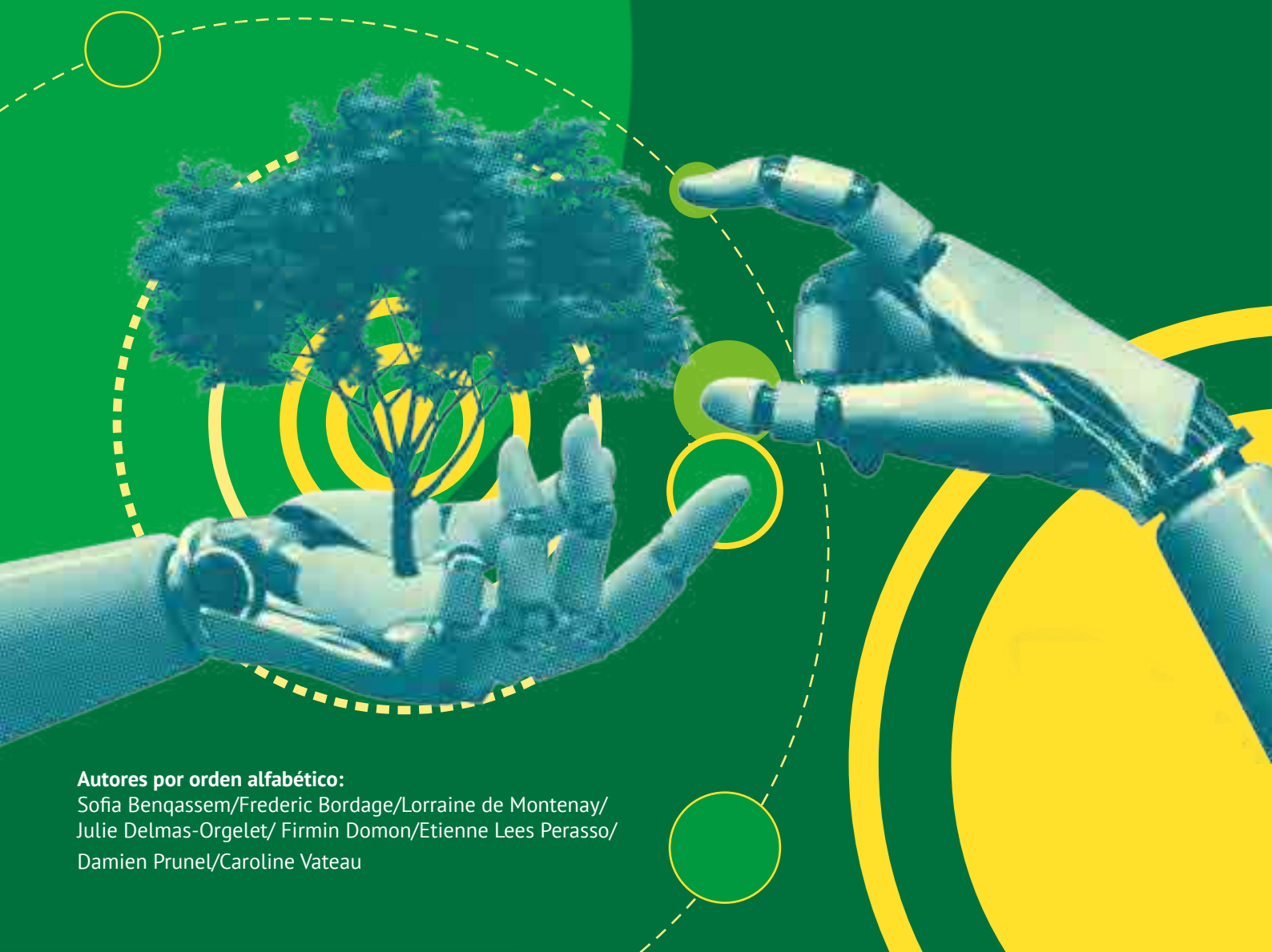


# MÁS ALLÁ DE LOS NÚMEROS

Comprender y actuar  
contra las repercusiones  
medioambientales de las TIC



**Autores por orden alfabético:**

Sofia Benqassem/Frederic Bordage/Lorraine de Montenay/  
Julie Delmas-Orgelet/ Firmin Domon/Etienne Lees Perasso/  
Damien Prunel/Caroline Vateau

# Índice

|                                                        |                 |
|--------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Los autores .....</b>                               | <b>pág. 2</b>   |
| <b>Metodología de estudios de caso .....</b>           | <b>pág. 3</b>   |
| <b>Resumen de estudios de caso .....</b>               | <b>pág. 5</b>   |
| <b>Estudios de caso tecnológicos.....</b>              | <b>pág. 6</b>   |
| IdC y objetos conectados.....                          | pág. 7          |
| Inteligencia Artificial .....                          | pág. 20         |
| Informática en la nube.....                            | pág. 31         |
| 5G .....                                               | pág. 43         |
| Vehículos Autónomos .....                              | pág. 55         |
| <b>Efectos medioambientales estudios de caso .....</b> | <b>pág. 64</b>  |
| Efectos rebote debidos a las TIC .....                 | pág. 65         |
| Materias primas en las TIC .....                       | pág. 77         |
| Residuos Electrónicos y Economía Circular .....        | pág. 90         |
| <b>Recomendaciones.....</b>                            | <b>pág. 102</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>                              | <b>pág. 117</b> |

# Los autores

Este estudio se ha preparado bajo la dirección de Frédéric Bordage, fundador de GreenIT.fr.

La dirección del proyecto del estudio estuvo a cargo de Lorraine de Montenay, consultora independiente y miembro del colectivo GreenIT.fr.

Los estudios de caso fueron preparados y escritos por Lorraine de Montenay, con contribuciones de Julie Orgelet, Frédéric Bordage, Etienne Lees-Perasso, Damien Prunel, Caroline Vateau, Romain Mahasenga y Sofia Benqassem, y la experiencia de Michel Bénard, Jacques Combaz, Claire Downey, Laura Draetta, Fabrice Flipo, Guillaume Pitron y Gauthier Roussilhe a quienes agradecemos la calidad de sus contribuciones y su participación.

## Cómo citar este informe:

Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E. GreenIT.fr. 2021. *Más allá de los números: Comprender y actuar contra las repercusiones medioambientales de las TIC*

# Metodología de estudios de caso

Para algunas de las innovaciones tecnológicas más recientes en el ámbito de las TIC, como por ejemplo la Inteligencia Artificial, no se dispone de datos suficientes para medir las repercusiones medioambientales de estas tecnologías y estimar con un enfoque cuantificado sus impactos medioambientales a escala europea en un análisis multicriterio del ciclo de vida (ACV). Sin embargo, **que no se disponga de datos no significa que no haya repercusiones medioambientales**. Aun así, se ha decidido abordar estos temas aunque no pudieran integrarse en el ACV a fin de limitar los puntos ciegos.

Dado que el objetivo de este estudio es poner al alcance de una amplia audiencia la comprensión de los impactos ambientales de la tecnología digital, hemos querido ofrecer al público en general la oportunidad de familiarizarse con el método científico del análisis del ciclo de vida y de comprender, más allá de las cifras del análisis del ciclo de vida, los principales problemas ambientales vinculados con la tecnología digital.

Para asegurar la comprensión global de los impactos ambientales de las tecnologías digitales y dar respuesta a estas dificultades, hemos redactado 8 estudios de caso.

Los estudios de caso se han seleccionado para representar los temas clave que permiten comprender **el funcionamiento actual del ecosistema digital y los problemas medioambientales que plantea para el presente y el futuro**.

Hemos agrupado los Estudios de caso en dos categorías: estudios de caso centrados en tecnologías y estudios de caso centrados en impactos medioambientales.

Los estudios de caso “tecnológicos” se centran en los siguientes temas:

1. **El Internet de las Cosas (IdC) y los objetos conectados**
2. **Inteligencia artificial**
3. **La nube**
4. **5G**
5. **Vehículos autónomos**

Los estudios de caso de “efectos medioambientales” se centran en los siguientes temas:

6. **Efectos rebote**
7. **Materias primas**
8. **Residuos electrónicos y economía circular**

## ¿Cómo se conforman los estudios de caso?

Cada estudio de caso comienza con un encabezado de “datos clave para la magnitud”, que permite navegar rápidamente por los aspectos clave con una perspectiva amplia, a escala global o europea.

En cada uno de los estudios de caso el resumen ayuda a entender los puntos clave que en él se desarrollan.

Cada estudio de caso cuenta además con un apartado de definiciones: esta sección ayudará a los no expertos en tecnología a comprender las definiciones más importantes en ese ámbito o, en el caso de los estudios de caso ambientales, a entender las nociones clave en materia de medio ambiente.

El objetivo de cada estudio de caso es explicar en qué medida la tecnología abordada es una ayuda o un obstáculo para el clima y el medio ambiente, así como destacar algunas conclusiones clave o, cuando ha sido posible, aportar ejemplos de soluciones. En cuanto a los estudios de caso medioambientales (efectos de rebote, materias primas, residuos electrónicos y economía circular), se abordan los impactos y los principales retos para Europa.

A lo largo de los 4 meses de investigación y redacción de esos 8 estudios de caso también hemos entrevistado a expertos externos, brindando una visión

complementaria a los diferentes temas explorados. Sus aportaciones se ponen a disposición del lector en el recuadro “opinión del experto”, en cada estudio de caso en el que hemos podido contar con su participación. Les agradecemos especialmente su tiempo y sus diversas y siempre cualificadas contribuciones, que amplían la perspectiva de nuestros estudios de caso: Michel Bénard, Jacques Combaz, Claire Downey, Laura Draetta, Fabrice Flipo, Guillaume Pitron, Gauthier Roussilhe.

## **Aportan estudios de caso rigurosos pero de lectura accesible**

Hemos tratado de garantizar que los estudios de caso fueran rigurosos y accesibles tanto para los no iniciados como para personas con conocimientos avanzados en el ámbito de las repercusiones medioambientales de las TIC.

Para garantizar que los estudios de caso estuvieran redactados con rigor, se han tomado como referencia, dentro de lo posible, estudios de evaluación del ciclo de vida revisados críticamente a fin de respaldar los textos, y se han tenido en cuenta los conocimientos más avanzados en cada uno de los temas a tratar. También se ha tenido la máxima transparencia posible respecto a las fuentes de los datos, proporcionándolas en las notas a pie de página y aportando un hipervínculo al recurso cuando ha sido factible. Siempre que ha sido posible, el estudio se ha basado en datos de acceso público. Además los estudios de caso fueron revisados de forma cruzada por al menos 3 personas diferentes del equipo y se entrevistó a un experto en cada estudio de caso (6 estudios de caso sobre 8).

Para que los estudios de casos fueran accesibles a todo el mundo, hemos buscado un término medio entre la concisión y el aporte necesario de datos para que las cadenas lógicas sean transparentes. Nuestros estudios de caso tienen de 9 a 13 páginas cada uno, lo que permite al lector elegir el nivel de detalle adecuado: el lector puede hacer una lectura rápida, centrándose en el encabezado “datos para la magnitud” al comienzo de cada estudio de caso, las figuras y las citas, o realizar una lectura más profunda desde el principio hasta el final de cada estudio de caso. El lector que desee tener una comprensión más profunda sobre un tema específico abordado en un estudio de caso podrá adquirir fácilmente conocimientos complementarios siguiendo los enlaces a las fuentes utilizadas.

## **De las interrelaciones entre los temas de los estudios de caso a los hallazgos: interdependencia entre una tecnología y otra**

Como cada tema abordado en los estudios de caso abre muchas puertas a otros temas, tuvimos que limitar el campo de nuestro trabajo para no convertir el proyecto en una Wikipedia de la huella ambiental de las TIC (lo que sería fantástico, pero supone un trabajo enorme que ni era el objetivo ni era compatible con el alcance del trabajo). Sin embargo, encontramos muchos vínculos entre los diferentes temas tratados en los estudios de caso, que hemos destacado para facilitar la navegación de un estudio de caso a otro. Al final de este trabajo, la observación que hacemos es que existen, más allá de las simples interconexiones entre estos sujetos, vínculos reales de dependencia de una tecnología a otra, y que encontramos en estos estudios de caso.

# Resumen de estudios de caso

## ESTUDIOS DE CASO TECNOLÓGICOS

|                          |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IdC y objetos conectados | p. 7  | El IdC se está expandiendo rápidamente, pero en realidad solo acaba de empezar a crecer. <b>El aumento de IdC ya está contribuyendo, y seguirá haciéndolo, a poner en peligro tanto el clima como las existencias de recursos críticos</b> que se utilizan para fabricar tecnologías TIC y de desarrollo sostenible (baterías de vehículos eléctricos, paneles fotovoltaicos).                                                        |
| Inteligencia Artificial  | p. 20 | El procesamiento y el aprendizaje de la Inteligencia Artificial consumen mucha energía. <b>Eliminar la obtención y el procesamiento de datos innecesarios, así como considerar el costo real de las “aplicaciones gratuitas”</b> o los “datos gratuitos” son dos claves para reducir y regular la avidez de la IA.                                                                                                                    |
| Informática en la nube   | p. 31 | <b>A corto plazo</b> , la prioridad es limitar los servidores zombies con grandes beneficios económicos. <b>A largo plazo</b> , integrar una nube limpia en un plan digital, garantizar que la programación en el borde no elimina los beneficios de la mutualización de la nube por ahorrar unos milisegundos y estimular las mejores prácticas de los usuarios.                                                                     |
| 5G                       | p. 43 | Si el 5G precipita la producción de más terminales y objetos conectados, estos efectos exacerbarán innegablemente la minería y contribuirán a la insostenibilidad del sector digital.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Vehículos autónomos      | p. 55 | <b>Se ha demostrado que los vehículos autónomos aumentan la distancia recorrida en coche y reducen la proporción de transporte público y modos de transporte lentos. Esto podría exacerbar las emisiones de GEI.</b> Para evitar este predecible efecto rebote, los comportamientos de los usuarios deben tenerse en cuenta en la toma de decisiones con una visión más amplia de la evolución de las infraestructuras de transporte. |

## ESTUDIOS DE CASO SOBRE LOS EFECTOS MEDIOAMBIENTALES

|                                           |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Efectos rebote                            | p. 65 | La eficiencia tecnológica trae consigo de forma sistemática efectos de rebote sistémicos a gran escala si no se le asocian medidas de sobriedad tecnológica de forma inmediata. <b>Las políticas deben tener en cuenta tanto los comportamientos de los usuarios como las estrategias de los agentes económicos para evitar los efectos de rebote.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Materias primas en las TIC                | p. 77 | <b>Las materias primas utilizadas en las TIC no son renovables. Las existencias de minerales y metales son limitadas y de acceso desigual en el planeta.</b> La autonomía de la UE no puede garantizarse mediante la minería dentro de sus fronteras. La extracción y refinado de las materias primas tiene un enorme y variado impacto medioambiental, lo que significa que, incluso en los casos más sostenibles, la extracción y el refinado provocan múltiples y frecuentes desastres ambientales. <b>La extracción y refinado de metales es la segunda actividad humana más contaminante de la Tierra, justo después del reciclaje de baterías de plomo.</b> |
| Residuos electrónicos & economía circular | p. 90 | <b>Es necesario aumentar la recogida de equipos (en funcionamiento o no) para estimular la economía circular y el interés de la industria por el reciclaje.</b> La Convención de Basilea todavía no está siendo respetada por la UE, pese a que <b>la UE tiene intereses de soberanía a corto plazo para conservar y reciclar los RAEE dentro de sus fronteras.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

# ESTUDIOS DE CASO TECNOLÓGICOS:

- IdC y objetos conectados
- Inteligencia Artificial
- Informática en la nube
- 5G
- Vehículos autónomos



# IdC y objetos conectados

## Índice

|                                                                                                               |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Claves para comprender</b> .....                                                                           | pág. 8  |
| <b>Resumen del estudio de caso</b> .....                                                                      | pág. 8  |
| <b>Definiciones</b> .....                                                                                     | pág. 8  |
| <b>¿Qué es el IdC?</b> .....                                                                                  | pág. 8  |
| <b>Conceptos principales</b> .....                                                                            | pág. 9  |
| <b>Problemas ambientales relacionados con las aplicaciones del IdC</b> .....                                  | pág. 10 |
| <b>IdC: ¿una herramienta para alcanzar los objetivos de reducción de los impactos medioambientales?</b> ..... | pág. 10 |
| <i>Enfoque en un ACV comparativo de tres casos de campana extractora de cocina</i> .....                      | pág. 11 |
| <b>IdC: ¿un obstáculo para alcanzar los objetivos de reducción de los impactos medioambientales?</b> .....    | pág. 12 |
| <i>Enfoque en el ejemplo del ACV del reloj Samsung Galaxy</i> .....                                           | pág. 12 |
| <i>La opinión del experto</i> .....                                                                           | pág. 16 |
| <b>Conclusión</b> .....                                                                                       | pág. 18 |
| <i>Recomendaciones para una evolución digital compatible con el Acuerdo Verde</i> .....                       | pág. 19 |





# Claves para comprender



## Resumen de estudio de caso

El IdC es un área tecnológica joven y compleja que reagrupa una miscelánea de dispositivos electrónicos conectados que son difíciles de definir y contabilizar y cada vez más difíciles de medir en términos de impacto ambiental, ya que se diversifican cada vez más rápidamente y experimentan un crecimiento exponencial.

En la primera sección de este estudio de caso, exploraremos qué es el IdC y qué tipo de dispositivos conectados lo componen. En la segunda sección proporcionaremos una descripción general de los problemas ambientales relacionados con IdC y su aumento exponencial. Con dos ejemplos concretos procedentes de la literatura especializada, veremos que uno de los principales problemas relacionados con IoT es la entropía de los recursos de materias primas utilizados para fabricar compuestos electrónicos a medida que aumenta la fabricación de dispositivos conectados, y que incluso cuando los dispositivos inteligentes se pueden usar para limitar las emisiones de gases de

efecto invernadero, la transferencia de impacto debe considerarse al menos en lo que respecta a la disponibilidad de materias primas.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los dispositivos IdC están destinados al mercado de consumo o la industria, y la proporción de dispositivos conectados que servirán para limitar y reducir los impactos ambientales de las actividades humanas aún es difícil de predecir, ¿se puede diseñar el IdC para dar forma activa a un futuro sostenible? Nuestra sección de recomendaciones ofrece algunas líneas maestras.

## Definiciones

### ¿Qué es el IdC?

El Internet de las Cosas (IdC) es definido por la ITU como “una infraestructura global de la sociedad de la información, que permite ofrecer servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperatividad de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) presentes y futuras.”<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx> (última consulta: 04/02/2021)



El objetivo del IdC es conectar dispositivos, llamados objetos conectados, tanto a Internet como entre ellos. Los objetos conectados son una categoría amplia que se puede dividir en:

- Dispositivos personales: Altavoces conectados, relojes inteligentes, altavoces Bluetooth, gafas RV/RA, etc.
- Dispositivos domésticos conectados: Para la gestión de la energía, los sistemas de alarma para el hogar conectados, los electrodomésticos conectados, como refrigeradores, robots aspiradores, etc.
- Dispositivos públicos de IdC y ciudades inteligentes: Cámaras de seguridad, dispositivos de control del tráfico, distribución de energía y optimización de la red, sensores para recopilar, analizar y compartir datos para mejorar la planificación urbana, etc.
- Dispositivos para la salud y la asistencia médica: Para controlar la presión arterial, el nivel de azúcar, el peso corporal, etc.
- Industria y dispositivos de fabricación: Sistemas automatizados de control de calidad, monitorización de la producción, etc., para mejorar el rendimiento operativo y aumentar la productividad.

### La expansión de la red: de la red de las cosas a la red de los pensamientos



Fuente: ©TrendONE 2008 por Nils Müller; [trendONE.de](http://trendONE.de). Todos los derechos reservados.

- Dispositivos de transporte y movilidad: Vehículos conectados, telemática y gestión de flotas para el diagnóstico o monitorización de vehículos (monitorización de baterías, monitorización de presión de rotura, monitorización de conductores, etc.).

*“Los ordenadores personales, tabletas y teléfonos inteligentes conectados NO se consideran IdC aunque pueden ser parte de la configuración de la solución.”*

Fuente: IoT Analytics

## Conceptos principales

- Objetos conectados u objetos inteligentes:** Objetos conectados a Internet con un conjunto de funciones que permiten al objeto mejorar sus características gracias a las actualizaciones de datos y software proporcionadas a través de Internet.

Los dispositivos inteligentes disponen de tres tipos de componentes de hardware: componentes iniciales del objeto, componentes inteligentes y componentes de conectividad.

- Entre los **componentes iniciales del objeto** se incluyen las partes mecánicas y eléctricas del producto que existen incluso cuando no se trata de un objeto conectado (nevera, cámara, altavoz, etc.).

- Llamamos **componentes inteligentes** a sensores, microprocesadores y dispositivos de almacenamiento de datos. Además de esta base de componentes de hardware, el dispositivo inteligente puede incluir un software (que no es un componente) que aporta su parte de “inteligencia” a través del sistema operativo y una interfaz de usuario mejorada que permite el control del dispositivo.

- Como **componentes de conectividad** se incluyen los puertos y antenas que permiten conexiones con el producto tanto por cable como inalámbricas.

La inteligencia (componentes de detección de software y hardware) y la conectividad otorgan a los objetos o productos cuatro nuevas capacidades: monitorización, control, optimización y autonomía, cada una de las cuales se basa en la anterior.<sup>2</sup>



Los dispositivos inteligentes no son objetos aislados: para ser “inteligentes”, los dispositivos dependen de una red para comunicarse y operar con otros dispositivos o para proporcionarles datos y también dependen de unidades de computación locales (edge computing) o remotas (centros de datos).

veremos que a medida que se fabrican más y más dispositivos conectados, cada uno de ellos contribuye a la producción y difusión de residuos electrónicos que contienen materiales raros y preciosos. Por último, nos preguntamos cuáles son las consecuencias previsibles del futuro auge del IdC.

## Problemas ambientales relacionados con las aplicaciones del IdC

Al observar la miscelánea de dispositivos del IdC, la falta de evaluaciones del ciclo de vida para los objetos conectados y el hecho de que el IdC es una industria que se mueve muy rápidamente, es casi imposible proporcionar una visión general completa de sus impactos medioambientales. En esta sección veremos que la información proporcionada por las evaluaciones de ciclo de vida existentes sobre algunos de los dispositivos conectados nos invita a considerar los beneficios y costos ambientales generales en un enfoque multicriterio y a limitar las transferencias de impacto al plantear el diseño de los dispositivos inteligentes para que sea respetuoso con el medio ambiente. También

## IdC: ¿una herramienta para alcanzar los objetivos de reducción de impactos ambientales?

En algunos casos, las aplicaciones de IdC están diseñadas para ayudar a reducir las repercusiones medioambientales de las actividades humanas, por ejemplo, cuando se utilizan junto con la IA para monitorizar el tráfico a fin de reducir la contaminación atmosférica o para optimizar la fabricación industrial o el mantenimiento predictivo. Sin embargo, en la mayoría de los casos descritos en la literatura, no se evalúan los impactos ambientales de las propias soluciones, lo que hace imposible juzgar si el impacto general resulta favorable o no para nuestra huella ambiental ([véase nuestro estudio de caso sobre IA](#)).





## Enfoque en un ACV comparativo de tres casos de campanas extractoras de cocina\*

En 2018, un equipo italiano realizó una evaluación comparativa del ciclo de vida de tres casos de campanas extractoras de cocina:

- Sistema A: campana extractora de cocina convencional
- Sistema B: campana extractora inteligente
- Sistema C: campana extractora inteligente con filtro y sistema de aspiración inteligente adicional

Este ACV apunta claramente al hecho de que es posible una reducción significativa de la categoría de impacto del cambio climático con algunas compensaciones. En la disertación, los investigadores explican que “desde una perspectiva general, la introducción de estrategias para la reducción de la energía consumida a lo largo de todo el ciclo de vida del producto determina una contracción significativa de los impactos relacionados. Sin embargo, si se observan ciertas categorías de impacto (por ejemplo, en este caso, “Toxicidad humana” y “Agotamiento de metales”), el uso de componentes eléctricos y electrónicos influye negativamente en el comportamiento medioambiental. Además, en los casos analizados, la disminución del consumo de energía se produce a expensas de las buenas condiciones del aire, que son penalizadas por un menor flujo de aspiración y reducción de intercambio de aire.”

Esto significa que aunque el consumo de energía de la campana de cocina está limitado a lo largo de su ciclo de vida, desde la producción hasta el final de su vida útil, esta disminución en el consumo se compensa con una limitación en su uso primario y hay una transferencia de impacto a considerar con respecto al agotamiento de metales y la toxicidad humana.

