to-investigate-status-of-5g-network-in-nigeria/>

NAN. (2020). No licence yet to switch on 5G, says Danbatta. *The Guardian Nigeria*. [online] Disponible en: <https://guardian.ng/news/no-licence-yet-to-switch-on-5g-says-danbatta/>

Netflix. (2020). Environmental Social Governance: 2019 Sustainability Accounting Standards Board (SASB) Report. Netflix. [PDF] Disponible en: https://s22.q4cdn.com/959853165/files/doc_downloads/2020/02/0220_Netflix_EnvironmentalSocialGovernanceReport_FINAL.pdf

Noticias ONU. (2015). UN environment chief warns of 'tsunami' of e-waste at conference on chemical treaties. *Naciones Unidas*. [online] Disponible en: <https://news.un.org/en/story/2015/05/497772-un-environment-chief-warns-tsunami-e-waste-conference-chemical-treaties#.VUjJSfVhBc>

Observatorio de Desplazamiento Interno. (2020). Global Internal Displacement Database. Observatorio de Desplazamiento Interno. [online] Disponible en: <https://www.internal-displacement.org/database/displacement-data>

OCDE. (2016). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016. OECD Publishing. [online] Disponible en: https://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en

Organización Internacional de Normalización. (2017). ISO/IEC 30134-5:2017(en). Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 5: IT Equipment Utilization for servers (ITEUsv). Organización Internacional de Normalización. [online] Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso-iec:30134:-5:ed-1:v1:en>

Organización Internacional para las Migraciones. (2020). Migración por motivos ambientales. Portal de datos sobre la migración. [online] Disponible en: https://migrationdataportal.org/es/themes/environmental_migration

Organización Meteorológica Mundial. (2019). La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanza un nuevo récord. Organización Meteorológica Mundial. [online] Disponible en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-concentraci%C3%B3n-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-atm%C3%B3sfera-alcanza>

Organización Mundial de la Salud (2020). 5G mobile networks and health. Organización Mundial de la Salud. [online] Disponible en: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/5g-mobile-networks-and-health>

Panzarino, M. (2018). Apple combines machine learning and Siri teams under Giannandrea. Tech Crunch. [online] Disponible en: <https://techcrunch.com/2018/07/10/apple-combines-machine-learning-and-siri-teams-under-giannandrea/>

Parlamento Europeo (2020). Effects of 5G wireless communication on human health. Parlamento Europeo. [online] Disponible en: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/646172/EPRS_BRI\(2020\)646172_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/646172/EPRS_BRI(2020)646172_EN.pdf)

Platform for Accelerating the Circular Economy. (2019). A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot. Foro Económico Mundial. [PDF] Disponible en: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf

Plepys, A. (2002). The grey side of ICT. Environmental Impact Assessment Review 22(5). [PDF] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222665790_The_grey_side_of_ICT

Powell, J. L. (2016). The Consensus on Anthropogenic Global Warming Matters. Bulletin of Science, Technology & Society 36(3). [PDF] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0270467617707079>

Preist, C., Schien, D. y Shabajee, P. (2019). Evaluating Sustainable Interaction Design of Digital Services: The Case of YouTube. CHI '19: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. May 2019 (397). [online] Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300627>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). Summary Findings of the Pilot Project Internet of Things (IoT) for Climate Early Warning. PNUD. [PDF] Disponible en: https://www.undp.org/content/dam/rwanda/docs/Research_percent20and_percent20publications/IoT_percent20booklet_final_online.pdf

P

uckett, J., Brandt, C., Palmer, H. (2018). Holes in the Circular Economy: WEEE Leakage from Europe. Basel Action Network. [PDF] Disponible en: http://wiki.ban.org/images/f/f4/Holes_in_the_Circular_Economy_-_WEEE_Leakage_from_Europe.pdf

PwC. (2016). Five Megatrends And Their Implications for Global Defense & Security. PwC. [PDF] Disponible en: <https://www.pwc.com/gx/en/government-public-services/assets/five-megatrends-implications.pdf>

Rasay, S., Tariq, T., Akins, A. (2019). AI's large carbon footprint poses risks for big tech. S&P Global. [online] Disponible en: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/trending/HyvWuXMO9YgqH-fj7J6tGIA2>

Raworth, K. (2017). Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist. Chelsea Green Publishing, EE. UU. [PDF] Disponible en: <https://books.google.es/books?id=SUYtD-gAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Research Center for Bioelectromagnetic Interaction. (2020). EMF-portal. RWTH Aachen University. [online] Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en>

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. RREUSE. (2017). Reduced taxation to support re-use and repair. RREUSE. [PDF] Disponible en: http://www.rreuse.org/wp-content/uploads/RREUSE-position-on-VAT-2017-Final-website_1.pdf