**El estudio indica claramente que no solo se debe considerar uno, sino una pluralidad de parámetros ambientales al diseñar dispositivos inteligentes para evitar la transferencia de impactos:** *“De acuerdo con las configuraciones de productos analizadas actualmente desde un punto de vista ambiental, el uso de ciertos materiales, tales como metales raros y metales preciosos, deben reducirse. Paralelamente, es necesario adoptar cuidadosamente estrategias para considerar también otros parámetros “ambientales” en el desarrollo de dispositivos inteligentes, evitando así la transferencia de “impacto”, que no puede descuidarse en un concepto amplio de sostenibilidad ambiental.”*

\* V. Castorani et al., *Life cycle assessment of home smart objects: kitchen hood cases*, 2018

En otros casos aún poco frecuentes, como el opuesto, una evaluación del ciclo de vida nos permite ver de qué manera los dispositivos conectados (en este caso, las campanas extractoras conectadas) podrían ayudar a reducir, o al menos limitar, nuestra huella ambiental.

No es posible juzgar todos los casos de uso de dispositivos conectados sobre la base de un caso; sin embargo, otras evaluaciones del ciclo de vida en dispositivos inteligentes o unidades que funcionan más ampliamente en el IoT a menudo tienden a sacar conclusiones similares, lo que muestra que la reducción del impacto de un objeto IoT en comparación con una unidad funcional que no es IoT no siempre es clara o puede ser muy limitada y puede dar como resultado transferencias de impacto, sobre todo el agotamiento de materias primas y la producción de residuos peligrosos.<sup>3</sup>

Con respecto a la velocidad de desarrollo del IdC y la variedad de dispositivos conectados, el número de estudios destinados a comprender la sostenibilidad de las soluciones de IoT para la medición inteligente y, en general, el impacto ambiental del IdC sigue siendo bajo. Una medición más sistemática de los impactos ambientales de los nuevos dispositivos conectados nos permitiría evaluar y cuantificar mejor las condiciones en las que los dispositivos conectados y el IoT podrían ser una palanca para reducir los impactos ambientales, o al menos contribuir a su reducción a base de limitar su transferencia.

3 Lelah A, Mathieux F, Brissaud D, *Contributions to eco-design of machine-to-machine product service systems: the example of waste glass collection*, 2011; Bonvoisin J, Lelah A, Mathieux F, Brissaud D, *An integrated method for environmental assessment and ecodesign of ICT-based optimization services*, 2014; Ingemarsdotter, E., Diener, D., Andersson, S. et al., *Quantifying the Net Environmental Impact of Using IoT to Support Circular Strategies – The Case of Heavy-Duty Truck Tires in Sweden*, 2021



# IdC: ¿un obstáculo para alcanzar los objetivos de reducción de impactos ambientales?

Actualmente, un tsunami de objetos conectados está arrasando en nuestra vida cotidiana y este auge no está exento de consecuencias para el medio ambiente. El ascenso meteórico del IdC plantea tres grandes problemas ambientales:

1. Las repercusiones medioambientales de la fabricación, uso y final de la vida útil de cada dispositivo
2. Las repercusiones medioambientales del procesamiento de datos (a través de centros de datos o edge computing)
3. El posible efecto rebote (paradoja de Jevons) del IdC

## Enfoque en el ejemplo del ACV del reloj Samsung Galaxy\*

Un informe de evaluación del ciclo de vida publicado en 2020 demuestra que se utilizan más de 22 sustancias para fabricar el reloj inteligente Samsung Galaxy (46 mm). Los minerales y metales (magnesio, hierro, cobre, cromo, níquel, manganeso y zinc) representan más del 90,56% de la concentración, mientras que los elementos no metálicos (como silicio y azufre) representan aproximadamente el 8% y las sustancias peligrosas (como plomo, arsénico, bromo y mercurio) no más de 900 ppm.

Este estudio también evalúa tres escenarios de usuario diferentes para la etapa de uso (basado en un uso de 3 años): un escenario de alto consumo (usuario avanzado), un escenario de usuario promedio (usuario habitual) y un escenario de usuario ecológico, lo que muestra que el escenario de mayor consumo puede casi duplicar la huella de carbono del reloj inteligente en comparación con el caso de uso más ecológico.

\* H. Vo, J. Kattleus, S. Karki, S. Shopneel, [Life Cycle Assessment Summary Samsung Galaxy Watch](#), 2020

## Una visión general de los impactos ambientales de la fabricación y el final de la vida útil de cada dispositivo

Al evaluar los impactos ambientales de un objeto conectado en una evaluación del ciclo de vida, se tienen en cuenta tanto los componentes inteligentes como los de conectividad. También se incluyen componentes que habrían formado parte del objeto incluso si no hubiera sido “inteligente”, a menos que el objetivo del ACV sea evaluar los impactos ambientales de las TIC (si estos componentes no son componentes electrónicos).

Los componentes de detección y conectividad contienen una amplia variedad de materias primas como magnesio, hierro, cobre, silicio, cromo, níquel, etc. (véase nuestro estudio de caso sobre materias primas). Por ejemplo, un ACV del Samsung Galaxy Watch (46 mm) muestra que se utilizan más de 22 subsistemas de interés para fabricar el reloj (ver ejemplo de la izquierda)<sup>4</sup>.

Aunque los hallazgos de este estudio se refieren solo a un tipo de reloj conectado y a un tipo de dispositivo entre la galaxia de objetos conectados, son un recordatorio de dónde se encuentran las principales áreas de impacto ambiental de los objetos conectados (principalmente durante la fase de fabricación), que es el caso de la mayoría de los dispositivos de usuario de TIC, como teléfonos inteligentes, computadoras portátiles, tabletas, etc.

*“El IdC no es solo una multitud de objetos conectados, sino también toda la infraestructura de Internet que permite que estos dispositivos se conecten entre sí y con el resto del mundo. Esto significa que hay millones de servidores, kilómetros de cables de cobre y fibras ópticas, cajas de Internet, etc. que deben añadirse a la ecuación.”*



La extracción y el uso en la fabricación de estas materias primas contribuyen en gran medida a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), además del agotamiento del agua y de las materias primas.

Además, los objetos conectados se caracterizan por diseminar por todo el mundo cantidades minúsculas de numerosas materias primas críticas que se han utilizado para producir una gran variedad de pequeños objetos conectados. Una vez que estos materiales han sido extraídos, procesados y utilizados para fabricar componentes pequeños, a veces en forma de aleaciones, su tasa de reciclabilidad disminuye drásticamente (véase nuestro estudio de caso sobre materias primas). Actualmente, la mayoría de los diseñadores de objetos conectados no tienen en cuenta los impactos ambientales al diseñar los objetos, lo que es una oportunidad perdida para que los reguladores garanticen la trazabilidad y el reciclaje efectivos de este residuo electrónico difuso.

## Una visión general de los impactos ambientales del procesamiento de datos

### Se necesita una visión sistémica

Cuando se realiza una evaluación del ciclo de vida considerando una unidad funcional completa, por ejemplo “Control automático del riego de una pradera de césped teniendo en cuenta la humedad del suelo y la previsión meteorológica”, también es necesario incluir el tiempo de cálculo de los servidores de pronóstico del tiempo, los servidores a los que está conectado el objeto que constituyen su cerebro, toda la infraestructura de red, etc. a prorrata temporis, es decir, el porcentaje de tiempo que el equipo se utiliza para ese propósito específico, u otro método de asignación, como el rendimiento de la CPU.

| Descripción general de las mejores tecnologías de ajuste para aplicaciones de IdC investigadas                                                                     |                         |                          |                                                                                                              |           |                 |          |        |        |                         |                         |      |                       |          |      |           |            |          |      |        |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|----------|--------|--------|-------------------------|-------------------------|------|-----------------------|----------|------|-----------|------------|----------|------|--------|---|
| Apl Zona                                                                                                                                                           | Aplicación              | Dispositivo de Borde     |                                                                                                              |           |                 |          |        |        |                         |                         |      |                       |          |      |           |            |          |      |        |   |
|                                                                                                                                                                    |                         |                          | ANT+                                                                                                         | Bluetooth | Bluetooth Smart | DECT ULE | Z-Wave | ZigBee | basado en 802.15.4-2011 | basado en 802.15.4-2011 | WiFi | WiFi de Baja Potencia | Ethernet | GPRS | 3G (UMTS) | 3G+ (HSPA) | 4G (LTE) | LoRa | Sigfox |   |
| Hogar inteligente                                                                                                                                                  | Iluminación inteligente | Bombilla LED inteligente | Y                                                                                                            | N         | B               | Y        | Y      | Y      | Y                       | Y                       | N    | Y                     | X        | X    | X         | X          | X        | X    | X      |   |
|                                                                                                                                                                    |                         | Portal                   | X                                                                                                            | X         | X               | X        | X      | X      | X                       | X                       | Y    | B                     | Y        | Y    | N         | N          | N        | X    | X      |   |
|                                                                                                                                                                    | Domótica                | Sensores                 | Y                                                                                                            | N         | Y               | Y        | Y      | Y      | B                       | B                       | N    | Y                     | N        | X    | X         | X          | X        | X    | X      |   |
|                                                                                                                                                                    |                         | Actuadores               | Y                                                                                                            | N         | Y               | Y        | Y      | Y      | B                       | B                       | N    | Y                     | N        | X    | X         | X          | X        | X    | X      |   |
|                                                                                                                                                                    |                         | Cámara                   | X                                                                                                            | X         | X               | X        | X      | X      | X                       | X                       | Y    | X                     | B        | X    | Y         | Y          | Y        | X    | X      |   |
|                                                                                                                                                                    |                         | Portal                   | X                                                                                                            | X         | X               | X        | X      | X      | X                       | X                       | Y    | X                     | B        | X    | Y         | Y          | Y        | X    | X      |   |
|                                                                                                                                                                    | Aparatos inteligentes   | Aparato inteligente      | Y                                                                                                            | N         | B               | Y        | Y      | Y      | B                       | B                       | N    | Y                     | N        | X    | X         | X          | X        | X    | X      |   |
|                                                                                                                                                                    |                         | Portal                   | X                                                                                                            | X         | X               | X        | X      | X      | X                       | X                       | Y    | B                     | Y        | Y    | N         | N          | N        | X    | X      |   |
|                                                                                                                                                                    | Movilidad inteligente   | Carreteras inteligentes  | Unidad de carretera                                                                                          | X         | X               | X        | X      | X      | X                       | X                       | X    | B                     | X        | X    | X         | X          | X        | X    | X      | X |
|                                                                                                                                                                    |                         | Calle inteligente        | Alumbrado urbano                                                                                             | X         | X               | X        | X      | X      | X                       | X                       | X    | X                     | X        | X    | Y         | N          | N        | N    | B      | B |
|                                                                                                                                                                    |                         |                          | La Mejor Tecnología Disponible    Tecnología Posible    Tecnología No Recomendada    X Tecnología No Apropia |           |                 |          |        |        |                         |                         |      |                       |          |      |           |            |          |      |        |   |
| Fuente: Comisión Europea, <i>Estudio de Impacto de las TIC</i> , Informe final, preparado por VHK y Viegand Maagoe para la Comisión Europea, julio de 2020, p. 156 |                         |                          |                                                                                                              |           |                 |          |        |        |                         |                         |      |                       |          |      |           |            |          |      |        |   |

## IdC y consumo de energía

El IdC está constituido por una multitud de objetos conectados. Sumar todos estos dispositivos ya representa un importante consumo final de energía en las TIC. Nuestro estudio de ACV concluye que los dispositivos IdC en la UE-28 en 2019 representan alrededor de 28 TWh de consumo eléctrico durante el año.<sup>5</sup> El IdC no es solo una multitud de objetos conectados, sino también toda la infraestructura de Internet que permite que estos dispositivos se conecten entre sí y con el resto del mundo, incluida una miscelánea de redes utilizadas para el IdC como ZigBee, Bluetooth Smart, EnOcean, LoRa, Sigfox, etc. (véase la tabla p. 13), que tienen diferentes características.

Esto significa que hay que añadir a la ecuación millones de servidores, kilómetros de cables de cobre y fibra óptica, cajas de Internet, routers, repetidores, antenas, etc. - y todo este equipamiento tiene que ser fabricado, alimentado con electricidad, en algunos casos refrigerado, etc.

La evolución del consumo de energía de las TIC en los últimos años depende en gran medida de muchas innovaciones en eficiencia de las infraestructuras de redes y centros de datos, pero también es muy sensible a los comportamientos de los usuarios si compran más equipos de TIC y los utilizan con frecuencia. Así, el aumento de los dispositivos IdC resulta impresionante, ya que los dispositivos de los usuarios finales de IdC ya

contribuyen a aproximadamente el 10% del consumo final de energía de las TIC en la UE-28.<sup>6</sup>

## Tráfico y computación de datos

El tráfico y la computación de datos son dos aspectos diferentes de la conectividad, por lo que sus impactos ambientales son bastante diferentes.

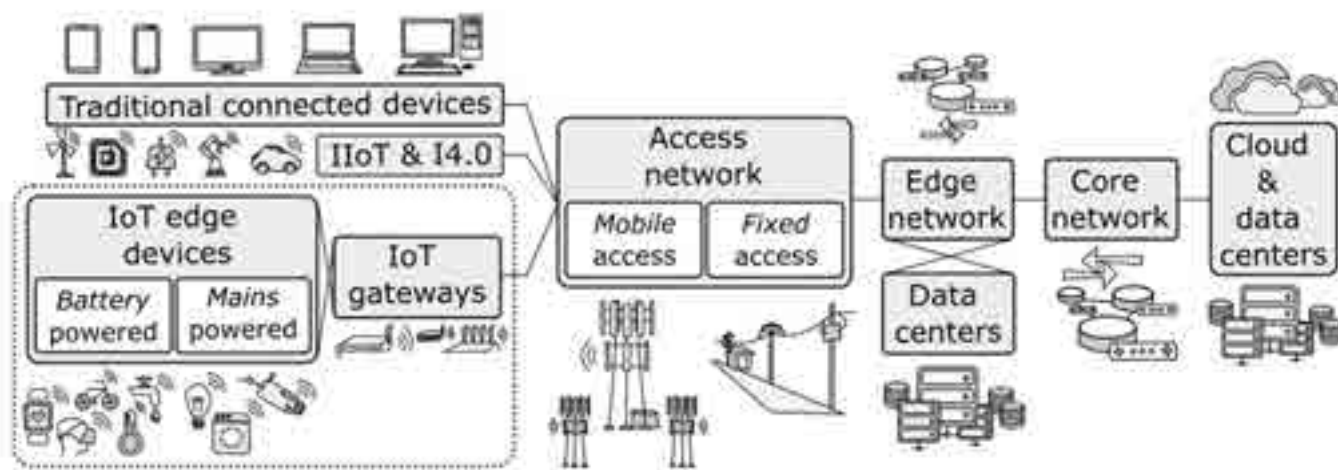
La gestión de datos es un aspecto crucial de un desarrollo controlado y aceptable del IdC. La computación de borde permite que varios sensores y objetos conectados procesen datos en su punto más cercano sin tener que utilizar un centro de datos. Por lo tanto, el desarrollo del edge computing es concomitante con el desarrollo del IdC.

Mientras que, por un lado, la computación de borde limita el uso de la red, por otro, los centros de datos han mejorado significativamente en los últimos años en cuanto a su impacto en el consumo gracias, por ejemplo, al aumento de los centros de datos y la colocación a hiperescala y a un aumento de la tasa de carga que es sinónimo de mejoras de eficiencia ([véase nuestro estudio de caso sobre la nube](#)). Como la tasa de carga de un centro de datos es mucho mayor que la de una unidad de computación de borde, no es seguro que las unidades de computación de borde más pequeñas, descentralizadas y posiblemente muy numerosas sean, en última instancia, tan efectivas como los centros de datos para limitar el impacto ambiental del procesamiento de datos.

5 Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas- Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E. GreenIT.fr. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*

6 Véanse los resultados de nuestro ACV: Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas- Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E. GreenIT.fr. 2021. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*

## Representaciones esquemáticas de red del IdC, adaptadas de Pirson y Bol, 2021



La computación de datos, y especialmente la computación de borde, está en constante maduración, lo que dificulta predecir la escala exacta de la expansión del IdC y, en consecuencia, su huella general en términos de consumo de materiales y energía. Sin embargo, es probable que el revuelo en torno al IdC se vea impulsado por el 5G en la próxima década (véase nuestro estudio de caso sobre el 5G). Además, como el 5G es capaz de soportar velocidades de transmisión de datos mucho más altas que las redes de baja potencia (LoRa, Sigfox), y debido a que se espera que la variedad y complejidad de las aplicaciones de IdC aumenten, es muy probable que el consumo de datos por parte del IdC explote en los próximos años.<sup>7</sup>

Sin embargo, para comprender la importancia de los datos dentro de la huella medioambiental de una unidad funcional del IdC, sería necesario llevar a cabo evaluaciones sistemáticas, o al menos periódicas, del ciclo de vida de unidades funcionales específicas en el ámbito del IdC.

7

McKinsey Global Institute, Connected world: An evolution in connectivity beyond the 5G revolution, Febrero 2020, p.36

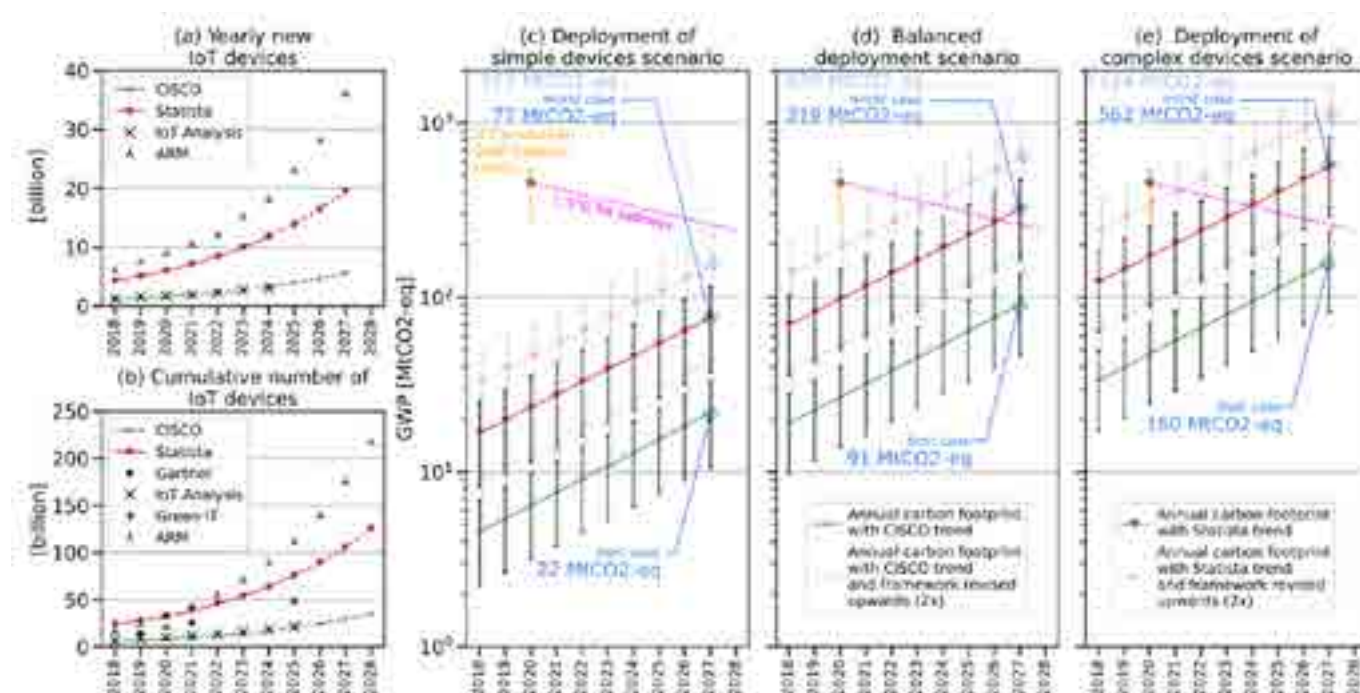
## Los enormes efectos de rebote potenciales del IdC

El IdC se está estructurando actualmente para permitir que los objetos conectados formen parte de un ecosistema completo, que consiste en:

- Dispositivos: M2M, sensores, dispositivos de usuario, etc.,
- Redes: fijas, como las de fibra, o inalámbricas, como LoRa, NB-IoT, 5G, LTE, Bluetooth, etc.,
- Servicios: Big Data, plataforma como servicio, aplicaciones de IA, etc.

El IdC permite nuevos usos y posibles aumentos de eficiencia y productividad que pueden propiciar un fuerte efecto rebote (consulte nuestro estudio de caso sobre efectos rebote).

## Despliegue anual de nuevos dispositivos IdC, diagrama de Pirson & Bol, 2021



Fuente: *Yearly deployment of new IoT devices*, diagrama de Pirson y Bol, 2021. "(a) Despliegue anual de nuevos dispositivos IdC calculados en función de las tendencias en (b), que representa el número acumulado de dispositivos IdC, de acuerdo con los estudios y predicciones de mercado más aceptados. Las líneas discontinuas son una extrapolación personal [de los autores]. (c-e) Análisis macroscópico de la huella de carbono anual generada por la producción de dispositivos IdC edge para diferentes escenarios de despliegue masivo de IdC, en base a (a). Las curvas sombreadas muestran los resultados si nuestro marco se revisa al alza por un factor de 2x para tener en cuenta el error de truncamiento. c) Escenario 1 despliegue de dispositivos móviles considera la mayoría de los dispositivos simples en la implementación, es decir, a=90% de perfiles resistentes a la luz, d) escenario 2 despliegue mejorado considera una mezcla equilibrada de dispositivos simples y complejos, es decir, a=50%, e) escenario 3 implementación de dispositivos complejos considera la mayoría de los dispositivos complejos, es decir, a=10%."

## La opinión de la experta



*Laura Draetta es socióloga ambiental. Primero completó un doctorado en la École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS). Ha sido profesora asociada en Telecom Paris durante 15 años y simultáneamente lleva a cabo su investigación en el Instituto de Innovación (unidad mixta de investigación del*

*CNRS). Es cotitular de la Cátedra RD-ID creada en Telecom Paris en asociación con Thales para investigar el tema de la identidad digital responsable. Su investigación y docencia se centran en las interconexiones entre tecnología, medio ambiente y sociedad. Está especialmente interesada tanto en la innovación responsable como en las controversias públicas relacionadas con las innovaciones digitales (RFID, medidores inteligentes, reconocimiento facial, 5G).*

*Desde 2019, es investigadora en el Centro de Ciencia, Tecnología, Medicina y Sociedad de la Universidad de California en Berkeley. Trabaja como experta en ética en la Comisión Europea y fue nombrada por ANSES<sup>i</sup> para participar en la experiencia colectiva sobre medidores inteligentes y 5G.*

### En el proyecto Seguimiento de las TIC: tecnologías de la información y gestión de residuos<sup>ii</sup>, trabajó en un caso temprano de objetos conectados, etiquetas RFID. ¿En qué consistía el proyecto?

Nos interesó la paradoja que caracteriza a las etiquetas RFID y su uso específico en la gestión de residuos: el riesgo de generar nuevos residuos cuando el objetivo es gestionar mejor los residuos existentes. La etiqueta RFID, casi invisible, es a menudo inseparable del objeto en el que se incorpora. Cuando este último llega al final de su ciclo de vida, corre el riesgo de ser eliminado con la etiqueta RFID que lo identifica. En este caso, la etiqueta a su vez se convierte en un residuo. Las etiquetas RFID plantean el problema de su reciclabilidad debido a su pequeño tamaño (difícil de ver) y por la dificultad de separar las etiquetas de los objetos en los que se integran.

En botellas de vidrio, por ejemplo, la etiqueta RFID se funde con la masa, lo que hace imposible recuperarla.

**Esta paradoja en el origen del proyecto se convirtió en un problema creciente en relación con el Internet de las Cosas, que proyecta una sociedad donde cualquier objeto puede identificarse de forma remota.**

El problema surgió tanto desde el punto de vista del suministro de materias primas como de su recuperación.

El proyecto también reveló una falta de interés bastante significativa sobre el problema por parte de los fabricantes. La tendencia de los fabricantes era resaltar las fortalezas del RFID en lugar de sus debilidades y transferir el problema de su impacto ambiental a sus clientes. Los científicos eran más conscientes del problema y estaban interesados, por ejemplo, en la desmaterialización de las etiquetas RFID (etiquetas sin antenas ni chips). Este proyecto llevó a la publicación de un libro en 2012<sup>iii</sup> y a la coordinación de un grupo de trabajo internacional sobre trazabilidad digital con todas las partes interesadas.<sup>iv</sup>

**También trabaja en controversias vinculadas a las tecnologías inteligentes. ¿Por qué / cómo surge una controversia? ¿Cómo podemos remediarla?**

La controversia en torno a una nueva tecnología es, de hecho, un modo de evaluación tecnológica pública e informal que complementa la evaluación tecnocientífica formal proporcionada por experiencia institucional. Plantea nuevas dudas y preocupaciones que amplían el campo de las representaciones de la tecnología propuesta.

A menudo escuchamos llamamientos a “hacer más pedagogía”. Pero esta imagen de “falta de conocimiento” es inapropiada. Se ha demostrado con datos de apoyo<sup>v</sup> que las personas interesadas en una nueva tecnología a menudo están completamente informadas y expuestas a la comunicación tecnocientífica. La educación no es necesariamente el remedio para detener o prevenir la controversia, ya que corre el riesgo de responder preguntas que no se han hecho y no responder a las preguntas adecuadas. ●●●

<sup>i</sup> <https://www.anses.fr/en/content/presentation-anses> (última consulta: 28/06/2021).

<sup>ii</sup> En francés, Trace de TIC: <https://journals.openedition.org/terminal/18012lang=fr> (última consulta: 28/06/2021). Este proyecto de investigación interdisciplinar se basó en la colaboración entre sociólogos de Télécom Paris (Campus Sophia Antipolis) e investigadores de ingeniería industrial de Mines Saint-Etienne (Campus G. Charpak Provence), y contó con el apoyo de ADEME. El proyecto analizó el potencial de la tecnología RFID en la gestión de residuos y su viabilidad ecológica.

<sup>iii</sup> DRAETTA Laura, DELANOË Alexandre, *RFID, une technologie controversée : ethnographie de la construction sociale du risque*, Collection Mondialisation, Hommes et Sociétés, ed. Lavoisier, 2012

<sup>iv</sup> Este grupo de trabajo, que era un grupo de reflexión dentro del Observatorio de Innovación Responsable, incluía a fabricantes, reguladores y académicos del sector de las TIC. Los miembros de este grupo de expertos han dirigido su trabajo a buscar cómo implementar esta prometedora tecnología RFID de manera responsable para abordar problemas de privacidad, salud y medio ambiente. El grupo de trabajo celebró un [coloquio en París](#) y publicó un [documento de posición](#).



••• Si bien no es una solución milagrosa, reunir a todas las partes interesadas en la misma mesa ya es un progreso. La dificultad radica en identificar a los actores relevantes, que a menudo es lo que suele fallar, ya que se hace desde la perspectiva de los promotores, ya sean empresas o instituciones. A menudo los ciudadanos son vistos solo como consumidores y rara vez como ciudadanos, con lo que quedan excluidos.

Ignorar las controversias acarrea consecuencias graves. genera desconfianza en los promotores de las nuevas tecnologías. Además, las preguntas que surgen durante una controversia se repetirán si no se responden y alimentarán nuevas controversias. La controversia es una pregunta sin respuesta.

v Bucchi M. & Neresini F., 2002, «*Biotech remains unloved by the more informed*». Nature, 416: 261.

Raimi K. & Carrico A., 2016, «*Understanding and beliefs about smart energy technology*». Energy Research & Social Science, 12: 68-74.

*“Esta paradoja [de más impactos ambientales creados por una tecnología utilizada para limitar los impactos ambientales] se convirtió en un problema creciente en relación con el Internet de las Cosas, que proyecta una sociedad donde cualquier objeto puede identificarse de forma remota.”*

**Laura Draetta**

Un estudio muy reciente presentado para su revisión en 2021<sup>8</sup>, que evalúa la huella de carbono incorporada de los dispositivos IdC, concluye que su heterogeneidad hace que sea muy difícil estimar la huella de carbono absoluta de la producción de dispositivos IdC, con resultados a nivel mundial que oscilan entre 22 y 1.124 MtCO<sub>2</sub> - eq/año en 2027, dependiendo de los escenarios de implementación (ver figura p. 15). A modo de comparación, la huella de carbono global de la producción de TIC en 2020 se encuentra entre 281 y 543 MtCO<sub>2</sub>-eq.<sup>9</sup>

El estudio destaca que estas tendencias están en conflicto con el Acuerdo de París, incluso en el caso del despliegue del escenario de dispositivos simples (“es probable que genere preocupaciones después de 2030”<sup>10</sup>). El mismo estudio subraya que el IdC cumple varias condiciones que fomentan el desarrollo de efectos de rebote, creando “un terreno fértil para los efectos de rebote”<sup>11</sup>.

El futuro que está generándose, por lo tanto, para el IdC se caracterizará por una impresionante aceleración de la producción y el uso de objetos conectados, con un aumento de los impactos ambientales asociados con estos. Como hemos visto, esta multiplicación de impactos proviene, por un lado, de los impactos relacionados con la fabricación de objetos conectados y, por otro, de los impactos relacionados con el uso de estos objetos conectados, pero también del procesamiento de datos y uso de infraestructura de red y dispositivos que deben agregarse a la ecuación.

8 Pirson T., Bol D., *Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach*, 2021

9 Freitag C., Berners-Lee M., Widdicks K., Knowles B., Blair G., and Friday A., *The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations*, 2021

10 Pirson T., Bol D., *Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach*, 2021, p.12

11 Ibid., p.13

# Conclusión

Se espera que el IdC se dispare en los próximos años, pero los beneficios que promete no vendrán sin cargas ambientales, que aún se están pasando por alto. Mientras tanto, los pocos análisis del ciclo de vida de dispositivos IdC señalan el riesgo de empeorar la situación ambiental actual; a menudo concluyen afirmando la necesidad crítica de más análisis del ciclo de vida para garantizar que los procesos de toma de decisiones se centren en los beneficios del IdC sin transferir impactos y hacer que los ahorros potenciales sean contraproducentes. Por lo tanto, existe una necesidad apremiante de considerar los beneficios y costos ambientales generales en un enfoque multicriterio y de limitar las transferencias de impacto al diseñar dispositivos inteligentes respetuosos con el medio ambiente.

A medida que se fabrican más y más dispositivos conectados, también hemos visto que cada dispositivo contribuye a dispersar algunos materiales utilizados para fabricar estos dispositivos, que a menudo no son reciclables<sup>12</sup> (para obtener más información, consultar nuestros estudios de caso sobre materias primas, residuos electrónicos y economía circular).

Por otra parte, el enorme aumento previsto, tanto en el número de unidades de dispositivos conectados como en el tráfico de datos, subraya la necesidad de establecer prioridades y límites para garantizar que el IoT no sea un obstáculo para alcanzar los objetivos de reducción de los impactos ambientales, como el calentamiento global, y que se mantenga en línea con el Acuerdo de París y no entre en conflicto con él. Pero también para reducir el agotamiento de recursos que son limitados y críticos; y finalmente, para abordar cuestiones de salud y soberanía geopolítica.

Actualmente, la mayoría de los diseñadores de objetos conectados no tienen en cuenta el impacto ambiental al diseñar los objetos, o al menos no de manera sistemática; a veces, incluso, cuando estos objetos están destinados a reducir la huella ambiental de la humanidad. El ecodiseño puede ser un primer requisito previo para limitar los impactos ambientales del IdC pero, con respecto al aumento exponencial en curso del IdC, incluso si el ecodiseño de objetos conectados es una necesidad, ¿será suficiente para limitar el cambio climático y el agotamiento crítico de materias primas?

Nuestra sección de recomendaciones presenta algunas propuestas para una evolución digital para el IdC que sea compatible con el Acuerdo de París y el Green Deal.

12 <https://www.environnement-magazine.fr/recyclage/article/2015/12/01/46697/quelle-fin-vie-pour-les-puces-rfid> última consulta: 06/04/2021;  
<https://staceyoniot.com/sustainability-is-the-elephant-in-the-iot-room/> última consulta: 07/08/2021.

## Visión simplificada de los impactos ambientales relacionados con el IdC



- Impactos ambientales potencialmente exponenciales (rojo)
- Impactos ambientales potencialmente muy elevados (naranja)
- Impactos ambientales potencialmente elevados (amarillo)
- Impactos ambientales mitigados confirmados compatibles con los límites planetarios (verde)



### Recomendaciones para un desarrollo digital compatible con el Acuerdo Verde

En lo que respecta al IoT, es **obligado ecodiseñar objetos conectados en un enfoque sistémico, teniendo en cuenta cómo se fabrican y cómo interactúan con su entorno**. Los objetos conectados se priorizan para usos críticos, como la medicina, y se restringen a casos en los que se comprueben sus beneficios globales con el fin de limitar su huella medioambiental. Para garantizar esta ganancia medioambiental, se lleva a cabo una evaluación del ciclo de vida multicriterio a fin de verificar el beneficio ambiental general en una comparación de coste-beneficio; esto se hace sistemáticamente antes de que la solución pueda presentarse como respetuosa con el medio ambiente y se proporcione información a los usuarios.

**El modelo económico del IoT utilizado para el diagnóstico y el monitoreo de la eficiencia se ha diseñado para promover un enfoque conjunto de los servicios de diagnóstico** en el que los mismos sensores se utilizan en diferentes ubicaciones durante un período determinado y se desplazan. Esto limita el riesgo de desinterés en el uso de los sensores que se produce después de un cierto tiempo y permite que se reutilicen en otro lugar una vez que se implementan las buenas prácticas, reduciendo así en gran medida su impacto ambiental. Un ejemplo es el caso en el que el IdC se utilizó para garantizar la seguridad en una zona de obras y permitió reducir el agotamiento de la materia prima en un 60 por ciento, las emisiones de gases de efecto invernadero en un 67 por ciento y el consumo de agua en un 75

por ciento, gracias a la puesta en común y el enfoque de modelo circular<sup>i</sup>. Otro aspecto positivo de este modelo es que se puede utilizar tanto para B2C como para B2B, y que cuando se aplica a B2C, ayuda a limitar la brecha digital y la percepción de la monitorización como una intrusión en la privacidad.

**La financiación europea apoya el diseño respetuoso con el medio ambiente de innovaciones de fertilización cruzada de alta y baja tecnología:** estos utilizan lo mejor de ambos enfoques para soluciones de ecodiseño que ofrecen la máxima sobriedad. La innovación disruptiva incluye no solo innovaciones técnicas, sino también modelos innovadores que permiten desarrollar enfoques cooperativos y resilientes, al tiempo que fortalecen la economía circular en Europa, con un impacto positivo en la soberanía de Europa y en el clima.

**Las interfaces de comunicación (API) de los objetos conectados están obligatoriamente en código abierto** para permitir que los usuarios conserven el uso de sus objetos conectados, incluso si el servicio ya no es compatible con el fabricante original, y para proporcionar actualizaciones de software de código abierto.

Para garantizar un conocimiento claro y actualizado a efectos de la toma de decisiones estratégicas y políticas, los estudios de ACV multicriterio se financian regularmente a escala europea para cubrir el mercado de IoT, tanto en general como en categorías específicas de objetos conectados, inicialmente los más fabricados y los más pesados.

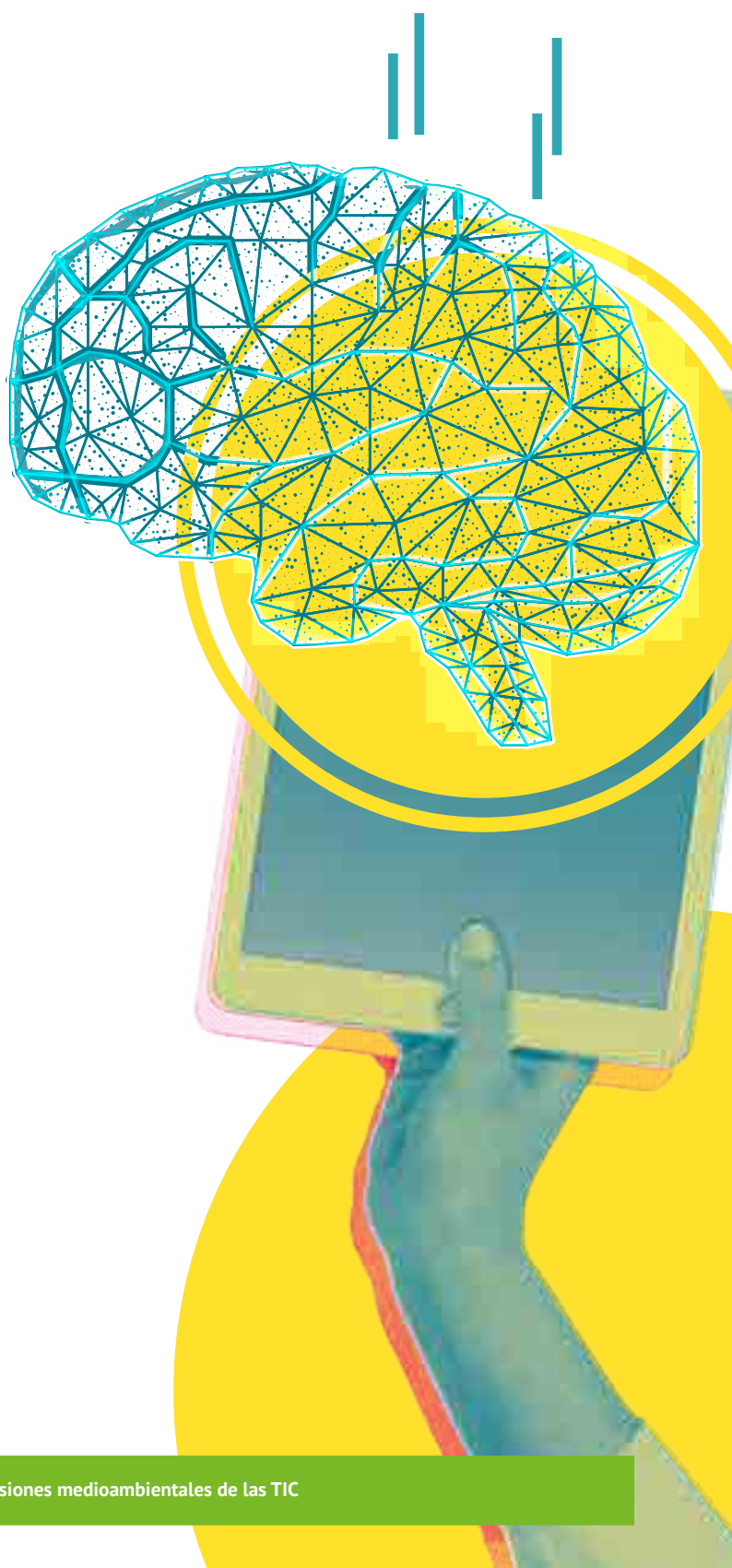
<sup>i</sup> Caso de uso de PYME francesa de Innovación ELA, de la Operación GreenConcept ADEME, entre 2017 y 2019: [http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/ELA\\_INNOVATION\\_fiche\\_Ademe\\_GreenConcept2409.pdf](http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/ELA_INNOVATION_fiche_Ademe_GreenConcept2409.pdf)



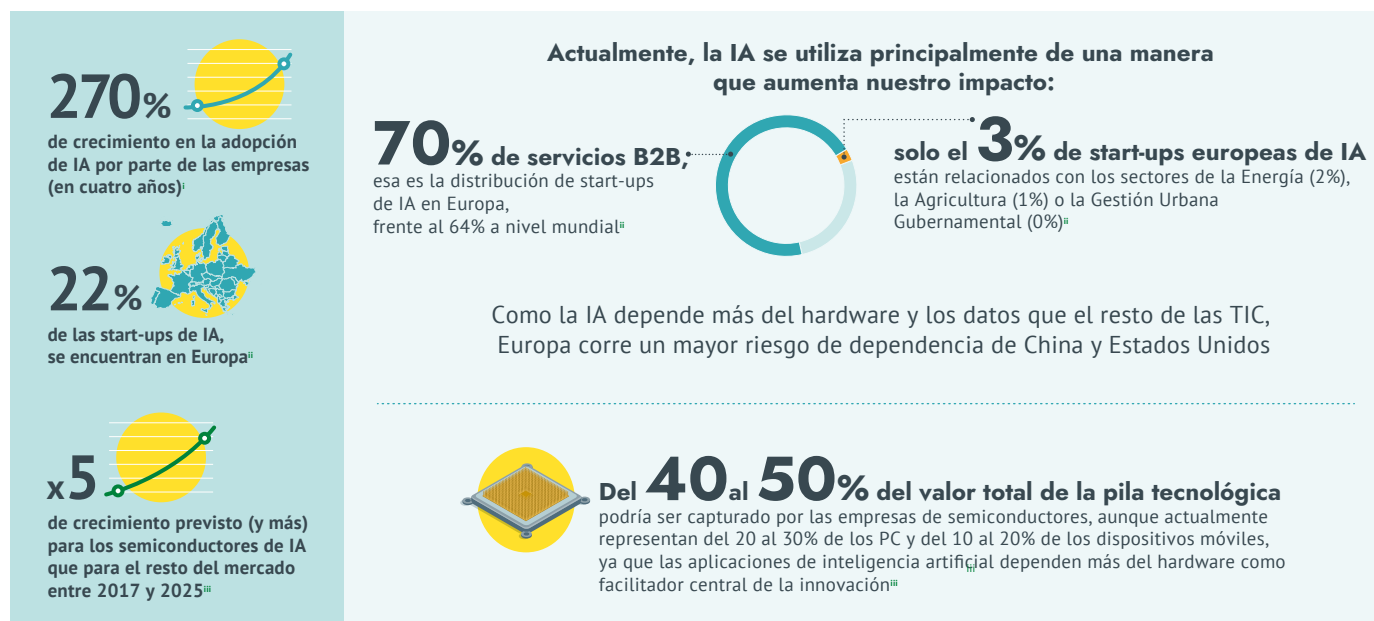
# Inteligencia Artificial

## Índice

|                                                                                                                                           |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Claves para comprender</b> .....                                                                                                       | pág. 21 |
| <b>Resumen del estudio de caso</b> .....                                                                                                  | pág. 21 |
| <b>Definiciones</b> .....                                                                                                                 | pág. 22 |
| <b>¿Qué es la inteligencia artificial?</b> .....                                                                                          | pág. 22 |
| <b>Conceptos principales</b> .....                                                                                                        | pág. 22 |
| <b>Algunos ejemplos no exhaustivos<br/>de aplicaciones de IA</b> .....                                                                    | pág. 23 |
| <i>KDOG vs LYNA utilizados para la<br/>detección del cáncer de mama</i> .....                                                             | pág. 23 |
| <b>Problemas ambientales relacionados<br/>con aplicaciones de IA</b> .....                                                                | pág. 24 |
| <b>Inteligencia Artificial: ¿una herramienta<br/>para alcanzar los objetivos de reducción<br/>de los impactos medioambientales?</b> ..... | pág. 24 |
| <b>Inteligencia Artificial: ¿un obstáculo para<br/>alcanzar los objetivos de reducción<br/>de los impactos medioambientales?</b> .....    | pág. 25 |
| <b>1. Adquisición de datos</b> .....                                                                                                      | pág. 26 |
| <b>2. Procesamiento de los datos para que<br/>sean editables por la IA</b> .....                                                          | pág. 27 |
| <b>3. Ejecutar y probar el algoritmo</b> .....                                                                                            | pág. 27 |
| <i>La opinión del experto</i> .....                                                                                                       | pág. 29 |
| <b>4. Presentar los resultados</b> .....                                                                                                  | pág. 30 |
| <b>Conclusión</b> .....                                                                                                                   | pág. 30 |
| <i>Recomendaciones para una evolución digital<br/>compatible con el Acuerdo Verde</i> .....                                               | pág. 30 |



# Claves para comprender



i Gartner, «*Gartner Survey Shows 37 Percent of Organizations Have Implemented AI in Some Form*», nota de prensa, 21 de enero de 2019

ii Roland Berger and Asgard, «*Artificial Intelligence – A strategy for European startups Recommendations for policymakers*», 2018

iii McKinsey & Company, «*Artificial-intelligence hardware: New opportunities for semiconductor companies*», 2018

## Resumen del estudio de caso

Este estudio de caso proporciona una visión general de lo que es la inteligencia artificial (IA), las posibilidades que brindan los avances recientes en IA y cómo puede ser una herramienta o un obstáculo para lograr el objetivo de reducir los impactos ambientales, según la literatura disponible. En primer lugar, proporcionaremos algunas definiciones que darán una mejor idea de lo que cubre la IA en términos de uso actual para ayudarnos a comprender qué es la IA y cuáles son sus aplicaciones actuales. En segundo lugar, exploraremos la pregunta candente: “¿Es la inteligencia artificial una palanca o un obstáculo para lograr el objetivo de reducir las repercusiones ambientales?”. Al mismo tiempo, exploraremos de qué manera la IA está ayudando actualmente a reducir los impactos ambientales, si bien se necesita más desarrollo e investigación para que pueda hacer una contribución significativa, ya que el número de casos en la actualidad es bajo y los datos son insuficientes para medir el beneficio global para el clima y el medio ambiente. También analizaremos más de cerca el proceso general que sigue la IA

para mostrar las áreas donde tiene impactos ambientales y donde estos varían más.

Esto nos permitirá hacer dos observaciones principales sobre el impacto ambiental de la IA. En primer lugar, el creciente uso de equipos de sensores o de usuario final presenta un desafío cada vez mayor para los esfuerzos por limitar los efectos de rebote y, por lo tanto, los impactos ambientales de las aplicaciones de IA en los próximos años. En segundo lugar, un aumento en la capacidad informática puede limitar las emisiones de gases de efecto invernadero durante el proceso de entrenamiento de aprendizaje automático y, al mismo tiempo, aumentar la huella ambiental del hardware de IA, ya que el hardware utilizado anteriormente, pero menos potente, se vuelve obsoleto aún más rápido.

Esto también pone en relieve la necesidad de una mayor regulación de la IA para garantizar que la UE abrace las oportunidades de frugalidad y soberanía de los datos, lo que es necesario para evitar un mayor aumento de sus impactos ambientales.

# Definiciones

La noción de inteligencia artificial está entrando en el lenguaje cotidiano como una tecnología profundamente disruptiva, justo cuando está a punto de impregnar nuestra vida diaria, desde el ocio hasta el mundo profesional, incluidas las compras en línea.

## ¿Qué es la inteligencia artificial?

Abreviado como AI, “inteligencia artificial” es un concepto genérico que se refiere a “cualquier máquina o algoritmo que sea capaz de observar su entorno, aprender y, en base al conocimiento y la experiencia adquiridos, tomar acciones inteligentes o tomar decisiones.”<sup>1</sup> De esta manera, la IA imita las capacidades de la mente humana y la forma en que los humanos interactúan con su entorno.

Los primeros avances metodológicos en inteligencia artificial se remontan a la década de 1970, con el desarrollo de los sistemas expertos.<sup>2</sup> Cabe señalar que los sistemas expertos, a pesar de la gran inversión de varias industrias, nunca lograron ningún resultado comercial exitoso y, por lo tanto, se abandonaron a fines de la década de 1970. Luego tuvo lugar un largo ‘invierno de IA’, y solo en la década de 2000 se reanudó la investigación. Desde entonces, se han logrado avances significativos mediante el aprendizaje automático (AA) y, más específicamente, estos avances fueron posibles gracias a la creciente disponibilidad de datos y capacidad de computación. Los sistemas de recomendación han cosechado enormes éxitos empresariales, especialmente en ámbitos como el comercio electrónico y los anuncios. Otros éxitos se han producido en áreas industriales como la visión por ordenador y el mantenimiento predictivo.

Es probable que estos asombrosos avances sean solo el comienzo de lo que la IA podría llegar a hacer en el futuro: el desarrollo del IdC (consulte nuestro estudio de caso sobre IdC y objetos conectados), las tecnologías de sensores y los volúmenes de datos utilizados para entrenar los algoritmos impulsarán las capacidades de la IA y las aplicaciones de IA en la sociedad.

## Conceptos principales

Para comprender mejor los conceptos subyacentes a la inteligencia artificial, a continuación se explican brevemente algunos de los conceptos principales:

➤ **Aprendizaje automático [Machine learning] (AA):** El aprendizaje automático es un subconjunto de la IA que le permite aprender por sí misma, ya que se reprograma a lo largo del proceso de aprendizaje. Hay un gran cambio de paradigma: mientras que la programación clásica utiliza reglas como entrada para proporcionar una respuesta como salida, el aprendizaje automático utiliza datos como entrada para proporcionar una respuesta como salida. Ahora los sistemas que utilizan el aprendizaje automático se entrenan en lugar de programarse explícitamente. El aprendizaje automático tiene más capacidad para trabajar con datos estructurados y etiquetados y aprender de ellos, y sigue teniendo dificultades con los datos no estructurados y no etiquetados.

➤ **Red neuronal:** Las redes neuronales son la columna vertebral de los algoritmos de aprendizaje profundo. Su estructura y nombre están inspirados en la forma en que las neuronas biológicas interactúan mediante señales en el cerebro humano. Trabajan en múltiples capas sucesivas. Una vez que las redes neuronales están entrenadas y ajustadas para obtener precisión, pueden procesar datos a una velocidad extremadamente alta para proporcionar resultados.

➤ **Aprendizaje Profundo:** “Profundo” se refiere al número de capas en una red neuronal. El aprendizaje profundo puede recopilar y procesar datos estructurados y etiquetados y datos no estructurados y no etiquetados.

➤ **Datos:** Información cuantitativa o cualitativa, utilizada principalmente para cálculos, interpretaciones y comprensión de un hecho. Los datos son la base del aprendizaje automático.

➤ **Big data:** Conjuntos de datos a mayor escala que involucran datos de múltiples fuentes, en grandes cantidades y, a menudo, en tiempo real. El uso de los avances recientes en tecnologías de redes y sensores inteligentes para recopilar datos permite que los macrodatos suministren aprendizaje automático.