Rolnick, D., et al. (2019). Tackling Climate Change with Machine Learning. Climate Change AI. [PDF] Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1906.05433.pdf>

Rotman, D. (2020). We're not prepared for the end of Moore's Law. The MIT Technology Review. [online] Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2020/02/24/905789/were-not-prepared-for-the-end-of-moores-law/>

Rotolo, D., Hicks, D. y Martin, B. (2015). What Is an Emerging Technology? Research Policy. 44 (10). [online] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272164853_What_Is_an_Emerging_Technology

Sandvine. (2020). Mobile Internet Phenomena Report. Sandvine. [PDF] Disponible en: <https://www.sandvine.com/download-report-mobile-internet-phenomena-report-2020-sandvine>

Sandvine. (2019). Global Internet Phenomena Report. Sandvine. [PDF] Disponible en: <https://www.sandvine.com/global-internet-phenomena-report-2019>

Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. Foro Económico Mundial. [online] Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>

Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N., Etzioni, O. (2019). Green AI. arXiv:1907.10597v3. [PDF] Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1907.10597.pdf>

Shehabi, A. et al. (2016). United States Data Centre Energy Usage Report. Federal Energy Management Programme of the U.S. Department of Energy under Lawrence Berkeley National Laboratory Contract. [PDF] Disponible en: https://eta.lbl.gov/sites/all/files/publications/lbnl-1005775_v2.pdf

Smith, B. (2020). A healthy society requires a healthy planet. Official Microsoft Blog. [online] Disponible en: <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/04/15/a-healthy-society-requires-a-healthy-planet/>

Smith, B., 2020. Microsoft Will Be Carbon Negative By 2030. The Official Microsoft Blog. [online] Disponible en: <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>

Steffen, W., Rockström, J., Richardson, J., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C. P., Barnosky, A. D., Cornell, S. E., Crucifix, M., Donges, J. F., Fetzer, I., Lade, S. J., Scheffer, M., Winkelmann, R., Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(33). [PDF] Disponible en: <https://www.pnas.org/content/115/33/8252/tab-article-info>

Strubell, E., Ganesh, A., McCallum, A. (2019). Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. College of Information and Computer Sciences, University of Massachusetts Amherst. [PDF] Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1906.02243.pdf>

Supermicro. (2019). Data Centres & The Environment: 2019 Report on the State of the Green Data Centre. Supermicro. [PDF] Disponible en: <https://www.supermicro.com/en/white-paper/datacentre-report>

Supermicro. (2018). Data Centres & The Environment. The State of Global Environmental Sustainability in Data Centre Design. Supermicro. [PDF] Disponible en: https://www.supermicro.com/wekeepitgreen/Data_Centres_and_the_Environment_Dec2018_Final.pdf

Sverdlik, Y. (2020). Study: Data Centers Responsible for 1 Percent of All Electricity Consumed Worldwide. Data Center Knowledge. [online] Disponible en: <https://www.datacenterknowledge.com/energy/study-data-centers-responsible-1-percent-all-electricity-consumed-worldwide>

Tech UK. (2019). UK Data Centre Sector Energy Routemap. Tech UK. [PDF] Disponible en: <https://www.techuk.org/insights/reports/item/16263-data-centre-energy-routemap>

Temper, L., y Martínez Alier, J. (2020). EJAtlas - Global Atlas of Environmental Justice. Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA), Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). [online] Disponible en: <https://ejatlas.org/>

The ASEAN Post Team (2018). E-waste chokes Southeast Asia. The ASEAN Post. [online] Disponible en: <https://theaseanpost.com/article/e-waste-chokes-southeast-asia>

Tincq, B., Cunha Brito, M. y Sinet, L. (2019). The Frontiers of Impact Tech: Moonshots worth taking in the 21st century. Good Tech Lab. [PDF] Disponible en: <https://www.goodtechlab.io/reports#frontiers-1>

Trisos, C. H., Merow, C. y Pigot, A. L. (2020). The projected timing of abrupt ecological disruption from climate change. *Nature* 580. [PDF] Disponible en:

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2189-9>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2020). ICTs for a Sustainable World #ICT4SDG. Unión Internacional de Telecomunicaciones. [online] Disponible en: <https://www.itu.int/en/sustainable-world/Pages/default.aspx>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2018). La UIT publica las estimaciones mundiales y regionales de TIC de 2018 Unión Internacional de Telecomunicaciones. [online] Disponible en: <https://www.itu.int/es/mediacentre/Pages/es/2018-PR40.aspx>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2017). Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). Unión Internacional de Telecomunicaciones. [PDF] Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2410-2017-PDF-E.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2015). IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Unión Internacional de Telecomunicaciones. [PDF] Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf

Vereecken, W., Heddeghem, W., Colle, D., Pickavet, M. y Demeester, P. (2010). Overall ICT footprint and green communication technologies. 2010 4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP). [PDF] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/224137694_Overall_ICT_footprint_and_green_communication_technologies

Wahlroos, M., Parssinen, M., Manner, J. y Syri, S. (2017). Utilizing data center waste heat in district heating – Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks. *Energy* 140(1). [PDF] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217314548>

Waring, J. (2019). Data use surges on Korea 5G networks. *Mobile World Live*. [online] Disponible en: <https://www.mobileworldlive.com/asia/asia-news/data-use-surges-on-korea-5g-networks/>

Welfens, M., Nordmann, J., Seibt, A. y Schmitt, M. (2013). Acceptance of Mobile Phone Return Programmes for Increased Resource Efficiency by Young People—Experiences from a German Research Project. *Resources* 2. [PDF] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/274656307_Acceptance_of_Mobile_Phone_Return_Programmes_for_Increased_Resource_Efficiency_by_Young_People-Experiences_from_a_German_Research_Project

Wilkinson, J. (2019). 5 frontier technology trends shaping international development. *Bond*. [online] Disponible en: <https://www.bond.org.uk/news/2019/06/5-frontier-technology-trends-shaping-international-development>

You, H., Li, C., Xu, P., Fu, Y., Wang, Y., Baraniuk, R., Yingyan, L., Chen, X., Wang, Z. (2020). Drawing Early-Bird Tickets: Towards More Efficient Training of Deep Networks. *International Conference on Learning Representations 2020*. [PDF] Disponible en: <https://openreview.net/pdf?id=BJxsrgStvr>

Young, K. (2018). The Rise of Green Consumerism: What do Brands Need to Know? *Global Web Index*. [online] Disponible en: <https://blog.globalwebindex.com/chart-of-the-week/green-consumerism/>

Zeldin-O'Neill, S. (2019). 'It's a crisis, not a change': the six Guardian language changes on climate matters. The Guardian. [online] Disponible en:
<https://www.theguardian.com/environment/2019/oct/16/guardian-language-changes-climate-environment>

Zero Waste Europe (2018). The Story of eReuse. Zero Waste Consumption & Production. Zero Waste Europe. [online] Disponible en:
<https://zerowasteurope.eu/downloads/case-study-3-the-story-of-ereuse>

ZTE. (2020). ZTE and China Mobile Research Institute promote the energy saving of commercial 5G base stations. ZTE news. [online] Disponible en:
<https://www.zte.com.cn/global/about/news/20200319e2.html>

Agradecimientos

Autor principal

- **Lluís Torrent i Bescós**, experto independiente en cambio climático

Colaboradores expertos

El presente informe se basa en los conocimientos y aportaciones de los siguientes expertos:

- **Álex Puig**, director de tecnología de Caelum Labs
- **Asun Lera St.Clair**, asesora sénior del Barcelona Supercomputing Center
- **Benjamin Tincq**, cofundador de Good Tech Lab
- **David Iglesias**, director de tecnología de Keliam
- **Emanuel Kolta**, analista sénior de GSMA
- **Federico Ruiz**, director de ON5G
- **Frédéric Bordage**, fundador y director de Green IT France
- **Hugues Ferreboeuf**, ingeniero de investigación del Centre National de la Recherche Scientifique
- **Ian Bitterlin**, consultor principal de Critical Facilities Consulting
- **Katharina Schaaf**, directora de proyectos de GIZ
- **Manuella Cunha Brito**, cofundadora de Good Tech Lab
- **Michael Brukhardt**, miembro fundador y responsable de Marketing y Alianzas Comunitarias de Omdena
- **Miguel Ángel Martínez-Boti**, oficial de políticas de la DG Investigación e Innovación de la Comisión Europea
- **Rudradeb Mitra**, fundador de Omdena
- **Sofia Garín Martínez**, ingeniera de diseño sostenible de Inèdit
- **Steven Gutteridge**, responsable de tecnología de AKQA
- **Steven Moore**, responsable de acción por el clima de GSMA

El equipo de Digital Future Society Think Tank

Gracias a los siguientes compañeros de Digital Future Society Think Tank por sus aportaciones y su apoyo en la elaboración de este informe:

- **Carina Lopes**, directora de Digital Future Society Think Tank
- **Patrick Devaney**, editor de Digital Future Society Think Tank
- **Olivia Blanchard**, investigadora de Digital Future Society Think Tank
- **Tanya Álvarez**, investigadora de Digital Future Society Think Tank

Citas

Este informe se debe citar de la siguiente manera:

- Digital Future Society. (2020). Tecnologías emergentes: riesgos y oportunidades en la década del clima. Barcelona, España