1 Comisión Europea, *Artificial Intelligence: A European Perspective*, Centro Común de Investigación, 2018

2 Russell, Stuart; Norvig, Peter. *Artificial Intelligence: a Modern Approach*, 1995

## Algunos ejemplos no exhaustivos de aplicaciones de IA

Hoy en día existen muchos ejemplos de aplicaciones de IA. Algunos de ellos no requieren una IA muy avanzada, otros son particularmente disruptivos tecnológicamente. Estos son algunos ejemplos no exhaustivos de lo que la IA puede ofrecer hoy en día:<sup>3</sup>

➤ **Reconocimiento de escritura a mano:** Capacidad de reconocer y transcribir digitalmente la escritura a mano. Esta aplicación de IA fue una de las primeras aplicaciones modernas de IA a fines de la década de 1990. Hoy en día esta aplicación se usa comúnmente en la industria bancaria.

➤ **Reconocimiento de voz:** Capacidad de reconocer el habla y transcribirla como texto por medios digitales. La capacidad de reconocimiento de voz impulsa el software de dictado en varios terminales, desde teléfonos inteligentes hasta altavoces conectados, incluidos los ordenadores con software de dictado, GPS o controles remotos de voz de TV. El procesamiento del lenguaje natural (PLN) suele ser el siguiente paso después del reconocimiento de voz.

➤ **Procesamiento del lenguaje natural (PLN):** La capacidad de comprender, interpretar y generar texto humano. El PLN se utiliza en asistentes digitales como altavoces conectados (por ejemplo, Alexa) o asistentes digitales de teléfonos inteligentes (por ejemplo, Siri). También se puede utilizar en algunos chatbots. Parte del PLN, utilizado, por ejemplo, para analizar las reseñas de experiencias de clientes, se basa en el análisis de sentimientos para detectar el estado de ánimo y las cualidades subjetivas del lenguaje.

➤ **Reconocimiento de imágenes:** La capacidad de la IA para identificar y clasificar cualquier valor (elementos, acciones, personas) en base a una imagen. El reconocimiento de imágenes se utiliza principalmente para tareas basadas en máquinas, como el análisis y el control de acceso. Algunos ejemplos de reconocimiento de imágenes se pueden encontrar en el reconocimiento de identificación (facial y de huellas dactilares), en automóviles y robots autónomos o en análisis médicos y financieros.

➤ **Recomendación en tiempo real:** La capacidad de procesar datos y ofrecer recomendaciones basadas en

las preferencias de los usuarios, consultas previas de los usuarios o cualquier otro parámetro. Se usa comúnmente para proporcionar contenidos parecidos o que resulten atractivos, artículos que se puedan comprar o cualquier otro tipo de información relacionada con potenciales solicitudes, necesidades o intereses.

➤ **Sistemas dinámicos de viajes compartidos:** Un sistema que haga coincidir múltiples variables (distancia, tiempo, calidad del servicio, etc.), que pueden basarse en IA, para proporcionar el servicio más óptimo, principalmente para compartir automóviles. Este sistema también se utiliza para los trayectos cortos y las entregas, como en el reparto de alimentos.

➤ **Robots domésticos basados en IA:** Dispositivos robóticos utilizados en el hogar que utilizan inteligencia artificial para simplificar y optimizar tareas específicas. Por lo general, aprenden del entorno en el que operan en función de sus características y nivel de tecnología. Los robots de vigilancia y las aspiradoras son un ejemplo importante de robots domésticos.

### KDOG vs LYNA usados para la detección del cáncer de mama

Para limitar los impactos ambientales, la IA debe complementar las opciones de baja tecnología existentes. Por ejemplo, KDOG se puede usar al azar para la detección de cáncer de mama, luego se usa LYNA para detectar con mayor precisión metástasis nodales de cáncer de mama:

• **KDOG es un método de detección experimental para el cáncer de mama** que se basa en las extraordinarias capacidades del sentido del olfato canino: los perros están entrenados para detectar el cáncer olfateando compresas empapadas en sudor. Este sencillo método es económico, no invasivo e indoloro. Con solo 6 meses de entrenamiento, los perros pueden alcanzar una tasa de éxito de más del 90% en la primera pasada y del 100% en la segunda pasada.

• **LYNA (asistente de ganglios linfáticos) es un asistente médico experimental basado en Google AI** adiestrado para detectar tumores mediante el reconocimiento de imágenes. En las pruebas alcanzó una precisión de nivel de diapositiva de hasta el 99,3%. Aunque aún no es perfecto, LYNA logró mejores resultados que los patólogos en las pruebas. Una investigación adicional mostrará si el algoritmo mejora la precisión del diagnóstico.

<sup>3</sup> Los ejemplos de usos habilitados por la IA están evolucionando rápidamente y sería difícil enumerarlos. Aquí, hemos preferido proporcionar una selección de los casos más frecuentes hasta la fecha en lugar de tratar de hacer una lista exhaustiva o casi exhaustiva, que en cualquier caso sería difícil de leer y rápidamente quedaría obsoleta.



■ **Tecnologías de piloto automático:** Un sistema que utiliza múltiples variables (tecnología GPS, reconocimiento de imágenes, tecnología para evitar colisiones, robótica y procesamiento del lenguaje natural) para guiar un motor, por ejemplo en aviones y automóviles. Las tecnologías de piloto automático existían anteriormente, pero la IA permite que los motores de piloto automático vayan más allá, por ejemplo, con fines militares. Las tecnologías de piloto automático dependen en gran medida de la calidad de los sensores y del tiempo de respuesta.

■ **Mantenimiento predictivo:** La capacidad de anticipar el mantenimiento y, más específicamente, en qué parte y cómo se debe realizar, en función de los datos recopilados sobre las condiciones y las tareas realizadas, y el aprendizaje automático de fallos anteriores.

Actualmente, en 2021, podemos dividir las capacidades de inteligencia artificial en “suficientemente buenas”, “en investigación” y “ficticias”: las capacidades suficientemente buenas ya se están utilizando para aplicaciones de comercio electrónico, con éxitos comerciales existentes como los sistemas de orientación de anuncios o los sistemas de recomendación en plataformas conocidas como Amazon o Netflix. Para las aplicaciones “suficientemente buenas”, conseguir rendimientos con una precisión del 92% al 95% o lograr la satisfacción del cliente se considera como algo aceptable teniendo en cuenta cuál es el objetivo (recomendación de una película, una pizzería o una camisa). Obsérvese que tal intervalo de rendimiento “suficientemente bueno” es inaceptable para objetivos médicos, tales como la predicción de un accidente sanitario, que requeriría un rendimiento de “misión crítica” (99,9%, o 99,99%, etc.)

El mantenimiento predictivo es un área en la que la inteligencia artificial ha avanzado mucho y actualmente está alcanzando el estado de “suficientemente bueno” para el mercado.

Las aplicaciones relacionadas con la percepción humana, como el reconocimiento de imágenes, el análisis de audio y vídeo o el reconocimiento de escritura a mano también están progresando hacia la categoría “suficientemente bueno”. La mayoría de ellas existen como algoritmos de código abierto.

Actualmente, cuanto más complejas son las capacidades de inteligencia artificial, menos operativas resultan. Por ejemplo, la comprensión del lenguaje natural (CLN) ya ha progresado enormemente durante la última década gracias al aprendizaje profundo y al refuerzo de los procesos de aprendizaje, pero sigue

siendo necesario procesar grandes cantidades de datos para obtener mejores resultados.

Hoy en día se están desarrollando tecnologías y capacidades de inteligencia artificial más complejas, como la computación cuántica y los robots sociales, respectivamente, pero este progreso aún es demasiado reciente para predecir cómo evolucionará la IA en el futuro.

## Problemas ambientales relacionados con aplicaciones de IA

Están comenzando a surgir numerosas aplicaciones potenciales de IA. Sin embargo, ya están teniendo un impacto significativo en las capacidades desplegadas en términos de TI y tecnología (IdC, centros de datos, capacidad de computación, etc.). Este impacto es sinónimo de promesas tentadoras para los actores económicos y la investigación, pero ya está contribuyendo a aumentar el impacto ambiental de las TIC. En algunos casos, la IA se puede utilizar con fines de optimización, lo que permite reducir aún más el consumo de recursos, optimizar las distancias recorridas para reducirlas al mínimo o incluso evitar averías mediante el mantenimiento predictivo.

A medida que la IA aparece cada vez más como un catalizador, ¿será una herramienta o un obstáculo para lograr los objetivos de reducción de los impactos ambientales?

## Inteligencia Artificial: ¿una herramienta para alcanzar los objetivos de reducción de los impactos medioambientales?

En algunos casos, la IA se puede utilizar como herramienta de optimización, lo que permite reducir el impacto ambiental del uso de ciertas máquinas o productos dentro de industrias específicas.

Es el caso del mantenimiento predictivo, que ha avanzado mucho en los últimos años, gracias en particular al conocimiento adquirido por la IA de los diferentes tipos de fallos y cómo anticiparse a ellos. El mantenimiento predictivo ya es capaz de aumentar el período de uso del hardware y los componentes, lo que permite

la intervención antes de la avería.<sup>4</sup> Puede reducir los residuos gracias a mejores condiciones de uso de las máquinas y reducir los costes de mantenimiento, ya que este, cada vez más, se lleva a cabo solo cuando lo predice el mantenimiento predictivo y solo se centra en las piezas con posibles fallos de funcionamiento. Sin embargo, hasta la fecha, no hemos encontrado nada en la literatura que nos permita comparar las ventajas/desventajas con respecto al impacto ambiental para realizar un estudio de caso más profundo.

Otro ejemplo de optimización habilitada por la IA es la refrigeración de los centros de datos. Google reveló en 2016 que había cedido con éxito el control de la refrigeración de varios de sus centros de datos a DeepMind, un algoritmo de inteligencia artificial, lo que redujo la factura de refrigeración de su centro de datos en un 40%.<sup>5</sup> Si bien el consumo de energía de los centros de datos fue un problema apremiante para la industria de la tecnología durante las últimas décadas, se han realizado esfuerzos significativos para mejorar su eficiencia energética. La refrigeración ahora representa una pequeña cantidad del uso de energía de los centros de datos (véase nuestro estudio de caso sobre la nube). A medida que se han disparado las necesidades informáticas, el tráfico de red y la capacidad de almacenamiento en los últimos años, la eficiencia energética de los centros de datos se ha multiplicado por 4, lo que equivale a un aumento del consumo de los centros de datos de solo el 6% en 8 años.<sup>6</sup>

En un artículo publicado en 2019 por la fundación Ellen MacArthur y Google, con la investigación y el apoyo de McKinsey & Company, se elaboró una exploración primaria de la intersección de las megatendencias emergentes, la IA y la economía circular.<sup>7</sup> Este documento presenta los pasos iniciales para identificar aplicaciones intersectoriales de economía circular para la inteligencia artificial. Sin embargo, los estudios de caso no son lo suficientemente detallados como para comparar las ventajas y desventajas de los impactos ambientales en esta etapa.<sup>8</sup>

Al observar las evoluciones de la IA que están por llegar, los agentes del sector energético prevén que esta habrá de desempeñar un papel en la optimización de la integración de las tecnologías de energía

renovable variable (ERV) en los sistemas eléctricos. La IA se está utilizando o probando en la integración de la ERV para mejorar la previsión de la generación de energía renovable, mantener la estabilidad y fiabilidad de la red, mejorar la previsión de la demanda, optimizar las operaciones de almacenamiento de energía, etc.<sup>9</sup>

El papel de la IA está evolucionando progresivamente, pasando de ser una herramienta facilitadora y optimizadora a convertirse en un elemento central en la toma de decisiones inteligentes y rápidas. A medida que esta metamorfosis continúa, ¿es posible que la IA sea a la vez un facilitador del progreso tecnológico y económico al tiempo que respeta el medio ambiente y ayuda a alcanzar los objetivos climáticos del Acuerdo de París?

## Inteligencia Artificial: ¿un obstáculo para alcanzar los objetivos de reducción de impactos ambientales?

Para comprender si la IA es una herramienta o un obstáculo para lograr los objetivos de reducción de los impactos ambientales, es necesario comprender el proceso en curso cuando se utiliza un algoritmo de IA.

Las aplicaciones de IA pueden involucrar tipos de hardware completamente diferentes, pero es imposible tener un enfoque de análisis de ciclo de vida que cuantifique los impactos ambientales generales de la IA.

Sin embargo, al comprender el proceso general seguido por la IA, es posible dibujar una imagen de las áreas donde más pueden variar sus impactos.

El diagrama clásico de análisis de datos también es válido para la IA:

1. Adquisición de datos
2. Procesamiento de los datos para que sean editables por la IA
3. Ejecutar y probar el algoritmo
4. Presentar los resultados

4 Bosch ConnectedWorld Blog, *Industry 4.0: Predictive maintenance use cases in detail* (consultado por última vez el 03/02/2021); *AI Multiple, Predictive vs Preventive: In-depth Maintenance Guide*, 2021, (consultado por última vez el 03/02/2021)

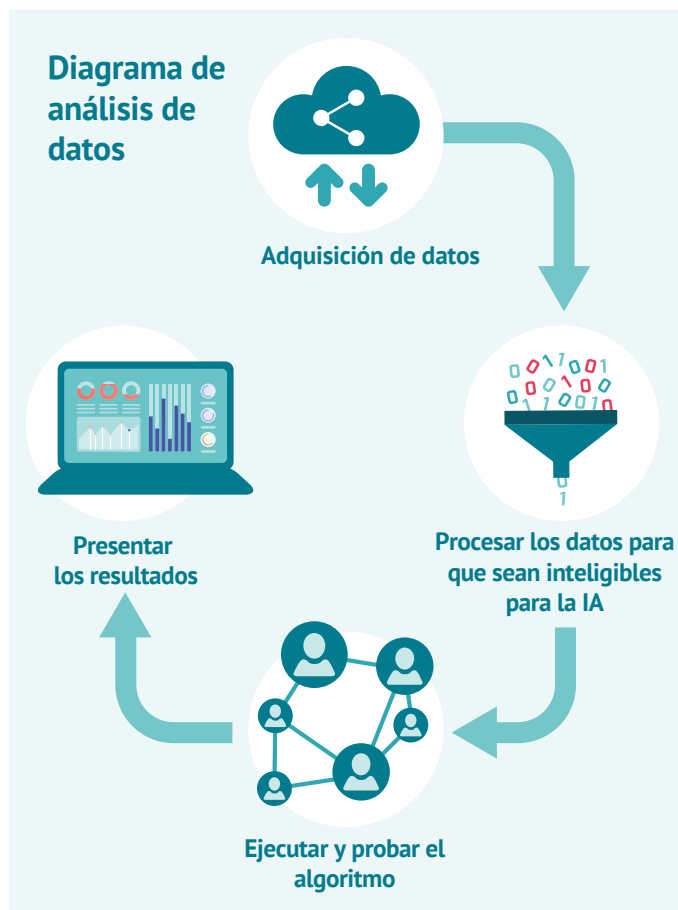
5 DeepMind, «*DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%*», 2016, (consultado por última vez el 03/02/2021)

6 Koomey, Jonathan et al., «*Recalibrating global data center energy-use estimates*», Science 28 February 2020 (consultado por última vez el 03/02/2021)

7 Ellen MacArthur Foundation, *Artificial intelligence and the circular economy - AI as a tool to accelerate the transition*, 2019.

8 En este trabajo se abordan casos en los que no se dispone de información suficiente para iniciar un análisis. Los casos reportados son un acercamiento inicial a lo que se podría desarrollar y no corresponden a casos actualmente desplegados o suficientemente maduros. Para ir más allá, serían necesarios casos más detallados.

9 IRENA *Agencia Internacional de Energías Renovables, Resumen del panorama de la innovación: Inteligencia artificial y big data*, 2019



*“Cuanto más complejo es el objetivo de entrenamiento de la IA, más datos se necesitan para entrenar el algoritmo y obtener resultados precisos.”*

## 1. Adquisición de datos

Para alimentar la IA y entrenarla se debe recopilar una cierta cantidad de datos. Los dos requisitos previos clave para la recopilación de datos para entrenar la IA son los mismos que para la documentación y los datos con fines de investigación: los datos deben ser de buena calidad y abundantes.

### Datos de calidad

La IA debe contar con los datos de mayor calidad posibles para entrenar el algoritmo y ofrecer resultados precisos. Un algoritmo débil entrenado con datos de alta calidad proporcionará resultados más precisos que un algoritmo fuerte entrenado con datos de baja calidad.

*“Los sensores utilizados para la recopilación de datos tienen en sí mismos un impacto ambiental que se multiplica globalmente por la cantidad de sensores necesarios para proporcionar los datos.”*

### Datos abundantes

Cuanto más complejo sea el objetivo de entrenamiento de la IA, más datos serán necesarios para entrenar el algoritmo y obtener resultados precisos.

Hoy en día, una buena parte del proceso de aprendizaje automático realizado por la IA utiliza grandes cantidades de datos. Estos datos deben recopilarse, refinarse para que la IA los pueda editar y luego procesarse para generar resultados.

Dependiendo de qué, cómo y dónde se recopilan los datos y dónde se almacenan, los impactos ambientales relacionados con el uso de la IA pueden variar mucho:

¿Qué tipo de datos se recopilan? ¿Son miles de horas de vídeos en HD? ¿Son imágenes de 64x64 píxeles? ¿Son tablas de Excel ordenadas y organizadas? Cuanto más abundantes sean los datos, mayor será su impacto ambiental.

¿Cómo se recopilan los datos? ¿Son recopilados por sensores? ¿Se recopilan mediante la observación del comportamiento del consumidor en línea (seguimiento del ratón, seguimiento de clics, seguimiento del tiempo de visita...)?

Por ejemplo, los sensores utilizados para la recopilación de datos tienen un impacto ambiental que se multiplica globalmente por el número de sensores necesarios para proporcionar los datos.

Los rastreadores de comportamiento también tienen un impacto en los requisitos de recursos computacionales de una página web, lo que puede dar como resultado requisitos adicionales cuando la página se carga con una conexión a Internet débil; una transmisión en vivo puede requerir un gran consumo de energía ([ver estudio de caso en la nube](#)).

¿Dónde se recopilan los datos y, en segundo lugar, dónde se almacenan? ¿Los datos se recopilan en todo el mundo, con cada elemento de datos de usuario en la nube en múltiples centros de datos? ([consulte nuestro estudio de caso en la nube](#)) ¿Los datos se recogen y procesan localmente con un pequeño procesador? ([véanse nuestros estudios de caso sobre el IdC o los](#)

coches autónomos). Si los datos se recogen y reúnen en todo el mundo, su impacto medioambiental puede ser mayor que si se recogen y procesan localmente con un pequeño procesador, pero esto depende de muchos parámetros.

*“El crecimiento previsto, cinco veces superior al del resto de semiconductores de las TIC, afectaría proporcionalmente a los recursos de materias primas. Por lo tanto, restringir el uso de equipos relacionados con la IA a usos esenciales puede ser uno de los desafíos futuros más críticos a los que se enfrentarán las TIC.”*

**Fuente: McKinsey**

Un estudio publicado por McKinsey en 2018 anticipa que en los próximos años, “la mayor parte del crecimiento informático provendrá de una mayor demanda de aplicaciones de IA en los centros de datos de computación en la nube”. Este estudio también anticipa un crecimiento cinco veces mayor para los semiconductores relacionados con la IA que en el resto del mercado entre 2017 y 2025.<sup>10</sup> Las oportunidades emergentes reveladas en este estudio están relacionadas con los componentes de hardware utilizados para la recopilación, transferencia y almacenamiento de datos (sistemas de almacenamiento optimizados para IA, memoria no volátil emergente, interconexión de alta velocidad). En conjunto, estos elementos están activando alarmas sobre el aumento exponencial de los equipos de alta tecnología, que ya plantea el mayor desafío a la hora de mitigar los impactos ambientales de las TIC (ver análisis de ACV).

Una previsión de crecimiento cinco veces mayor que el del resto de los semiconductores de TIC es contraria a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.<sup>11</sup> Afectaría proporcionalmente a los recursos de materias primas, que ya se están agotando a una

velocidad tremenda, y se correría el riesgo de provocar efectos de rebote significativos en términos de gases de efecto invernadero<sup>12</sup>, lo que sería lo contrario a los objetivos perseguidos por el Acuerdo de París y el Pacto Verde Europeo.<sup>13</sup> Por lo tanto, restringir el uso de equipos relacionados con la IA a usos esenciales puede ser uno de los desafíos futuros más críticos a los que se enfrentarán las TIC.

## 2. Procesamiento de los datos para que sean editables por la IA

Como se vio anteriormente, los datos utilizados por la IA deben ser de buena calidad y abundantes. Los datos no siempre se comunican de forma limpia y organizada, listos para ser procesados por la IA. En muchos casos, los datos deben refinarse, ya sea automática o manualmente, para que la IA pueda procesarlos.

Tanto si se procesan de forma manual como automática, no es esta la parte del proceso que causa el mayor impacto medioambiental, ya que los impactos proceden de los equipos utilizados para refinar los datos, pro rata temporis. Por otro lado, representa un aspecto esencial y que más tiempo consume del trabajo que realizan los analistas de datos, abarcando muchos desafíos de la IA, como por ejemplo, evitar los sesgos.<sup>14</sup>

## 3. Ejecutar y probar el algoritmo

Para comprender este paso en el proceso, se debe hacer una distinción entre el escenario en el que el algoritmo aprende y el escenario en el que ejecuta una decisión.

En el escenario de aprendizaje, el algoritmo está “hambriento de datos”: cuanto más se alimenta con datos de calidad, más eficiente resulta. Este fenómeno se llama “la efectividad excesiva de los datos”.<sup>15</sup>

El escenario en el que el algoritmo ejecuta una decisión no representa casi nada en comparación con el escenario en el que el algoritmo aprende, pero depende de que exista un escenario de aprendizaje eficiente. En

10 McKinsey & Company, *Artificial-intelligence hardware: New opportunities for semiconductor companies*, 2018

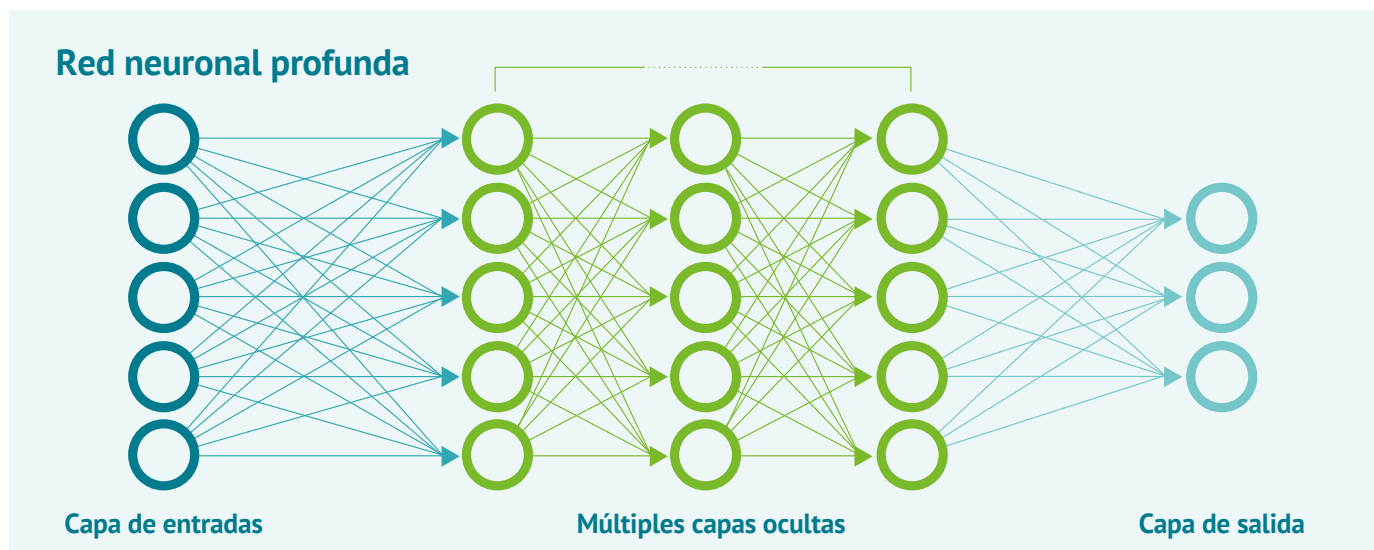
11 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (última consulta: 29/06/2021)

12 Debido a la explotación de los recursos, el consumo de equipos, ver estudio de caso sobre materia prima

13 [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en) (última consulta: 29/06/2021)

14 Dejaremos de lado la cuestión de los múltiples sesgos posibles debido a la mala selección de los datos, que es importante para entender el trabajo de los científicos de datos en relación con la IA, pero menos crucial para identificar las áreas que pueden tener un mayor impacto ambiental.

15 Norvig, Peter et al., *The Unreasonable Effectiveness of Data*, 2009; Sun, Chen et al., *Revisiting Unreasonable Effectiveness of Data in Deep Learning Era*, 2017; Google AI Blog, «*Revisiting the Unreasonable Effectiveness of Data*», 11 July 2017 (consultado por última vez el 01/03/2021)



el caso de la computación en el borde, el algoritmo se puede ejecutar localmente sin una conexión a la nube, lo que limita el uso del ancho de banda. En el caso de un algoritmo bien entrenado y optimizado (es decir, el que se utiliza para los coches autónomos), el procesador está a bordo, cerca de los sensores, por lo que no necesita una conexión para funcionar.

### **Búsqueda de arquitectura neuronal en el procesamiento del lenguaje natural: un ejemplo de un fuerte impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero**

En un artículo publicado en 2019 por la Universidad de Massachusetts Amherst,<sup>16</sup> los investigadores descubrieron que el coste de energía del proceso de entrenamiento de IA crece proporcionalmente al tamaño del modelo y puede aumentar drásticamente cuando se utiliza la búsqueda de arquitectura neuronal, un proceso incremental que pasa por una ronda exhaustiva de prueba y error para aumentar la precisión final del modelo.

De hecho, descubrieron que el modelo que estudiaron con el coste más alto tenía una huella de carbono de aproximadamente 1.400 libras (635 kgs) equivalentes de dióxido de carbono sin el proceso de ajuste de la búsqueda de arquitectura neuronal, y emitió más de 626.000 libras equivalentes de dióxido de carbono con este proceso de ajuste, lo que corresponde a aproximadamente 284 toneladas equivalentes de dióxido de carbono: “casi cinco veces las emisiones de por vida

del automóvil estadounidense promedio (incluyendo la propia fabricación del automóvil).”<sup>17</sup>

Este estudio, una de las pocas novedades en el campo, destaca por primera vez la importancia de la huella de carbono de la IA durante su proceso de aprendizaje. Sin embargo, si se llevara a cabo un estudio similar sobre la IA entrenada en territorio europeo, sería necesario considerar el mix energético europeo, que es diferente del utilizado en Estados Unidos durante el estudio de la Universidad de Massachusetts. Sin embargo, no solo se debe tener en cuenta el consumo de energía, sino también los indicadores de impacto ambiental. Si se realizara un análisis del ciclo de vida de una unidad funcional en un proceso de capacitación en IA, se tendrían que considerar los impactos ambientales de los diferentes equipos utilizados durante el proceso general.

16 Emma Strubell and al., *Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP*, Universidad de Massachusetts Amherst, 2019

17 MIT Technology Review, «Training a single AI model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes», 6 de junio de 2019 (consultado por última vez el 01/03/2021)

## La opinión del experto



*Michel Bénard es consultor privado desde principios de 2018. Es experto en Innosuisse y se encarga de la diligencia debida en las inversiones y la evaluación de la tecnología para clientes privados. Michel Bénard realizó su Maestría y doctorado en Telecom ParisTech, y ha ocupado puestos de I + D, negocios y administración en IBM, EPFL, HP y Google.*

“ El trabajo inicial de IA tuvo lugar en las décadas de 1970 y 1980, principalmente gracias a los esfuerzos de la industria del petróleo y del gas para desarrollar y utilizar los llamados sistemas expertos para la exploración de petróleo. Sin embargo, por varias razones (escasez de datos de calidad, potencia de cálculo limitada y algoritmos rígidos basados en reglas), estos primeros esfuerzos no dieron como resultado ningún éxito técnico y no se pudo lograr ningún resultado comercial. Como resultado, la IA pasó por un “período de hibernación”.

A principios de la década de 2000, se lanzaron nuevos proyectos de IA con más y mejores datos, una potencia de cálculo mucho mayor y nuevos algoritmos de aprendizaje automático basados en datos. El éxito llegó rápidamente, y desde entonces las implementaciones de IA para anuncios y sistemas de recomendación han funcionado de acuerdo con las expectativas de la industria y los usuarios, generando tremendos éxitos comerciales (en comercio electrónico, entretenimiento en línea y redes sociales). Alentados por estos éxitos, otras industrias han desarrollado e implementado IA con cierto éxito inicial, por ejemplo, en manteni-

miento predictivo y visión por computadora. Otros sectores (salud, educación electrónica, etc.) también están experimentando actualmente con la IA y los resultados iniciales parecen prometedores.

En la mayoría de los casos, una IA potente necesita grandes cantidades de datos de calidad y, en el caso de algunos algoritmos, como las redes neuronales, el rendimiento aumenta de forma casi desmesurada con la disponibilidad de datos. Además, la fase de aprendizaje de estos algoritmos requiere una potencia de cálculo muy alta para obtener un buen rendimiento. Estos requisitos generan una gran demanda de energía, que debe proporcionarse a los centros de datos dedicados a la IA. Tal problema no es nuevo, y la industria de hardware de computadoras ha estado trabajando durante décadas en su factura de energía. Recientemente se han puesto en marcha nuevos esfuerzos, se han incorporado nuevas fuentes de energía sostenibles y se están desarrollando técnicas de optimización energética para minimizar el consumo de energía de los centros de datos. Hay que mantener sin descanso estos esfuerzos.

En el futuro, queda un trabajo importante por delante para que la IA sea más generalizada:

- Ser capaz de abordar y resolver tareas de misión crítica, como la detección de enfermedades, la predicción de catástrofes naturales y de fallos en los equipos.
- Hacerla cada vez más explicable, especialmente si se trata de abordar tareas de misión crítica en aplicaciones de salud, de movilidad o industriales,
- Aumentar la optimización energética al eliminar la adquisición y el procesamiento de datos innecesarios o al tener en cuenta el coste real de las “aplicaciones gratuitas” o los “datos gratuitos”.

i Los resultados del proyecto se pueden consultar en la siguiente web: <http://www.rediscoverycentre.ie/research/q2reuse/>

ii Ina Rüdenauer, Siddharth Prakash, Ökonomische und ökologische Auswirkungen einer Verlängerung der Nutzungsdauer von elektrischen und elektronischen Geräten, Öko-Institut und VZBV, 2020

## 4. Presentar los resultados

Finalmente, se deben presentar los resultados (generalmente predicciones) proporcionados por el modelo. Los impactos ambientales pueden, de nuevo, variar enormemente dependiendo de cómo se utilicen los resultados:

- ¿Se envían los resultados a otro dispositivo TIC en un enfoque máquina a máquina (M2M)?
- ¿Cuántos dispositivos hay? ¿Están permanentemente conectados a Internet para poder funcionar? y ¿con qué tecnologías?
- ¿Se presentan los resultados a un ser humano que los ve usando un ordenador portátil convencional?

El impacto en esta fase variará en función de los impactos ambientales de los terminales utilizados (ordenadores, objetos conectados, etc.), y su número.

## Conclusión

A día de hoy es imposible evaluar y medir con precisión los impactos ambientales generados utilizando inteligencia artificial: los casos de IA utilizados para reducir los impactos ambientales aún son raros y no se ha realizado una medición del equilibrio entre los beneficios ambientales y los costes. A nivel mundial, los usos de la IA son extremadamente numerosos, pero difíciles de evaluar, ya que el sector está en constante cambio y es necesario considerar muchas variables para medir los impactos ambientales en casos de uso específicos. Mientras tanto, se han publicado muy pocos estudios: el balance entre beneficios medioambientales frente a los costes es un territorio inexplorado en la investigación de la IA.

Sin embargo, al comprender cómo funciona la IA, es posible obtener una visión general de las áreas de mayor impacto. Estos son principalmente los procesos de entrenamiento de IA (especialmente si se trata de una búsqueda de arquitectura neuronal) y la recopilación de datos si se observan las emisiones de efecto invernadero y el agotamiento de la materia prima, lo que significa que la eficiencia informática deberá aumentarse.

Si nos fijamos más concretamente en los impactos medioambientales debido al uso de recursos de materias primas, estos están relacionados con los semiconductores, los chips y los equipos utilizados para recoger, recopilar y procesar datos, que van a aumentar considerablemente; y más aún con dispositivos como los objetos conectados para la recogida de datos por medio de sensores o los equipos de usuario final. La IA es cada vez más un serio habilitador de múltiples dispositivos.

El aumento del uso de sensores planteará un desafío cada vez mayor a los esfuerzos por limitar los impactos ambientales de las aplicaciones de IA en los próximos años. Además, un aumento en las capacidades de cálculo puede limitar las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el proceso de ajuste fino en el aprendizaje automático y, al mismo tiempo, aumentar la huella ambiental del hardware de IA, ya que hará que el hardware de computación anterior y menos potente se vuelva obsoleto aún más rápidamente, lo que podría causar efectos de rebote.

Sin lugar a dudas, la IA puede considerarse cada vez más como un facilitador, un componente crítico de una economía basada en la tecnología. Esto está generando muchas preguntas fundamentales, una de ellas es cómo limitar sus impactos ambientales.

### Recomendaciones para un desarrollo digital compatible con el Acuerdo Verde

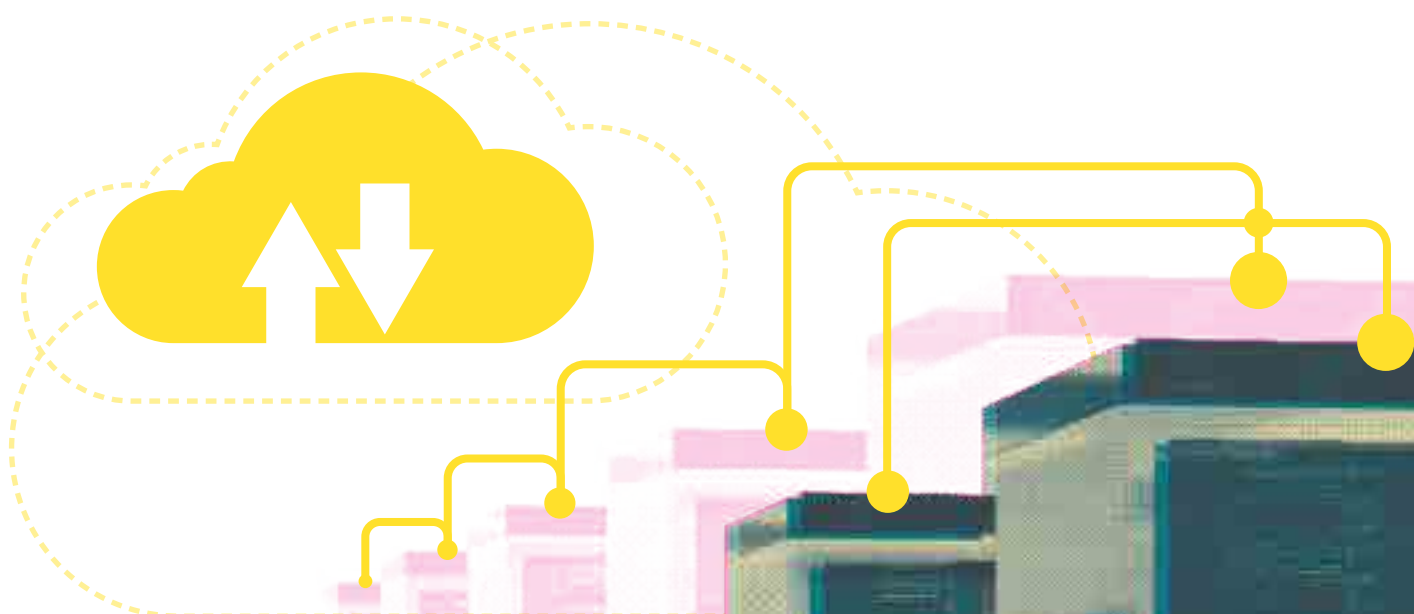
En una evolución digital compatible con el Acuerdo Verde, la madurez de la IA significa que esta solo se utiliza para optimizar tareas críticas, dando prioridad a la detección de enfermedades, la predicción de desastres naturales y los fallos de los equipos si, después de una evaluación comparativa, no es posible una alternativa de menor tecnología con los mismos niveles de éxito. La IA se combina sistemáticamente con baja tecnología para sacar lo mejor de ambos mundos en

beneficio de la sociedad y dentro de los límites planetarios. El camino hacia la madurez consiste en regular el uso de la IA de manera que se limite el uso de recursos y se tenga en cuenta la escasez futura de recursos críticos para la fabricación de hardware.

La madurez de la IA está limitando rápidamente la adquisición y procesamiento innecesarios de datos, y una directiva europea ha allanado el camino para regular el uso y el procesamiento de datos por parte de los usuarios de "aplicaciones gratuitas". Al hacerlo, la UE ha aprovechado las oportunidades para lograr la frugalidad y la soberanía de los datos.



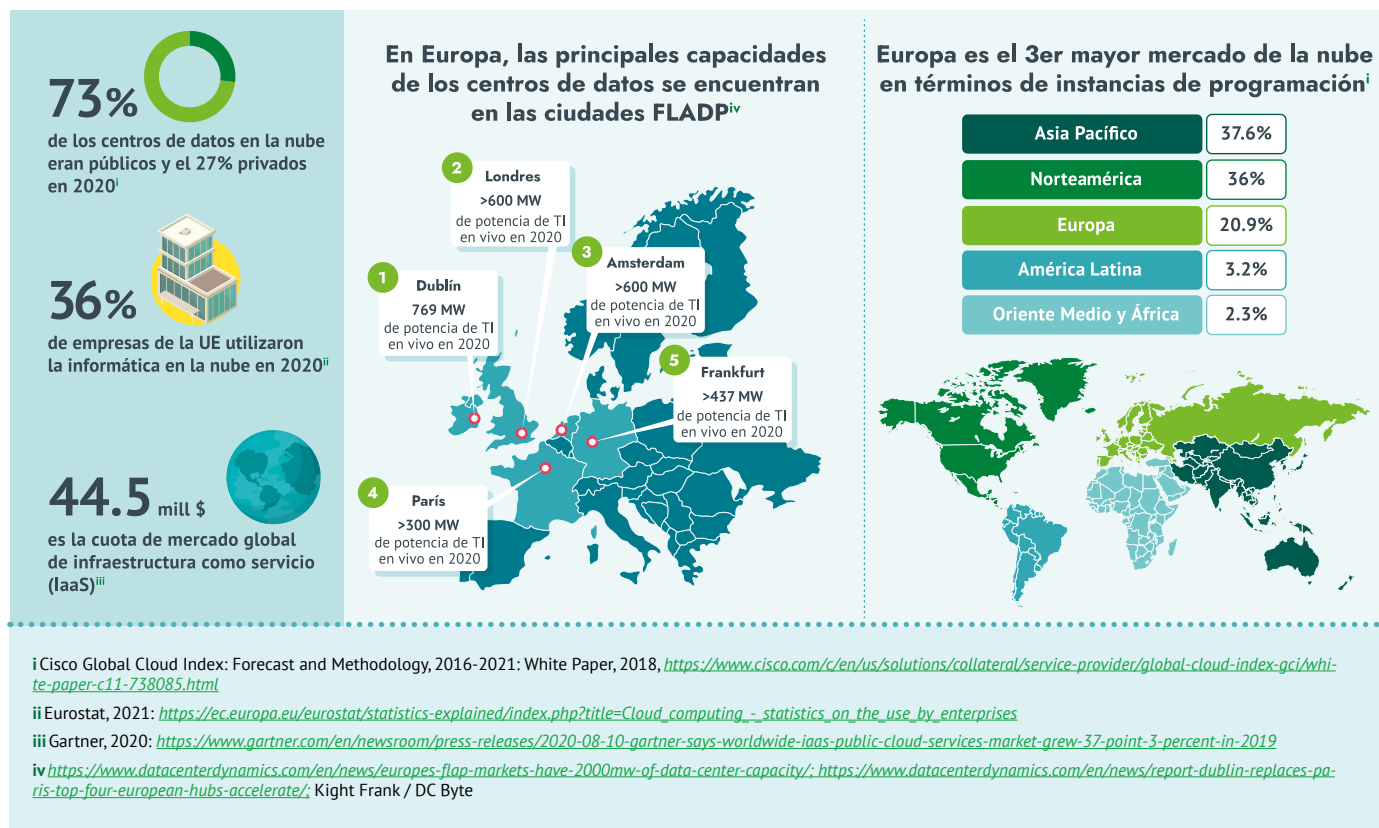
# Informática en la nube



## Índice

|                                                                                             |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Claves para comprender</b> .....                                                         | pág. 32 |
| <b>Resumen del estudio de caso</b> .....                                                    | pág. 32 |
| <b>Definiciones</b> .....                                                                   | pág. 33 |
| <b>¿Qué es la informática en la nube?</b> .....                                             | pág. 33 |
| <b>Conceptos principales</b> .....                                                          | pág. 34 |
| <b>Algunos ejemplos no exhaustivos<br/>de aplicaciones en la nube</b> .....                 | pág. 35 |
| <b>Desarrollo de informática en la nube<br/>en Europa y en todo el mundo</b> .....          | pág. 35 |
| <b>¿Cómo evaluar los impactos ambientales<br/>de la informática en la nube?</b> .....       | pág. 39 |
| <b>Conclusión</b> .....                                                                     | pág. 41 |
| <i>Recomendaciones para una evolución digital<br/>compatible con el Acuerdo Verde</i> ..... | pág. 42 |

# Claves para comprender



## Resumen del estudio de caso

La informática en la nube es un cambio de paradigma que ha modificado la forma en que se utilizan los recursos informáticos y de almacenamiento de TI. En consecuencia, también ha influido en la gobernanza de los sistemas de información de las organizaciones. Este sector está experimentando actualmente un fuerte crecimiento. Esto también implica desafíos crecientes con respecto a sus impactos ambientales: mientras que los recursos de la nube parecen ilimitados, los del planeta no lo son.

Al igual que muchas innovaciones tecnológicas de las TIC, la nube ha transformado profundamente las organizaciones: se la representa como un medio para la agilidad, el empleo y el desarrollo económico. ¿Y la perspectiva medioambiental?

*“El principal desafío a nivel de la UE es conciliar los objetivos de sostenibilidad con la digitalización masiva a través de la nube para que esta sea soberana y ecorresponsable.”*

El principio de la economía funcional<sup>1</sup> se aplica a la nube: en lugar de comprar y operar un elemento de equipo de TI, los usuarios reciben directamente servicios como computación, capacidad de almacenamiento o dispositivos, y los operan virtualmente. A primera vista, este ahorro parece respetuoso con el medio ambiente, especialmente porque reduce en el interés económico de los operadores de la nube no sobreestimar los recursos involucrados y extender la vida útil de los equipos y las infraestructuras.

Sin embargo, los impactos ambientales de estos servicios, como por ejemplo la contribución al cambio climático, son numerosos, agotamiento de los recursos no renovables (metales, fósiles), uso del agua, consumo

1 La economía funcional es un modelo económico basado en el desarrollo de soluciones que combinan garantías de servicio y funciones de uso de bienes materiales pertenecientes al productor.

de energía. Además, ha habido un aumento masivo en el uso de servicios en la nube, que también puede estar relacionado con el efecto rebote ([ver estudio de caso efectos de rebote](#)) y efectos de infobesidad.<sup>2</sup> Teniendo en cuenta que, si bien los recursos en la nube parecen ilimitados, los recursos consumidos para las TIC son en su mayoría no renovables y, por lo tanto, limitados, incluso si se utilizan algunos recursos renovables en la combinación energética del consumo eléctrico de los centros de datos.

En general, ¿cómo podría la informática en la nube ser más una herramienta que un obstáculo para lograr los objetivos del Acuerdo de París y limitar los impactos ambientales, especialmente el cambio climático?

La respuesta a esta pregunta requiere medidas a varios niveles para mejorar la transparencia y la señalización medioambiental, desarrollar normas de buenas prácticas y concienciar a todas las partes interesadas sobre los problemas medioambientales, con el fin de ecodiseñar los servicios en la nube.

El principal desafío a nivel de la UE es conciliar los objetivos de sostenibilidad con la digitalización masiva a través de la nube para una nube soberana y ecorresponsable.

En este estudio de caso, revisaremos la situación actual en detalle, describiremos los problemas ambientales asociados con la nube y definiremos recomendaciones para una nube “más ecológica”.

## Definiciones

Los primeros modelos de informática en la nube se remontan a la década de 1950 con aplicaciones que se ejecutan en sistemas de marco principal de núcleo compartido. El despliegue de la red de Internet permitió el desarrollo de servicios en la nube al hacer que las TI, las plataformas y las aplicaciones fueran utilizables desde cualquier tipo de terminal en todo el mundo.

## ¿Qué es la informática en la nube?

La informática en la nube es un término ampliamente utilizado que reúne una amplia variedad de servicios y modelos de negocio. De uso masivo tanto profesional como privado, y por su facilidad de uso, facilita el desarrollo del sector digital.

2 El efecto infobesidad se produce cuando el volumen de información que recibe un ser humano excede su capacidad productiva para procesar esta información.

### Informática en la nube: Equipos e infraestructuras involucradas



#### Centro de datos

Construcción y operación

Proporciona espacios con un suministro eléctrico de alta calidad, aire acondicionado y un alto nivel de seguridad



#### Hardware

Selección, puesta en marcha, mantenimiento y desmantelamiento de equipos de hardware alojados en el centro de datos (informática, almacenamiento, red)



#### La nube

Diseño, entrega y operación de servicios en la nube IAAS, PAAS, SAAS



#### Uso

Dispositivos de red y de usuario final necesarios para acceder a los servicios

## Conceptos principales

En 2011, el NIST<sup>3</sup> (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos), definió la computación en la nube como *“un modelo para habilitar el acceso de red ubicuo, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar y liberar rápidamente con un mínimo esfuerzo de administración o interacción con el proveedor de servicios.”*

El NIST es responsable de desarrollar normas y directrices, incluidos los requisitos mínimos, para proporcionar una seguridad de la información adecuada para todas las operaciones y activos de la agencia.

Los servicios en la nube incluyen tres tipos de servicios:

➤ **Infraestructura como servicio (IaaS):** El servicio proporciona recursos de TI como disponibilidad de cómputo, almacenamiento y red para el usuario. En este modelo, el usuario tiene que administrar el sistema operativo y el software implementado en el IaaS.

➤ **Plataforma como servicio (PaaS):** El servicio proporciona disponibilidad de infraestructura, incluidos IaaS y sistemas operativos para el usuario. El usuario sigue siendo responsable de la capa de software.

➤ **Software como servicio (SaaS):** El servicio proporcionado al usuario es un acceso directo a las aplicaciones que se ejecutan en una infraestructura en la nube.

Además, se desarrollan comúnmente tres tipos diferentes de alojamiento para servicios en la nube:

➤ **Nube privada:** La infraestructura en la nube se opera solo para una organización. Puede ser administrado por la propia empresa o por un tercero y puede existir en el sitio o fuera del sitio.

➤ **Nube pública:** La infraestructura en la nube se pone a disposición del público en general o de un gran grupo industrial, y pertenece a una empresa que vende servicios en la nube.

➤ **Nube híbrida:** La infraestructura de nube es una composición de dos o más tipos de nube (privada, comunitaria o pública). Siguen siendo entidades únicas, pero están conectadas por una tecnología estándar o de patente que permite compartir datos y aplicaciones en la nube).

3 Definición de informática en la Nube del NIST, 2012

### Informática en la nube: Equipos e infraestructuras involucradas



#### Autoservicio bajo demanda

“El consumidor puede aprovisionar unilateralmente capacidades informáticas, como la hora del servidor y el almacenamiento en red, según sea necesario de forma automática, sin requerir interacción humana con cada proveedor de servicios”



#### Puesta en común de recursos

“Los recursos informáticos del proveedor se agrupan para atender a múltiples consumidores utilizando un modelo de múltiples inquilinos, con diferentes recursos físicos y virtuales asignados y reasignados dinámicamente de acuerdo con la demanda del consumidor”



#### Amplio acceso a la red

“Las capacidades están disponibles en la red y son accesibles a través de mecanismos estándar que promueven el uso de plataformas de clientes estrechas o anchas y heterogéneas (por ejemplo, teléfonos móviles, computadoras portátiles y asistentes personales digitales o PDA)”



#### Flexibilidad rápida

“Las capacidades se pueden aprovisionar y liberar de forma elástica, en algunos casos de forma automática, para escalar rápidamente hacia afuera y hacia adentro en función de la demanda. Para el consumidor, las capacidades disponibles para el aprovisionamiento a menudo parecen ilimitadas y pueden ser apropiadas en cualquier cantidad en cualquier momento”



#### Servicio medido

“Los sistemas en la nube controlan y optimizan automáticamente el uso de los recursos aprovechando una capacidad de conteo a un nivel de abstracción apropiado para el tipo de servicio”

Fuente: [https://www.gsa.gov/cdnstatic/Best\\_Business\\_Practices\\_for\\_US\\_Government\\_Cloud\\_Adoption.pdf](https://www.gsa.gov/cdnstatic/Best_Business_Practices_for_US_Government_Cloud_Adoption.pdf)

El siguiente cuadro muestra, por usuario o proveedor de nube, el perímetro de control para cada uno de los tres tipos de servicio. Representa las áreas en las que los usuarios/proveedores podrían tener un impacto directo e implementar mejoras ambientales.

| Diferencias entre SaaS, PaaS e IaaS                                                                                     |                |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| IaaS                                                                                                                    | PaaS           | SaaS           |
| Aplicación                                                                                                              | Aplicación     | Aplicación     |
| Datos                                                                                                                   | Datos          | Datos          |
| Ejecución                                                                                                               | Ejecución      | Ejecución      |
| Middleware                                                                                                              | Middleware     | Middleware     |
| S/                                                                                                                      | S/O            | S/O            |
| Virtualización                                                                                                          | Virtualización | Virtualización |
| Servidores                                                                                                              | Servidores     | Servidores     |
| Almacenamiento                                                                                                          | Almacenamiento | Almacenamiento |
| Redes                                                                                                                   | Redes          | Redes          |
| <div> <div></div> Gestionado por el cliente           <div></div> Gestionado por el proveedor de la nube         </div> |                |                |

En resumen, en lugar de invertir en hardware, las empresas que utilizan sistemas de informática en la nube se suscriben a un departamento de TI externo. El proveedor se encarga de todo, desde el almacenamiento, las redes, el mantenimiento del servidor hasta la seguridad. Al almacenar sus datos internamente, deben administrar estas funciones ellos mismos.

## Algunos ejemplos no exhaustivos de aplicaciones de IA

Amazon Web Services, Microsoft Azure y Google Compute Engine se encuentran entre los principales proveedores de servicios en la nube de IaaS.

Google App Engine y AWS Elastic Beanstalk son dos ejemplos típicos de PaaS. PaaS también se basa en suscripciones, lo que le brinda opciones de precios flexibles en función de las necesidades comerciales.

Un ejemplo conocido de SaaS incluye Google G Suite, Microsoft Office 365 o Dropbox.

## Desarrollo de informática en la nube en Europa y en todo el mundo

El mercado mundial de servicios de nube pública creció un 24,1 por ciento interanual en 2020, alcanzando los 312.000 millones de dólares en ingresos totales.<sup>4</sup>

El uso de servicios en la nube está aumentando tanto para uso personal como profesional, lo que significa más tareas computacionales y mayores demandas de almacenamiento por parte de los centros de datos. En los países de la UE-28 en 2018, el 56% de las personas de 16 a 74 años utilizaron Internet para las redes sociales.<sup>5</sup> Según Cisco, las aplicaciones de consumo son responsables de alrededor del 25%<sup>6</sup> de cargas de trabajo e instancias de cómputo en centros de datos de todo el mundo. De estos, las búsquedas, las redes sociales y la transmisión de vídeo a través de aplicaciones en la nube representan aproximadamente dos tercios.

De 2016 a 2021 en Europa del Este, el tráfico en la nube ha aumentado un 38% (CAGR).<sup>7</sup>

Según Eurostat, más de una de cada cuatro empresas europeas utilizó servicios en la nube en 2018, especialmente en los estados escandinavos: Finlandia 65 por ciento, Suecia 57%, Dinamarca 56%. En el otro extremo de la escala se encuentran Bulgaria (8%) y Rumania (10%).<sup>8</sup>

4 IDC, 13 de mayo de 2021: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS47685521>

5 Eurostat, 2019: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tin00127/default/table?lang=fr>

6 Cisco, 2019, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>

7 Informe Anual de Internet, Cisco, 2016-2021

8 Eurostat, 2020: [https://ec.europa.eu/eurostat/documents/portlet\\_file\\_entry/2995521/9-13122018-BP-FR.pdf/a21954b5-3d96-415b-8319-77a24fac10b3](https://ec.europa.eu/eurostat/documents/portlet_file_entry/2995521/9-13122018-BP-FR.pdf/a21954b5-3d96-415b-8319-77a24fac10b3)

Los servicios en la nube son particularmente comunes en la colaboración de oficina para servicios de correo electrónico, almacenamiento de archivos y software de oficina. El crecimiento en el uso se sustenta en los efectos de refuerzo de crecimiento mutuo entre las mayores capacidades ofrecidas (rendimiento de computación de hardware, más almacenamiento, aumento de la velocidad de comunicación) y las oportunidades para usar aplicaciones y software emergentes más potentes.<sup>9</sup>

## **¿Será la informática en la nube una herramienta más que un obstáculo para lograr los objetivos del Acuerdo de París y limitar los impactos ambientales, especialmente el cambio climático?**

La informática en la nube se basa en la puesta en común de recursos de TI dentro de los centros de datos, donde se optimizan mediante procesos de virtualización y monitoreo de energía. Por un lado, debido a que permite una puesta en común de recursos, esta tecnología reduce la cantidad de recursos involucrados y, por lo tanto, los impactos ambientales relacionados en comparación con las salas internas de servidores de TI de las organizaciones. Por otro lado, y al contrario de lo que a veces se piensa, no se almacena en nubes meteorológicas reales, sino que permanece firmemente en la Tierra en los centros de datos y en el tráfico de datos que se ejecuta a través de cables de fibra óptica. Esto significa que el crecimiento de la nube se acompaña de una mayor demanda de recursos materiales y, por lo tanto, de un mayor impacto ambiental.

En primer lugar, los equipos informáticos que utilizamos generan impactos ambientales significativos, especialmente durante las fases de uso y fabricación. En lo que respecta a los centros de datos, la fabricación y el uso de equipos informáticos contribuyen mucho más al cambio climático, al uso de recursos (minerales y metales) y a las radiaciones ionizantes que la fabricación y el uso de equipos de almacenamiento ([vea nuestro informe de ACV<sup>10</sup>](#)).

La principal ventaja de los servicios en la nube es que proporcionan fácilmente capacidad adicional y gestionan los picos de actividad (por ejemplo, compras electrónicas en Navidad). Además, los servicios en la nube pueden facilitar el trabajo al proporcionar un fácil acceso a los dispositivos, al espacio de trabajo digital y a los sistemas de TI. El uso de la nube generalmente va acompañado de altas expectativas de seguridad, lo que a veces resulta en una infraestructura física de gran tamaño. A veces, este sobredimensionamiento puede ser un síntoma de una gobernanza poco desarrollada.

*“Los cambios institucionales son clave para limitar los impactos ambientales de los recursos en la nube no utilizados.”*

Sin embargo, es posible utilizar la nube de una manera informada, lo que puede conducir a ganancias ambientales significativas si se siguen las mejores prácticas y pautas. Por ejemplo, en una organización, el gerente de TI puede comenzar por dimensionar las necesidades comprando “lo suficiente”. Los administradores de TI pueden elegir un operador de nube que garantice la transparencia, el rendimiento energético y el reconocimiento externo, y solicitar a ese operador indicadores de informes para realizar un seguimiento de su consumo. Los gestores de TI también pueden crear conciencia entre los usuarios internamente y difundir información sobre el consumo.

Enumeraremos las diversas preguntas<sup>11</sup> que se formulan sobre la nube desde un punto de vista ambiental y ofreceremos algunas respuestas.

9 Liguoro Yu. 2011. «*Coevolution of information ecosystems: a study of the statistical relations among the growth rates of hardware, system software, and application software*». SIGSOFT Softw. Eng. Notas 36, 6 (noviembre de 2011), 1-5.

10 Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas- Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E. GreenIT.fr. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*

11 Estas preguntas son ideas preconcebidas enumeradas por Green IT Alliance en 2014. Proporcionaron algunas respuestas analizando los posibles beneficios ambientales de transferir todo o parte del SI de una empresa a la nube para verificar los argumentos de los usuarios de la nube sobre su supuesta ventaja sobre el medio ambiente. Fuente: Alliance Green IT: ¿Es verde la nube?

La virtualización de los equipos permite la puesta en común, la optimización y, por lo tanto, la reducción de los medios físicos (servidores, discos, etc.) para gestionar una cantidad equivalente de datos. Según los operadores, la consolidación de servidores reduciría los costes operativos y de hardware en un 50 por ciento, y los costes de energía en hasta un 80 por ciento.<sup>12</sup>

### ➤ Sí, pero.

De hecho, existe un efecto de optimización de agrupación. Sin embargo, el servidor virtual, cualquiera que sea su eficiencia energética, depende de la infraestructura física. Además, la tasa de uso del servidor físico asociado no es óptima de inmediato y puede variar dependiendo de las temperaturas estacionales (más eficiente en temperaturas más frías). Asimismo, esto genera un fuerte aumento de los requisitos de telecomunicaciones: ancho de banda (centro de datos y cliente), equipos, redundancia de acceso, etc. Por otro lado, es importante recordar que el consumo final de energía no es un indicador ambiental y que se deben investigar otros, como la contribución al cambio climático; el uso de recursos, minerales y metales; el uso de recursos, fósiles.

En el pasado, cada empleado tenía su propia copia personal de documentos y solicitudes. Con la nube, los datos se almacenan solo una vez:

- Existe un límite significativo en la multiplicación de copias y el almacenamiento de datos,
- Esto libera capacidad en los terminales (accesorios) e incluso extiende su vida útil.

### ➤ Sí, pero.

Se reduce la copia y el archivado, pero se abre la puerta a un enorme efecto rebote: la facilidad de uso fomenta el almacenamiento de más y más información (historial más largo, datos más detallados, etc.). Como resultado, el volumen de datos almacenados se dispara. Según el IDC, "la cantidad de datos creados durante los próximos tres años superará a los datos creados en los últimos 30 años, y el mundo creará más del triple de datos en los próximos cinco años que en los cinco anteriores"<sup>13</sup>. La pandemia de COVID-19 está contribuyendo a esta cifra al cambiar los

hábitos de consumo de los usuarios.<sup>14</sup> Además, los servidores originales no se desmantelan sistemáticamente después de que los datos se migran a la nube.

Una de las características fundamentales de la nube es la facturación de servicios basada en el uso. Este mecanismo es virtuoso porque obliga a los usuarios a medir su consumo de recursos y, por lo tanto, fomenta el uso razonable.

### ➤ Esto está incompleto.

Desafortunadamente, la granularidad de la facturación (por ejemplo, combinación de volumen almacenado, duración del uso, tránsito de Internet, etc.) hace que el modelo de negocio sea difícil de predecir.

La facilidad de despliegue de nuevos recursos de TI, como servidores virtuales, no incita a la sobriedad: de hecho, cuando solo se necesitan unos pocos clics del ratón para instalar más recursos de servidores virtuales en lugar de actualizar físicamente los servicios internos, es fácil consumir más recursos. Por otro lado, una cantidad significativa de recursos "virtuales" de TI no se utilizan. Este punto es un problema en la eficiencia ambiental porque los activos "virtuales" no utilizados aún se ejecutan 24/7/365. Actualmente, alrededor del 30 por ciento de los servidores no se utilizan.<sup>15</sup> Se ha demostrado que estos servidores zombis se pueden reducir de manera eficiente del 30 por ciento al 8 por ciento en solo un año si una empresa toma medidas cuando se le presenta evidencia de la magnitud del problema,<sup>16</sup> lo que significa que los cambios institucionales son clave para limitar los impactos ambientales de los recursos en la nube no utilizados.

12 <https://www.vmware.com/solutions/consolidation.html>

13 IDC, 8 Mayde mayo de 2020: Global DataSphere Forecast Shows Continued Steady Growth in the Creation and Consumption of Data.

14 <https://www.infoworld.com/article/3586597/cloud-adoption-in-a-post-covid-world.html>

15 Jonathan Koomey y Jon Taylor, Zombie/Comatose Servers Redux, 2017

16 <https://www.koomey.com/post/159279936533>



Los impactos sociales de la nube ya son visibles: evitar algunos viajes, mayor flexibilidad en los patrones de trabajo, mejor equilibrio entre la vida laboral y personal...

## ➤ Sí, pero.

Sin embargo, estos beneficios no deben ocultar los efectos negativos ambientales y sociales directos e indirectos: multiplicación de los equipos informáticos y su impacto ambiental asociado, aumento de la infobesidad, agotamiento y estrés relacionados con la hiperconectividad, etc. No hay evidencia de que el teletrabajo se traduzca en una mejora general de la calidad de vida, especialmente si se traduce en un aumento de la jornada laboral y una línea borrosa entre el trabajo y la vida privada. El aislamiento inducido por el uso masivo del teletrabajo es también un riesgo social a tener en cuenta, especialmente durante la crisis sanitaria de COVID. Además, la externalización parcial o total de la gestión de la información plantea problemas de recursos humanos: para los equipos internos (evolución de la experiencia, visión estratégica de TI, etc.) y las del proveedor (lugar y condiciones de trabajo, etc.).

También es importante recordar que algunos efectos de rebote adversos pueden ir en contra de los beneficios ambientales de la informática en la nube que permite trabajar desde casa. Por ejemplo, si los trabajadores tienen que adaptar su oficina en casa construyendo una extensión, o si el trabajo está asociado con más viajes aéreos simultáneos.<sup>17</sup>

Ubicar los servicios en la nube en centros de datos de alta eficiencia conduce a una reducción de los consumos de energía

## ➤ Depende.

Los centros de datos de hiperescala generalmente tienen un gran nivel de eficiencia energética, medida por la Efectividad del Uso de Energía (PUE por sus siglas en inglés), que está en torno al 1.2 frente a un promedio de 1.6 o más en otros centros de datos.<sup>18</sup> Sin embargo, debido a la

duplicación de datos en varios centros de datos para evitar la interrupción del primero, este KPI no puede medir la eficiencia energética global de los servicios en la nube. Por otro lado, el PUE se utiliza para medir la eficiencia energética de una instalación: "El PUE también puede enviar señales incorrectas debido a que ignora la carga de trabajo efectiva real realizada. Imaginemos dos instalaciones: la instalación A tiene un PUE de 1.1 y maneja 0.5 PB de datos, mientras que la instalación B tiene un PUE de 1.2 y procesa 1.0 PB de datos anualmente. Sobre la base de PUE solo, la instalación A sería preferible, pero la instalación B requiere menos energía para procesar una cantidad similar de datos, y debería ser la favorita.

El PUE también puede depender de cómo se interpreten las pautas de medición. Google explica que el PUE promedio para todos los Centros de datos de Google es 1.11, aunque podrían presumir de un PUE tan bajo como 1.06 usando límites más estrechos."<sup>19,20</sup>

El aumento de la eficiencia de la nube podría absorber el aumento de los usos y necesidades de TI

## ➤ No hay consenso sobre este punto para la próxima década.

Algunos autores sugieren una necesidad de energía estable de alrededor de 200 TWh en todo el mundo en 2030, cuando otros pronostican aproximadamente 10 veces más.<sup>21</sup> Entre 2010 y 2018, el consumo total de energía de los centros de datos solo aumentó un 6 por ciento (de 194 TWh a 205 TWh), mientras que la demanda se multiplicó considerablemente: este resultado notablemente bajo se explica principalmente por las grandes ganancias en eficiencia energética de las infraestructuras de procesamiento de datos y centros de datos. Sin embargo, la ley de Moore<sup>22</sup> se espera que deje de tener influencia muy pronto (alrededor de 2021-2025).<sup>23</sup> Un modelo de previsión del impacto del uso en las necesidades de electricidad de los centros de datos ha destacado recientemente que, combinados, el fin de la ley de Moore y el

17 *Estudio sobre la caracterización de los efectos de rebote inducidos por el teletrabajo*, ADEME, 2020.

18 Comisión Europea, *Estudio de Impacto de las TIC*, Informe final, preparado por VHK y Viegand Maagøe para la Comisión Europea, julio de 2020

19 Ibid.

20 <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/>

21 Hintemann R, Hinterholzer S. *Energy consumption of data centers worldwide: How will the internet become green?* Taller CEUR Proc.; 2019

22 La ley de Moore predice un rendimiento que se duplica cada 2 años. Para obtener más información sobre la ley de Moore: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s_law)

23 Shalf J. The future of computing beyond Moore's Law. *Philos Trans R Soc A Math Phys Eng Sci* 2020;378:20190061. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0061>

aumento del IdC industrial, podrían hacer que las necesidades de energía de los centros de datos aumenten hasta 752 TWh en 2030 (alrededor de 364 TWh en 2030 para el IdC industrial sin el fin de la ley de Moore).<sup>24</sup> Además, esta suposición se centra solo en el consumo de energía final y es incompleta a efectos de comprender los diversos impactos ambientales de la nube y los centros de datos, aun siendo a menudo el indicador más discutido, ya que los centros de datos pueden ejercer presión sobre la red eléctrica.

## Presión sobre la red eléctrica

Los centros de datos consumen una gran cantidad de electricidad. Potencialmente, pueden ejercer una presión insostenible sobre la red eléctrica de un país. Como sucedió en Irlanda en 2021, cuando la Comisión de Regulación de Servicios Públicos (CRU por sus siglas en inglés) advirtió en un documento de consulta en junio de 2021 que el país podría sufrir cortes de energía si no se abordaba el problema.<sup>25</sup> La posibilidad de interrupciones prolongadas causadas por la demanda de energía de los centros de datos ha llevado a EirGrid, el gestor nacional de la red de energía pública, a dar la voz de alarma.

Se describieron tres escenarios, el tercero considerado como “el enfoque más equilibrado y necesario”:

**1. Statu quo:** se considera inaceptable porque es probable que provoque un desprendimiento de carga y que los consumidores sufran apagones,

**2. Moratoria:** “emitir una Orden a los operadores del sistema para que dejen de procesar todas las aplicaciones de conexión al centro de datos (incluidas las modificaciones) y las nuevas aplicaciones de conexión durante varios años”<sup>26</sup>,

**3. Medidas de conexión,** incluida la priorización de la tramitación de las solicitudes de conexión de los centros de datos en Irlanda en su conjunto, en función de los siguientes criterios:

- “La ubicación de cada solicitante de centro de datos con respecto a si se encuentra en una región del sistema eléctrico que esté o no esté restringida;”
- “La capacidad de cada solicitante de centro de datos para suministrar una generación (y/o almacenamiento) despachable equivalente o superior a su demanda,

que cumpla la disponibilidad adecuada y otros requisitos técnicos que pueda especificar la EirGrid, a fin de respaldar la seguridad del suministro;”

- “La capacidad de cada solicitante de centro de datos para proporcionar flexibilidad en su demanda reduciendo el consumo cuando el GRT lo solicite en momentos de restricción del sistema mediante el uso de generación (y/o almacenamiento) in situ despachable que cumpla con la disponibilidad adecuada [...] para apoyar la seguridad del suministro;”

- “La capacidad de cada solicitante de centro de datos de ofrecer flexibilidad en su demanda reduciendo el consumo cuando el GRT se lo solicite en momentos de restricción del sistema, a fin de respaldar la seguridad del suministro;”<sup>27</sup>

## ¿Cómo evaluar los impactos ambientales de la informática en la nube?

Contar con una metodología estandarizada para evaluar los impactos globales de los servicios de computación en la nube e implementarla es el primer paso para mejorar el rendimiento ambiental de los servicios en la nube. Tal metodología estandarizada proporcionaría modelos transparentes y públicos que permitirían a los investigadores y a los responsables políticos trabajar a partir de sus propios supuestos en aras de la formulación de políticas. En la actualidad, los centros de datos publican muy poca información, lo que dificulta la aclaración de los impactos de ambos componentes y las categorías de uso precisas.

También es crucial contar con una metodología para evaluar la evolución de los impactos ambientales relacionados con la migración de los centros de datos tradicionales o de las salas o armarios privados de TI de las empresas a los servicios de informática en la nube. Esto, además de una forma de incluir las consecuencias en las redes, los equipos y los efectos indirectos relacionados, como los efectos de rebote.

24 Martijn Koot, Fons Wijnhoven, *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*, *Energía Aplicada*, Volumen 291, 2021

25 <https://www.cru.ie/wp-content/uploads/2021/06/CRU21060-CRU-consultation-on-Data-Centre-measures.pdf> y <https://www.lebigdata.fr/irlande-data-centers-pannes-electriques>

26 <https://www.cru.ie/wp-content/uploads/2021/06/CRU21060-CRU-consultation-on-Data-Centre-measures.pdf>

27 Ibid.



*“Si no se puede medir,  
no se puede mejorar”.*

**Lord Kelvin**

La mayoría de los estudios que analizan los impactos ambientales de la nube se centran en el consumo de energía de los centros de datos. Este enfoque es limitado porque no tiene en cuenta todos los impactos relacionados con la etapa de construcción y la etapa de fin de vida útil del equipo involucrado. Se producen malentendidos porque esta metodología deja de lado parte de los impactos que pueden variar en función de los equipos de TI, la vida útil de los centros de datos, la infraestructura, etc. Aunque la fase de uso suele representar la mayor parte de los impactos en el ciclo de vida ambiental de un centro de datos, los principales impactos ambientales de la nube no se pueden resumir solo mirando el consumo de energía final. Un enfoque global sobre el desempeño ambiental de los servicios en la nube requiere abarcar tanto el hardware como la infraestructura y considerar todas las etapas del ciclo de vida del equipo.

*“Los estudios de impacto ambiental se basan principalmente en el consumo de energía de los centros de datos en lugar de en los análisis multicriterio de ciclo de vida completos”*

Desde el punto de vista del ciclo de vida ambiental, y considerando su contribución al cambio climático, la fase de uso es la más impactante, ya que un centro de datos debe operar 24/7/365. Dependiendo de la configuración y la ubicación de la infraestructura, la fase de uso puede ser más o menos impactante. Más específicamente, esto depende en gran medida de las necesidades de refrigeración y de la combinación de energía.

Con respecto a la refrigeración, es importante tener en cuenta que en muchos casos, el rendimiento informático de los servidores no se verá afectado si la temperatura del aire circundante se mantiene en torno a

los 35 o 40 °C.<sup>28</sup> En lugar de refrigerar los centros de datos hasta los 20 o 22 °C, los conjuntos de servidores conformes con ASHREA pueden utilizarse con un sencillo sistema denominado **free cooling**<sup>29</sup>, lo que supone un importante ahorro energético. Si el centro de datos cumple con los estándares más estrictos de ARSHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) (A1)<sup>30</sup>, los impactos ambientales relacionados con la refrigeración serán menos importantes que si el centro de datos solo cumple con los estándares ARSHAE A4, o incluso si no cumple con ninguno de los estándares ASHRAE. En Europa, las Directrices de Mejores Prácticas de 2019 para el Código de Conducta de la UE sobre Eficiencia Energética de los Centros de Datos<sup>31</sup>, se inspiró en los estándares ASHRAE.

Los impactos medioambientales (residuos, agua, uso de recursos (fósiles), etc.) pueden variar mucho en función de la configuración y la ubicación de las infraestructuras en la nube sometidas a estudio. En cuanto a la distinción entre computación y almacenamiento, los principales impactos ambientales de la nube están relacionados con la computación más que con el almacenamiento.

Para reducir los impactos ambientales de la informática en la nube, se implementan soluciones:

**Refrigeración libre (free cooling)**, utilizar el entorno exterior del centro de datos como fuente de aire frío. El aire frío se inyecta directamente en el circuito de aire de refrigeración de los equipos de TI.<sup>32</sup>

**Enfriamiento por inmersión**, que consiste en sumergir los componentes en un líquido dieléctrico para enfriarlos, evitando así los sistemas de aire acondicionado y limitando el consumo de energía.<sup>33</sup>

También es posible utilizar el calor de los componentes de TI para lograr ahorros de energía. Si el centro de datos se encuentra cerca de una ciudad, el calor se puede utilizar para la calefacción urbana, como sucede actualmente en algunas localidades como Estocolmo

28 <https://www.masterdc.com/blog/what-is-data-center-free-cooling-how-does-it-work/>

29 <https://www.anandtech.com/show/7723/free-cooling-the-server-side-of-the-story>

30 <http://tc0909.ashraetcs.org/>

31 Acton, M., Bertoldi, P., Booth, J., Flucker, S., Newcombe, L., Royer, A. and Tozer, R., 2019 *Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency*, Comisión Europea, Ispra, 2018, JRC114148.

32 Hainan Zhang, Shuangquan Shao, Hongbo Xu, Huiming Zou, Changqing Tian, *Free cooling of data centers: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 35, 2014, Pages 171-182, ISSN 1364-0321; <https://www.buildings.com/articles/27490/6-keys-free-cooling-data-centers>

33 <https://www.ptisolutions.com/immersion-cooling-the-future-of-data-center-technology/>

(Suecia)<sup>34</sup>, Mäntsälä (Finlandia)<sup>35</sup>, Odense (Dinamarca)<sup>36</sup>, o para calentar una piscina pública en París (Francia).<sup>37</sup>

## Conclusión

Hasta la fecha, los diversos impactos ambientales de los servicios en la nube no están suficientemente documentados a través de una metodología independiente. La digitalización de la economía ha estimulado un fuerte desarrollo de la informática en la nube en los últimos años. Para que esta actividad sea compatible con los objetivos del Acuerdo de París para limitar el cambio climático, es crucial involucrar a toda la cadena de valor (fabricantes, operadores de centros de datos, operadores de nube, usuarios) e implementar acciones para cada perímetro, y comprender de manera complementaria los impactos ambientales de la computación en el borde y de los centros de datos tradicionales para permitir comparaciones.

Los principales impactos ambientales están relacionados con la etapa de uso y en particular con las asignaciones de computación.

El fuerte crecimiento de los servicios de informática en la nube tiene un impacto en la carga de la red y la renovación de los dispositivos de los usuarios finales.

Los principales problemas en torno a la evaluación ambiental de los servicios en la nube son:

- “Los estudios de impacto ambiental se basan principalmente en el consumo de energía de los centros de datos en lugar de en los análisis multicriterio de ciclo de vida completos”
- Falta de transparencia y de oportunidades para comparar o elegir a su operador sobre una base comparable
- Falta de información ambiental estandarizada para equipos de TI
- Estudios basados en etapas específicas del ciclo de vida o en un solo impacto ambiental, con supuestos y simplificaciones, lo que aumenta el riesgo de transferencias de contaminación o efecto rebote si se implementa un enfoque de ecodiseño basado en ellos.

Las publicaciones sobre soluciones para reducir los impactos ambientales de la informática en la nube a menudo se limitan a la infraestructura del centro de datos. Un enfoque global sobre el desempeño ambiental de los servicios en la nube requiere abarcar tanto el hardware como la infraestructura y considerar todas las etapas del ciclo de vida del equipo.

34 <https://www.datacenterknowledge.com/design/data-center-firm-expects-halve-energy-cost-recycling-heat>

35 <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/yandex-data-center-heats-finnish-city/>

36 <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/facebooks-denmark-data-center-will-supply-heat-to-city/>

37 <https://www.greenit.fr/2017/07/25/stimergy-chauffe-piscine-parisienne>

### Efectos ambientales relacionados con la informática en la nube



#### ✗ Centro de datos

Impacto potencialmente alto en consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero, en función de la eficiencia energética del centro de datos



#### ✗ Hardware alojado en el centro de datos

Impacto potencialmente alto, principalmente agotamiento de materias primas y agua utilizado para el proceso de fabricación de los equipos utilizados. Alto impacto en el consumo de energía



#### ✗ Servicios en la nube

Impacto potencialmente muy alto en agotamiento de materias primas, agua y emisiones de gases de efecto invernadero dependiendo de los recursos de TI necesarios para proporcionar servicios, pero también de la red y los dispositivos de los usuarios finales



#### ✗ Uso

Impacto potencialmente alto en agotamiento de materias primas, agua y emisiones de gases de efecto invernadero dependiendo tanto de la combinación energética como de la solicitud de los usuarios finales para acceder al servicio

- ✗ Impactos ambientales potencialmente exponenciales
- ✗ Impactos ambientales potencialmente muy elevados
- ✗ Impactos ambientales potencialmente elevados
- ✗ Impactos ambientales mitigados confirmados compatibles con los límites planetarios

## Recomendaciones para un desarrollo digital compatible con el Acuerdo Verde

Los estándares se desarrollan a nivel de la UE en función de las mejores prácticas ambientales, la medición del impacto y el acceso abierto a los KPI ambientales de los centros de datos. La implementación de las mejores prácticas se fomenta como un comportamiento virtuoso. La sensibilización mediante campañas informativas y el acceso abierto a datos primarios transparentes y documentados se combina con el etiquetado ambiental de los servicios en la nube.

Se discuten los efectos de rebote generados por la computación en la nube, así como las nuevas tecnologías emergentes relacionadas con la computación y transferencia de datos, como la computación de borde, la cadena de bloques o la minería. Con ello se busca dar forma a una visión cada vez más clara e integral de los impactos ambientales de las TIC.

En la medida de lo posible, el calor “desperdiciado” de los centros de datos se reutiliza para uso urbano. También se promueven los centros de datos con alta eficiencia energética y que dependen de la refrigeración libre (free cooling). Para ello, suscribirse al Código de Conducta<sup>i</sup> para el centro de datos es altamente recomendable.

Para ser eficientes a nivel global, se recomienda fomentar la aplicación de varias acciones clave en la UE. Las acciones deben dividirse en cuatro niveles, cada uno de los cuales corresponde a varios tipos de actores.



### A nivel de infraestructura de centro de datos

Mejorar el impacto medioambiental de un centro de datos implica desarrollar la eficiencia energética y las energías renovables. Las principales acciones a implementar son:

- Aumento de la eficiencia de los sistemas de refrigeración
- Facilitar la reutilización del calor residual
- Implementación masiva de ecodiseño en la construcción de centros de datos
- Construcción de centros de datos de alta eficiencia energética, que permitan el uso de energías renovables (free-cooling, free-chilling) y la reutilización del calor residual
- Fomentar la suscripción al Código de Conducta<sup>ii</sup> para centros de datos



### Equipos de TI involucrados en servicios en la nube y nivel de arquitectura

Mejorar de la huella medioambiental de los equipos de TI implica la selección y gestión de activos con el fin de favorecer la eficiencia del hardware y alargar su vida útil, facilitando

la economía circular con la reutilización / reparación de componentes y equipos. Las principales acciones a implementar son:

- Selección de equipos informáticos de bajo impacto
- Optimización de la capa de virtualización
- Extensión de la vida útil
- Reutilización de componentes y favorecimiento de la economía circular
- Reciclaje de residuos electrónicos



### Nivel IaaS, SAAS y PAAS

Mejorar la huella ambiental a nivel de IaaS/ PAAS/ SAAS implica servicios de diseño ecológico y optimizar los recursos necesarios para ejecutar los servicios a nivel global: centro de datos, red y dispositivo de usuario final. Las principales acciones a implementar son:

- Publicación de pautas y estándares para la eficiencia ambiental de los servicios de computación en la nube (nivel IaaS, SAAS, PAAS)
- Promover la implementación de las mejores prácticas
- Promover el desarrollo de modelos de negocio de “baja solicitud de recursos”



### Nivel interdisciplinar

A nivel mundial, concienciar y fomentar el desarrollo de una nube más ecológica requiere:

- Desarrollar normas a nivel de la UE sobre mediciones y mejores prácticas
- Seguimiento de los impactos ambientales y el desempeño
- Implementar un repositorio de entorno digital con un enfoque de ACV
- Liderar una campaña informativa global y crear conciencia
- Discutir los efectos de rebote que compensan en exceso la desmaterialización inducida directamente por el progreso técnico
- Crear etiquetas de “computación en la nube verde”
- Integrar criterios de contratación ecológica para los servicios en la nube requeridos por las autoridades públicas
- Desarrollar innovación para reducir el impacto ambiental de los servicios en la nube
- Tener un enfoque global de la eficiencia ambiental de la nube que incluya redes y dispositivos de usuario final

### Recomendaciones de investigación

Se podrían realizar más estudios de investigación, especialmente sobre los impactos ambientales de los diferentes servicios de informática en la nube, pero también sobre modelos de negocio sostenibles que aborden el desarrollo económico local y los impactos sociales de los servicios en la nube.

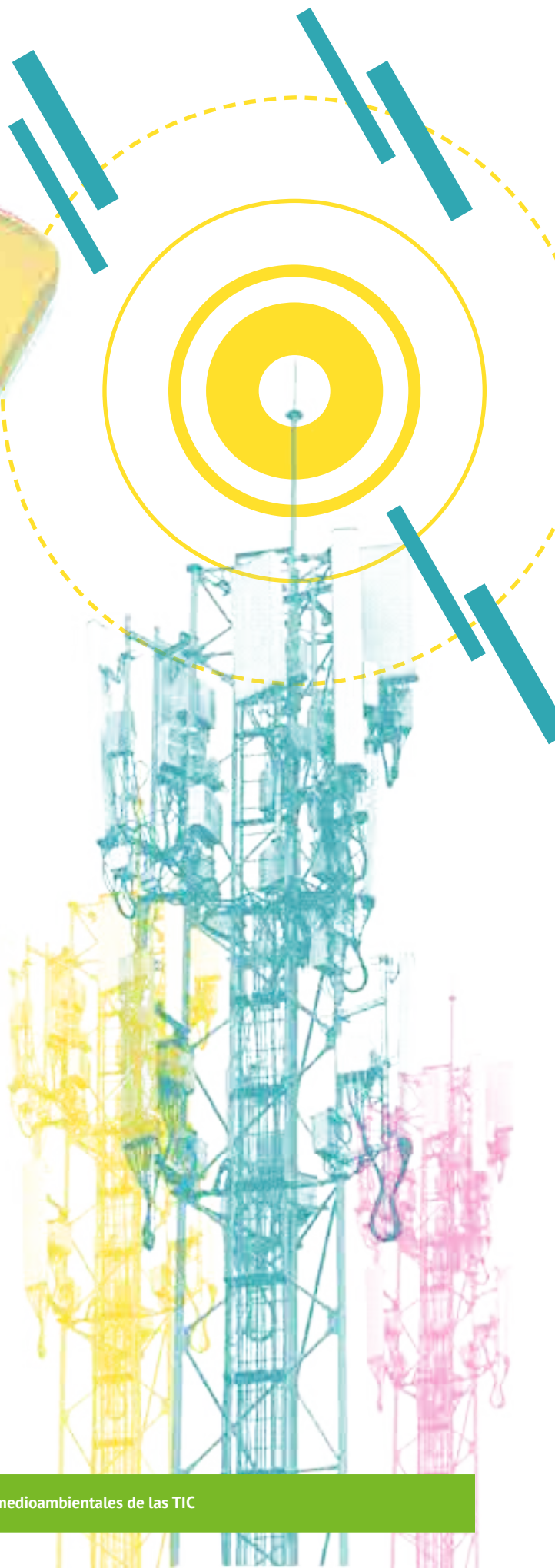
i Código de Conducta, Comisión Europea: <https://ec.europa.eu/jrc/en/energy-efficiency/code-conduct/datacentres>  
ii Ibid.

# 5G



## Índice

|                                                                                                                      |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Claves para comprender .....</b>                                                                                  | <b>pág. 44</b> |
| <b>Resumen del estudio de caso .....</b>                                                                             | <b>pág. 44</b> |
| <b>Definiciones .....</b>                                                                                            | <b>pág. 45</b> |
| <b>Conceptos principales .....</b>                                                                                   | <b>pág. 45</b> |
| <b>Problemas ambientales relacionados con el 5G .....</b>                                                            | <b>pág. 47</b> |
| <b>5G: ¿una herramienta para alcanzar<br/>los objetivos de reducción de los<br/>impactos medioambientales? .....</b> | <b>pág. 48</b> |
| <b>5G: ¿un obstáculo para alcanzar<br/>los objetivos de reducción de los<br/>impactos medioambientales? .....</b>    | <b>pág. 49</b> |
| <b>La opinión del experto .....</b>                                                                                  | <b>pág. 52</b> |
| <b>Conclusión .....</b>                                                                                              | <b>pág. 53</b> |
| <b>Recomendaciones para una evolución digital<br/>compatible con el Acuerdo Verde .....</b>                          | <b>pág. 54</b> |



# Claves para comprender

90%

cobertura esperada para 2026 en Europa Occidental y entre 2026 y 2029 para Europa Oriental<sup>i</sup>

3<sup>rd</sup>

Europa será la 3ª mayor zona compartida de conexión 5G (29% del total de conexiones)<sup>ii</sup>

10%

de los dispositivos móviles globales y la conexión será 5G para 2023<sup>iii</sup>

Previsión de terminales de IdC conectados por 5G a nivel mundial en 2023

39%

para los coches conectados<sup>iv</sup>

32%

cámaras de vigilancia en exteriores<sup>iv</sup>

11%

dispositivos para flotas telemáticas<sup>iv</sup>

solo 2%

para servicios de emergencia<sup>iv</sup>

El 5G es un gran cambio en el mercado al llevar el IdC a la ubicuidad, el incremento masivo de equipos será un desafío creciente para la mitigación de sus impactos ambientales



203 millones de conexiones 5G

previstas en Europa para 2025<sup>ii</sup>

i Roland Berger and Asgard, *Artificial Intelligence – A strategy for European startups Recommendations for policymakers*, 2018

ii GSMA, *Mobile Economy Europe*, 2018, p.3

iii <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html> (última consulta: 01/09/2021)

iv Gartner, «*Gartner Predicts Outdoor Surveillance Cameras Will Be Largest Market for 5G Internet of Things Solutions Over Next Three Years*», Nota de prensa, 17 de octubre de 2019

## Resumen del estudio de caso

Este estudio de caso se propone explorar el 5G, un sujeto tecnológico nuevo y complejo para el que los impactos ambientales aún son difíciles de medir. El propósito de este estudio de caso es ayudar a los responsables de la toma de decisiones y a los ciudadanos a comprender mejor qué es el 5G y lo que ya sabemos sobre los beneficios y costos potenciales del 5G desde una perspectiva ambiental. No se trata de estar a favor o en contra del 5G, sino de proporcionar una instantánea de los posibles impactos ambientales con respecto al ecosistema de las TIC tal como se conoce actualmente.

Como el despliegue del 5G está actualmente en curso, es difícil obtener una perspectiva precisa de esta tecnología: la literatura es prolífica sobre el potencial del 5G para el entretenimiento y el ocio, pero no hemos encontrado evaluaciones de ciclo de vida que proporcionen información sobre los impactos ambientales directos de la red y sus dispositivos asociados. Este estudio de caso muestra que los impactos ambientales

del 5G pueden ser de diferentes tipos: en primer lugar, los relacionados con el número de antenas de red móvil que se desplegarán, que se espera que sea aproximadamente tres veces mayor que los que requiere el 4G para obtener la misma cobertura; en segundo lugar, los relacionados con los dispositivos 5G, no solo con un aumento en las tasas de renovación de teléfonos inteligentes, sino también con el despliegue de miles de millones de dispositivos conectados; en tercer lugar, los relacionados con la consiguiente explosión del uso de datos.

Nuestra sección de recomendaciones informará el pensamiento general sobre 5G en comparación con otras redes para ver cómo abordar mejor los problemas ambientales de la red y las TIC sopesando tanto las consideraciones ambientales como la aceptación social, las perspectivas económicas y la soberanía europea.

# Definiciones

## ¿Qué es el 5G?

El 5G es la quinta generación de telefonía móvil. Fue diseñado para lograr un gran ancho de banda a baja latencia, lo que significa que permite transferencias a muy alta velocidad. Esta nueva red se basa en generaciones anteriores de redes 3G y 4G. Su objetivo es, en particular, proporcionar un flujo y una velocidad ultrarrápidos. 5G es la base para el desarrollo del IdC masivo, la navegación autónoma, los videojuegos en streaming, la realidad aumentada/realidad virtual (RA/RV), la cobertura total de alta velocidad de eventos multitudinarios e incluso las cámaras de las ciudades inteligentes.

### 1980-2020: 40 años de generaciones móviles

| 1980            | 1990               | 2000                        | 2010               | 2020                                                                |
|-----------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1G              | 2G                 | 3G                          | 4G                 | 5G                                                                  |
| Voz             | Voz y texto        | Datos móviles               | Banda ancha móvil  | Cualquier cosa, en cualquier lugar, en cualquier momento, ilimitado |
| NMT, AMPS, TACS | GSM, IS-95, D-AMPS | W-CDMA, UMTS, CDMA1x, EV-DO | LTE                | IMT 2020                                                            |
| 2,4 Kbps        | 64 Kbps            | 384 Kbps                    | 100 Mbps<br>1 Gbps | 10 Gbps                                                             |
|                 |                    |                             | Gigabit LTE        | Multigigabits 5G                                                    |

Fuente: IDATE DigiWorld, state of LTE & 5G markets, julio de 2018

En Europa, el 5G se basa principalmente en tres rangos de espectro:

➤ **700 MHz:** Esta banda se utiliza actualmente de forma parcial para el 4G. En comparación con otras bandas 5G, la banda de 700 MHz tiene baja velocidad pero muy buena penetración dentro de los edificios. Esta banda soportará principalmente cobertura de larga distancia por 5G (aproximadamente 5 km o menos dependiendo de las condiciones de implementación).

➤ **3.4-3.8 GHz:** Este rango se denomina frecuencia central 5G, ya que ofrece la mejor relación entre alcance, velocidad y penetración. Se caracteriza por un alcance de 1 o 2 km y una mejor penetración en los edificios que las bandas de >24 GHz. Estas antenas se instalarán en puntos altos del entorno urbano, como torres, y en algunos casos requerirán de nuevos soportes. Se dividirán principalmente en 2 tipos: macrocélulas (para estaciones que manejan más tráfico) y células pequeñas (que garantizan un alto rendimiento en ubicaciones precisas). Las células pequeñas se desplegarán principalmente en áreas urbanas, para retransmitir la señal a las macrocélulas.

➤ **>24 GHz:** Esta banda tiene un rendimiento excelente pero un alcance limitado y dificultad para penetrar en el interior de los edificios. Para compensar su baja penetración y alcance, se basará en una importante red de células pequeñas para retransmitir señales a macrocélulas. Necesitará una gran cantidad de antenas de célula pequeña para garantizar una cobertura de muy alta velocidad (1 Gb/s). Las frecuencias de >24 GHz son ondas milimétricas, lo que las hace adecuadas para áreas donde hay muchos dispositivos que cubrir, pero en el caso de las ciudades, la densidad del entorno urbano debe compensarse con múltiples celdas pequeñas.

Se están experimentando otros rangos de espectro, incluidos 15 kHz (específicamente para IdC) y satélites 5G que podrían ayudar al 5G a cubrir áreas blancas (áreas escasamente pobladas).

## Conceptos principales

➤ **Células pequeñas:** Las células pequeñas son estaciones base móviles utilizadas para aumentar las señales en áreas interiores. El despliegue de ondas milimétricas 5G en áreas urbanas requiere actualmente miles de antenas de célula pequeña para aumentar el alcance de la red. Las células pequeñas relanzan la señal a las macrocélulas. Si el camino directo entre la célula pequeña y la macrocélula está bloqueado por un obstáculo (por ejemplo, un árbol), la célula pequeña puede comunicarse a través de otras células pequeñas y mantener la comunicación con la macrocélula más cercana. Para garantizar una cobertura de muy alta velocidad, esto requerirá una gran cantidad de antenas de célula pequeña.

■ **Ondas milimétricas:** El 5G de onda milimétrica o mmWaves es la base de la próxima generación de aplicaciones móviles. Las bandas de alto alcance proporcionan grandes capacidades en un área geográfica limitada. Anteriormente, las ondas milimétricas se evitaban para las comunicaciones móviles porque sus longitudes de onda de corto alcance y estrechas eran susceptibles a las condiciones atmosféricas, pero como el espectro es un recurso finito, ahora se está prestando atención a las bandas que anteriormente se consideraban inadecuadas para las redes móviles. Muchas de estas bandas se asignaron a otros grupos de usuarios, como la industria militar o de eventos públicos, o se utilizan actualmente en campos como la investigación científica y los sistemas de armas.

■ **Tecnologías inalámbricas frente a alámbricas:** Si bien el 5G es una tecnología inalámbrica, es importante recordar que una antena de red móvil está a fin de cuentas siempre conectada a una red de cable para transferir datos. Esto significa que si una nueva frecuencia mejora la velocidad de transferencia de datos, una vez captada por la antena, los datos entrarán en la red de fibra. Se estima que el despliegue masivo de fibra para soportar 5G representará una inversión de entre 130 mil millones y 150 mil millones de dólares entre cinco y siete años solo en los Estados Unidos<sup>1</sup>. Actualizar y redimensionar la infraestructura de servidores, fuentes de alimentación, cables y fibras, backhaul, etc. también son elementos que garantizan una velocidad muy alta.

■ **Múltiples entradas y múltiples Salidas (MIMO):** Esta tecnología se utiliza para mejorar la eficiencia espacial de las redes inalámbricas. A diferencia de SISO (Single-Input Single-Output), la tecnología MIMO permite que múltiples antenas del transmisor y el receptor transfieran datos a mayor distancia y con mayor flujo.

■ **Formación de Haces:** Esta tecnología se utiliza para controlar y reducir las interferencias. Para hacerlo, la formación de haces, o filtrado espacial, combina elementos en una matriz de antenas de modo que las señales en ángulos específicos experimentan una interferencia constructiva mientras que otras experimentan una interferencia destructiva.

■ **Segmentación de red:** La segmentación de red 5G es una arquitectura de red que permite redes lógicas y virtuales independientes en la misma infraestructura de red física. En otras palabras, la división de la red se puede comparar con la posibilidad de ajustar dinámica-

mente los carriles de la autopista en función del tráfico, en lugar de que ambas direcciones tengan el mismo ancho, para aplicaciones particulares. Cada segmento de red es una red aislada de extremo a extremo adaptada para cumplir diversos requisitos solicitados por una aplicación particular. El beneficio comercial de la segmentación de red es que puede priorizar recursos específicos (uno puede requerir velocidades más altas, otro de baja latencia, etc.) para adaptar soluciones específicas a diferentes industrias, pero tiene un efecto directo en la neutralidad de la red.

*“Los avances en tecnologías como la IA, el aprendizaje automático, el análisis profundo y RA/RV solo serán posibles gracias a la conectividad de alta velocidad combinada con el procesamiento de datos cerca del usuario final.”*

**Rob Kasegrande**

■ **Informática de borde (edge computing):** Cualquier tipo de programa informático que acerque la computación y el almacenamiento de datos a la solicitud, para ahorrar ancho de banda y mejorar los tiempos de respuesta. La informática de borde a menudo se asocia con aplicaciones de IdC, videojuegos, RV, ciudades inteligentes, industria inteligente o automóviles conectados y automóviles autónomos. Sanket Nesargi, de Deloitte, explica “Sin la informática de borde, el 5G es simplemente una tecnología de red rápida.”<sup>2</sup> En el mismo artículo, Rob Kasegrande añade: “Desde una perspectiva empresarial, el 5G y la informática de borde tienen una relación simbiótica. Los aspectos de transformación del 5G están estrechamente vinculados a la informática de borde. Sin la informática de borde, el 5G no podría cumplir con las expectativas. Los avances en tecnologías como IA, aprendizaje automático, análisis profundo y AR/VR solo serán posibles gracias a la conectividad de alta velocidad combinada con el procesamiento de datos cerca del usuario final.”

<sup>1</sup> Deloitte, *Communications infrastructure upgrade: The need for deep fibre*, 2017

<sup>2</sup> <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/articles/what-is-5g-edge-computing.html> (última consulta: 23/03/2021)

# Problemas ambientales relacionados con el 5G

## Impactos ambientales del 5G

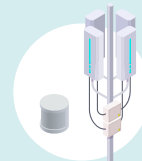
### Impactos directos



Consumo energético



Diferentes tipos de equipos asociados a cada estación base



Distinciones entre macrocélulas y células pequeñas

# 4G≠5G

Se necesitarán más dispositivos para proporcionar la misma cobertura en cuanto al 4G

### Impactos indirectos



Reemplazo de teléfonos inteligentes  
El 5G precisa de nuevos teléfonos inteligentes



Aumento de los servicios conectados  
Se esperan miles de millones de dispositivos conectados a medida que el 5G impulsa el IdC



Apilamiento tecnológico  
El 5G no reemplaza al 2G, 3G o 4G, sino que se sumará a ellos

En consonancia con los objetivos del Acuerdo de París de alcanzar la neutralidad climática en la UE para 2050, el Consejo Europeo aprobó un objetivo vinculante de la UE de una reducción interna neta de al menos el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 en comparación con 1990.<sup>3</sup> En un informe sobre los efectos del calentamiento global de 1,5°C publicado en octubre de 2018, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) especificó la cantidad acumulada de CO<sub>2</sub> que aún era posible emitir sin exceder el calentamiento global de 2°C para 2100.<sup>4</sup> En 2020, el Comisario General de Desarrollo Sostenible de Francia publicó un informe que mostraba que “teniendo en cuenta la evolución de la población mundial para 2100 y respetando una distribución estrictamente equitativa de la cantidad de CO<sub>2</sub> que queda por emitir, el “presupuesto” de CO<sub>2</sub> de cada habitante de la Tierra debería estar entre 1,6 t (previsión a la baja) y 2,8 t (previsión al alza) de CO<sub>2</sub> por año comprendido entre hoy y 2100, sin incluir emisiones

residuales de otros GEI.”<sup>5</sup> ¿Será el 5G una herramienta o un obstáculo para lograr dichos objetivos?

Actualmente, la documentación sigue siendo demasiado escasa para evaluar los impactos ambientales de las redes 5G específicamente. Sin embargo, al observar el aumento de los objetos conectados, tal y como se espera que impulse el 5G, y el reemplazo de los teléfonos inteligentes necesarios para acceder a la red móvil 5G, podemos resaltar algunas áreas potenciales iniciales de impacto y preguntas clave para establecer el despliegue del 5G en el contexto de la sostenibilidad.

<sup>3</sup> <https://www.consilium.europa.eu/media/47296/1011-12-20-euco-conclusions-en.pdf> (última consulta: 08/04/2021)

<sup>4</sup> Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Ffytche, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Khesghi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, and M.V. Vilarinho, 2018: «*Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*». En: *Calentamiento global de 1,5°C*. Informe Especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales y las vías de emisión de gases de efecto invernadero mundiales relacionadas, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza [Masson - Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)]. En Prensa.

<sup>5</sup> Commissariat général au développement durable, *L’empreinte carbone des Français reste stable*, 2020

## 5G: ¿una herramienta para alcanzar los objetivos de reducción de impactos ambientales?

Hay dos formas posibles en las que el 5G podría ser una herramienta para lograr los objetivos de reducir los impactos ambientales: en primer lugar, si el uso del 5G está suficientemente limitado como para no apresurar el reemplazo de teléfonos inteligentes y no aumenta el tráfico de datos o incluso lo reduce; en segundo lugar, si las ganancias de optimización del 5G en el sector industrial compensan sus costes ambientales. ¿Serán estos avances suficientes para marcar una diferencia positiva en el logro de una reducción de las emisiones compatible con los límites del planeta?

### **Primera hipótesis: despliegue y uso limitados de 5G para usos específicos**

Dado que el 5G añade una capa adicional a las redes 2G, 3G y 4G ya existentes para redes móviles así como a la fibra y la DSL, es impensable que una generalización del 5G reduzca el impacto medioambiental de las redes.

Si el 5G está lo suficientemente limitado como para no impulsar la renovación de teléfonos inteligentes y no aumenta el tráfico de datos, las ganancias de optimización de 5G permitirían una reducción de los impactos ambientales, ya que las estaciones 5G son más eficientes energéticamente que las estaciones 4G. Sin embargo, este escenario también significaría interrumpir por completo la situación actual de despliegue del 5G para limitarlo a áreas específicas donde no es posible otra opción más sostenible. Por otro lado, esto también significaría abandonar los principales usos de entretenimiento para los que está destinado el 5G.

### **Segunda hipótesis: ganancias de optimización suficientes en la industria para compensar los costes ambientales del despliegue y uso de 5G**

Junto con la IA<sup>6</sup> y el IoT<sup>7</sup>, a menudo se ve al 5G como un habilitador para la innovación y la optimización industrial. Actualmente, sin embargo, no hemos encontrado durante el período de nuestro estudio suficiente documentación y conocimiento como para poder juzgar si

estas ganancias de optimización serían suficientes para compensar los costes ambientales del despliegue y uso de redes y dispositivos 5G. Los documentos que auguran beneficios ambientales no respaldan esto en la actualidad, ya que su cálculo de costes se centra exclusivamente en los beneficios económicos y para el consumidor. Para estar seguros de que las ganancias de optimización compensan los costes ambientales de las redes y dispositivos 5G, es necesario realizar un análisis de ciclo de vida (ACV) comparativo y consecuente entre al menos dos casos comparables, que se diferenciarían en si el 5G se utiliza o no para la producción óptima. Como el ACV tiene en cuenta múltiples indicadores ambientales, tal comparación evitaría desplazar, o peor aún, aumentar, los impactos ambientales de un campo a otro al elegir una solución menos virtuosa de lo que afirma.

6

Véase nuestro estudio de caso sobre Inteligencia Artificial

7

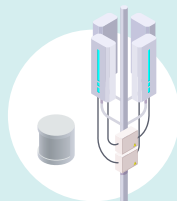
Véase nuestro estudio de caso sobre IdC y objetos conectados

## 5G Ilustración simplificada



**Un dispositivo 5G (teléfono inteligente, objetos conectados, M2M) emite o recibe una señal**

Es probable que los dispositivos consuman más recursos y sean más complejos. El número de dispositivos se dispara para alcanzar la ubicuidad del IdC.



**Una antena 5G recibe o emite una señal**

Se requieren más antenas para cubrir un área similar en comparación con el 4G.

Las antenas de macrocélulas 5G pueden estar conectadas a una multitud de celdas pequeñas. Las antenas 5G pueden equiparse con dispositivos complementarios como baterías de iones de litio y paneles fotovoltaicos debido a los picos en el consumo de energía.



**Una cantidad exponencial de datos viaja a través del backhaul y la red de fibra a los centros de datos en la nube**

Los cloudlets (nubes pequeñas) se pueden usar para procesar datos más cerca de la fuente. Cuantos más datos viajan y se procesan, más exigente resulta.

## 5G: ¿un obstáculo para lograr los objetivos de reducción de impactos ambientales?

Actualmente es demasiado pronto para predecir con precisión los impactos ambientales del 5G, al igual que es demasiado pronto para estimar de manera precisa hasta qué punto el 5G acelerará la renovación de teléfonos inteligentes y acelerará la multiplicación del IdC y cuáles serán los efectos de rebote relacionados. Sin embargo, es obvio que el despliegue del 5G irá de la mano de una renovación de los teléfonos inteligentes y un aumento de los objetos conectados en nuestra vida diaria.

*“La carrera de los teléfonos inteligentes 5G es el problema crítico más inmediato relacionado con los impactos ambientales del 5G.”*

### Reemplazo de teléfonos inteligentes: un problema crítico inmediato

Uno de los principales problemas relacionados con el 5G es el reemplazo de teléfonos inteligentes, ya que los teléfonos inteligentes 4G no son compatibles con el 5G. En la actualidad, la penetración de los teléfonos inteligentes en Europa es notablemente alta.<sup>8</sup> Esto

<sup>8</sup> En nuestro estudio de ACV utilizamos una tasa de penetración estimada del smartphone del 92% en la UE-28 en 2019 con más de 473.500.000 unidades para unos 513.500.000 habitantes.

<sup>9</sup> Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E. GreenIT.fr. 2021. *Las tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*

<sup>10</sup> Gauthier Roussilhe, *Évolution des smartphones 4G vers 5G : Comment évaluer la situation et l’empreinte environnementale*, (en castellano: *Evolución de los smartphones 4G a 5G: cómo evaluar la situación y la huella medioambiental*), 2020

significa que para beneficiarse del 5G, los europeos tendrán que comprar nuevos teléfonos inteligentes. Esto reducirá la vida útil de los teléfonos inteligentes 4G, que actualmente siguen funcionando sin problema para los usos actuales, y potencialmente conducirá a una renovación masiva de la flota europea de teléfonos inteligentes a pesar de que el impacto ambiental de estos teléfonos ya es alto. Los resultados de nuestro ACV muestran que en la UE-28 en 2019, los teléfonos inteligentes por sí solos contribuyeron a aproximadamente el 9% de los impactos de las TIC en el clima<sup>9</sup>.

Además, un informe de 2020 que compara los teléfonos inteligentes 4G y los teléfonos inteligentes 5G muestra que los teléfonos inteligentes 5G incorporan más componentes (pantalla más grande, más cámaras, módem 5G) y una mayor potencia de cálculo<sup>10</sup>, que probablemente aumentarán la huella de fabricación.

Estos aspectos están convirtiendo a la carrera de teléfonos inteligentes 5G en el problema crítico más inmediato relacionado con los impactos ambientales del 5G en nuestro estado actual de conocimiento.

### Auge de los dispositivos conectados

Con el 5G se anticipan nuevos usos impulsados por el IdC. Se espera que se desarrollen dispositivos conectados para usos personales y profesionales, como dispositivos AR/VR, juegos, transmisión de video 4K e incluso 8K, potencialmente combinados con habilitadores tecnológicos en aumento como la IA (consultar nuestros estudios de casos sobre IA e IdC). Cisco anti-

cipa que “para 2023, los dispositivos IoT representarán el 50 por ciento de todos los dispositivos conectados netos (casi un tercio serán inalámbricos)” y que “cada conexión 5G generará casi 3 veces más tráfico que una conexión 4G”.<sup>11</sup>

Estos usos requieren dispositivos cada vez más exigentes que requieren numerosos componentes y un alto consumo de energía (potencia de cálculo, sensores). Al igual que con los teléfonos inteligentes 5G, la multiplicación de estos componentes para dispositivos conectados es un tema importante dado el dramático aumento anticipado de dispositivos conectados.

Las dos bases instaladas de puntos finales de IdC 5G más grandes del mundo según anticipa Gartner serán las cámaras de vigilancia para exteriores y los automóviles conectados (consultar la tabla a continuación).

| Base instalada de puntos finales de IdC 5G, en todo el mundo, 2020 y 2023 (miles de unidades)                                                                 |              |                           |               |                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| Segmento                                                                                                                                                      | 2020 Volumen | 2020 Cuota de mercado (%) | 2023 Volumen  | 2023 Cuota de mercado (%) |
| Coches conectados – integrados (consumidores comerciales)                                                                                                     | 393          | 11                        | 19.087        | 39                        |
| Cámaras de vigilancia para exteriores                                                                                                                         | 2.482        | 70                        | 15.762        | 32                        |
| Dispositivos telemáticos para flotas                                                                                                                          | 135          | 4                         | 5.146         | 11                        |
| Dispositivos de peaje en el vehículo                                                                                                                          | 50           | 1                         | 1.552         | 3                         |
| Servicios de emergencia                                                                                                                                       | 61           | 2                         | 1.181         | 2                         |
| Otros                                                                                                                                                         | 400          | 11                        | 5.863         | 12                        |
| <b>Total</b>                                                                                                                                                  | <b>3.522</b> | <b>100</b>                | <b>48.590</b> | <b>100</b>                |
| Estimaciones aproximadas. Debido al redondeo, es posible que las cifras no se sumen con precisión a los totales mostrados – Fuente: Gartner (octubre de 2019) |              |                           |               |                           |

De manera complementaria, se espera que la mayoría de las conexiones de IdC (incluidas las 5G, pero no únicamente) se realicen para hogares y espacios de trabajo conectados.<sup>12</sup>

11 <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html> (última consulta: 24/03/2021)

12 <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html> (última consulta: 01/09/2021)

13 Esto se debe a que los automóviles conectados tienen numerosos sensores y una gran capacidad de cómputo a bordo para poder conducir de manera segura, incluso en áreas no cubiertas por redes inalámbricas, lo que requiere muchos componentes diferentes (véase nuestro estudio de caso sobre vehículos autónomos)

14 <https://www.ismag.com/5g-implications-security-video-surveillance-safe-cities/> (última consulta: 24/03/2021)

15 <https://cities-today.com/industry/5g-video-surveillance-met-smart-city/> (última consulta: 24/03/2021)

16 Florinda F. Martins, Hélio Castro, *Raw material depletion and scenario assessment in European Union – A circular economy approach*, 2019

17 El Ffth Council Europe describe el 5G como “un cambio de juego, donde la tecnología inalámbrica ya no puede existir sin cable” (<https://www.ffthcouncil.eu/documents/COM-190313-FibreFor5G-ConvergenceStudy-Presentation-RafMeersman%20-%20v4%20-%20publicar.pdf>, p. 5, consultado por última vez el 23/03/2021); <https://www.corning.com/in-built-ding-networks/worldwide/es/inicio/centro-de-conocimiento/impacto-de-las-redes-5g-en-los-requisitos-de-cableado-de-fibra-óptica.atsl> (última consulta: 23/03/2021); <https://www.ismag.com>

**“Junto con los teléfonos inteligentes 5G, la proliferación de objetos conectados es un problema ambiental crítico de alta tecnología resaltado por el 5G”.**

Esto demuestra que también se prevé que los dispositivos conectados 5G con mayor cuota de mercado requerirán numerosos componentes integrados.<sup>13</sup> Mientras tanto, se espera que las cámaras de video-vigilancia 5G sean cada vez de más alta definición<sup>14</sup> (Nokia incluso habla de cámaras de videovigilancia 4K u 8K)<sup>15</sup>, lo que requerirá una complejidad adicional en términos de miniaturización de componentes para los propios dispositivos de cámara y también hará que la gestión del tráfico de datos en las redes 5G sea más compleja.

La revolución de los objetos conectados es una dificultad particularmente destacable para limitar los impactos ambientales de las tecnologías digitales, ya que es muy probable que los objetos conectados proliferen y ganen en complejidad. Junto con los teléfonos inteligentes 5G, la proliferación de objetos conectados es un problema ambiental crítico de alta tecnología resaltado por el 5G: a medida que se multiplican, también aumenta su uso de recursos de materias primas críticas<sup>16</sup> (ver nuestro estudio de caso sobre materias primas).

## ¿Cuáles son los impactos ambientales de los equipos de red 5G?

El hecho de que el 5G use diferentes bandas de frecuencia significa que no necesariamente usará las mismas estaciones que las generaciones de redes anteriores. Mientras que para las frecuencias de 700 MHz el 5G podrá hacer uso de las torres previamente instaladas para las redes 2G, 3G y 4G y de la red de fibra existente asociada, no será así sistemáticamente para las demás bandas: éstas requerirán una readaptación de la red de fibra y eléctrica en función de su menor alcance. Esto exigirá un aumento de la red de fibra y los suministros eléctricos, y las obras de ingeniería civil adicionales.<sup>17</sup> La fibra no es la única infraestructura que necesitará redimensionamiento: los servidores, los

cables de alimentación y el backhaul también necesitarán atención. Se trata de toda la cadena, lo que implica principalmente costes económicos.

*“Con respecto a las antenas 5G, no he visto ningún LCA sobre ellas, por lo que no puedo cuantificar sus impactos. El nuevo equipo 5G incluye MIMO, que son antenas con más módulos de entrada y salida que los modelos más antiguos. ¿Cuál es el impacto ambiental de estos nuevos tipos de equipos? En ausencia de datos abiertos sobre el tema, no lo sabemos.”*

**Gauthier Roussilhe**

Asimismo, el desmantelamiento del 2G y el 3G planeado en varias redes<sup>18</sup> plantea otras preguntas sobre la renovación de los dispositivos de los usuarios finales y el riesgo no despreciable de aumentar la brecha digital en lugar de reducirla.

Sin embargo, como se requerirán más células (macro y celdas pequeñas) para los rangos de 3,5 GHz y >24 GHz, podemos esperar un aumento en el impacto ambiental de la red, al menos para la fabricación, debido al aumento del volumen de equipos de red desplegados para cubrir un área determinada: hasta tres veces más antenas para cubrir áreas rurales que para una cobertura similar de 4G.<sup>19</sup>

## Eficiencia energética del 5G

Si bien existe un consenso de que una estación base 5G es globalmente más eficiente energéticamente que una estación 4G en igualdad de condiciones,<sup>20</sup> está

claro que el tráfico de datos aumentará enormemente con o sin 5G, pero aún más con 5G: Ericsson Consumer Lab predice que “uno de cada cinco usuarios podría usar 200 GB por mes en dispositivos 5G, un aumento de 10 veces con respecto al uso actual de datos móviles”.<sup>21</sup> y la GSMA incluso predice un aumento potencial del tráfico de datos de hasta 1.000 veces.<sup>22</sup> Incluso si las ganancias de eficiencia de las estaciones 5G valen la pena, y los operadores móviles esperan un aumento de energía con 5G: “Aumento de energía en 5G, mientras que el jurado aún está deliberando sobre cuánto puede ser este aumento de energía a través de la densificación y el aumento de la demanda de tráfico”.<sup>23</sup> Las ganancias de eficiencia generalmente se compensan con una mayor demanda, lo que se conoce como la paradoja de Jevon o efectos de rebote (véase nuestro estudio de caso sobre los efectos de rebote).

Esto significa que la sociedad tiene que tomar una decisión real en los próximos años para limitar tanto la expansión de los objetos conectados como los efectos de rebote de los usos de las TIC, y esto concierne a todos, desde los responsables políticos y los ciudadanos hasta los actores económicos.

.....  
[com/2020/11/telecom-5g-asociaciones-de-fibra-energia-celdas-pequenas/](https://www.telecom-5g-asociaciones-de-fibra-energia-celdas-pequenas/) (última consulta: 23/03/2021)

18 <https://edition.cnn.com/2021/01/07/tech/verizon-3g-shutdown-paused/index.html> (última consulta: 08/04/2021) / <https://www.att.com/support/article/wireless/KM1324171> (última consulta: 08/04/2021)

19 La consultora Tactis, que participó en los ensayos de 5G, investigó las capacidades de propagación de 5G en la banda de 3,5 GHz. Para ello, simulaban, en diferentes topologías del territorio, una red 5G en la banda de 3,5 GHz. Luego lo compararon con la cobertura de la banda 4G 800 MHz simulada de los mismos sitios. Sacaron dos conclusiones: “1. En las zonas periurbanas, se necesitaría un 30% de emplazamientos adicionales en 5G para mantener la cobertura y un nivel de servicio equivalente al de 4G; 2. En un entorno rural, sería necesario construir el doble de sitios para tener una cobertura equivalente, e incluso tres veces más sitios para ofrecer un servicio de banda ancha, al menos 8 Mbps. Más allá de estas cuestiones de cobertura, como ya podemos ver con el 4G, la densificación de la red que conduce a la creación de sitios adicionales es necesaria para absorber las demandas de mayor capacidad.” ( )

20 Las publicaciones técnicas describen casos de consumo de energía del 5G en uso y exploran qué arquitectura de red se requiere para ser más eficiente energéticamente (<https://www.ericsson.com/en/blog/2019/9/energy-efficiency-5g-nr> última consulta: 24/03/2021), otras publicaciones informan que las estaciones base 5G usan mucha más energía que las estaciones base 4G (última consulta: 24/03/2021).

21 <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/5g-consumer-potential> (última consulta: 24/03/2021)

22 <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/energy-efficiency-2/> (última consulta: 24/03/2021); <https://www.fiercewireless.com/tech/5g-base-stations-use-a-lot-more-energy-than-4g-base-stations-says-mtn> última consulta: 24/03/2021; <https://www.mtnconsulting.biz/product/operators-facing-power-cost-crunch/> (última consulta: 24/03/2021)

23 <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/energy-efficiency-2/> (última consulta: 24/03/2021)

## La opinión del experto



**Gauthier Roussilhe es un investigador y diseñador especializado en los impactos ambientales de la tecnología digital. Colabora con todas las partes interesadas. Desarrolló el complemento Carbonalyzer, imparte numerosas conferencias y cursos en EcolInfo (CNRS) y colabora con GreenIT.fr. En 2020**

**escribió un informe sobre el 5G y la transición ecológica y un estudio más corto encargado por HOPi que evalúa el impacto medioambiental de la renovación de la flota de smartphones con la llegada del 5G. Su último artículo, publicado en marzo de 2021, se titula “¿Qué puede hacer la tecnología digital para la transición ecológica?”.**

### ¿Cuáles son los impactos ambientales de los equipos de la red 5G?

El 5G está llevando a una renovación de la flota de teléfonos inteligentes, el despliegue de sensores y nuevos objetos conectados que deben ser compatibles con él, la construcción de nuevas antenas y nuevos centros de datos, lo que presumiblemente conducirá a un aumento del tráfico. Más allá de estos efectos, el 5G potencialmente conduce a nuevos usos: estamos hablando de video 4K, por ejemplo, realidad virtual, realidad aumentada, transmisión de videojuegos desde dispositivos móviles. El 5G también tiene el potencial de estimular la llegada de vehículos autónomos, aunque aún no están listos para ser ampliamente utilizados.

Con respecto a las antenas 5G, no he visto ningún ACV sobre ellas, por lo que no puedo cuantificar sus impactos. El nuevo equipo 5G incluye MIMO, que son antenas con más módulos de entrada y salida que los modelos más antiguos. ¿Cuál es el impacto ambiental de estos nuevos tipos de equipos? A falta de datos abiertos sobre el tema, no lo sabemos.

Con respecto al sector digital, parece que olvidamos que el desafío actual no es congelar las emisiones en su nivel actual, sino dividirlos entre cuatro. El sector digital tal y como es hoy en día consume demasiado para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París. La UIT había formulado un plan

para reducir las emisiones del sector de los operadores a menos de 1,5°C. La recomendación de la UIT apunta a una reducción del 50% para 2030 y una disminución anual del 4,2%.<sup>ii</sup>

### Si soy un ciudadano que acaba de descubrir este tema: ¿cuáles son los 3 puntos principales que debo recordar sobre los impactos ambientales positivos y negativos del 5G?

Tenemos que pensar hacia dónde estamos llevando al sector digital en relación con cuestiones de transición extraordinariamente importantes y no negociables si queremos alcanzar los objetivos del Acuerdo de París. La pregunta que tenemos que hacernos sobre políticas públicas es esta: ¿esta infraestructura, este desarrollo, nos permite estabilizar el mundo a menos de +2°C?

El 5G es ahora la encarnación de un debate sobre el modelo futuro para el desarrollo digital. Este debate tendrá lugar, nos guste o no, en relación con los vehículos autónomos, la videovigilancia, etc. Plantea la cuestión de hacia dónde queremos llevar el sector digital y el hecho de que eso se pueda gestionar y decidir colectivamente.

Individualmente, si considero los impactos ambientales como ciudadano, la conclusión es que el 5G no debe ser un motor para renovar mis equipos, y que debemos luchar políticamente para saber qué podemos hacer o no con el sector digital y más aún con el 5G.

i HOP: Halte à l'Obsolescence Programmée en Français, Detener la Obsolescencia Programada en castellano

ii ITU, [Greenhouse gas emissions trajectories for the information and communication technology sector compatible with the UNFCCC Paris Agreement](#), 2020, p.11

*“Esto significa que la sociedad tiene que tomar una decisión real en los próximos años para limitar tanto la expansión de los objetos conectados como los efectos rebote en los usos de las TIC, y esto concierne a todos: responsables de formulación de políticas, ciudadanos y agentes económicos.”*

## Conclusión

El 5G es un tema complejo, y todavía hay demasiadas incógnitas para medir sus impactos ambientales. Si bien la literatura tiene mucho que decir sobre los beneficios económicos del 5G para los mercados de ocio y seguridad, esta guarda silencio sobre el tema de los ejemplos concretos y cuantificados de los impactos ambientales potencialmente positivos del 5G, al igual que sobre la cuantificación de sus impactos directos. Dado nuestro estado actual de conocimiento, los impactos ambientales más críticos del 5G están relacionados, en primer lugar, con el aumento en la cantidad de nuevos dispositivos que requiere (tanto teléfonos inteligentes como objetos conectados) y el aumento de su rendimiento, que requiere cantidades

crecientes de materias primas. Aumentar nuestras necesidades de recursos para fabricar estos dispositivos significa aumentar la dependencia de la UE de estas materias primas críticas<sup>24</sup>, además de contribuir a su agotamiento. Cuanto más escasos son estos recursos, más costosa es la extracción de energía/agua y, por lo tanto, más contaminante (**véase nuestro estudio de caso sobre materias primas**).

*“¿Es sostenible y útil tener para la misma área una red de cable de fibra óptica de ultra alta velocidad, una red móvil de ultra alta velocidad y, posiblemente, lo mismo vía satélite?”*

Hoy en día, no hay pruebas tangibles de que el 5G pueda ser una herramienta eficaz para alcanzar los objetivos de reducción de los impactos ambientales dados los objetivos de su despliegue y uso. Si el 5G precipita la producción de más terminales y objetos conectados, estos efectos exacerbarán innegablemente la minería y contribuirán a la insostenibilidad del sector digital.

24 [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en) (última consulta: 25/03/2021)

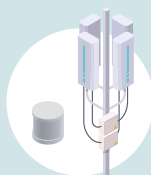
### Ilustración simplificada de áreas de impacto ambiental del 5G



**Un dispositivo 5G (smartphone, objetos conectados, M2M) emite o recibe una señal**

✗ Es probable que los dispositivos consuman más energía y sean más complejos

✗ El número de dispositivos se dispara para alcanzar la ubicuidad del IdC



**Una antena 5G recibe o emite una señal**

✗ Se requieren más antenas que las de 4G para cubrir un área similar

✗ Las macroantenas celulares 5G pueden ser 5G conectada a una multitud de celdas pequeñas

✗ Las antenas 5G pueden equiparse con dispositivos complementarios como baterías de iones de litio y paneles fotovoltaicos debido a los picos en el consumo de energía



**Una cantidad exponencial de datos viaja a través del red de retorno (backhaul) y la red de fibra a los centros de datos en la nube**

Los Cloudlets (nubes pequeñas) pueden emplearse para procesar datos más cerca de la fuente.

✗ Cuantos más datos viajan y más ubicuo es el IdC más consume

✗ Impactos ambientales potencialmente exponenciales

✗ Impactos ambientales potencialmente muy elevados

✗ Impactos ambientales potencialmente elevados

✗ Impactos ambientales mitigados confirmados compatibles con los límites planetarios

A medida que el 5G se basa en redes móviles preexistentes, como lo han hecho todas las generaciones de redes móviles anteriores, se plantea la siguiente pregunta: **¿es sostenible y útil tener para la misma área una red de cable de fibra óptica de ultra alta velocidad, una red móvil de ultra alta velocidad y, posiblemente, lo mismo vía satélite?**

El 5G puede ser útil en casos específicos, por ejemplo, para fines industriales específicos y para áreas con varios dispositivos que deban conectarse al mismo tiempo, pero ¿podemos permitirnos medioambientalmente tener una velocidad ultra alta en todas partes, desde cualquier dispositivo, con 3 tipos diferentes de tecnología de alta velocidad, mientras soportamos el peso de tres veces los impactos ambientales de la conectividad de alta velocidad?

Los operadores presentan al 5G como un motor de crecimiento. A medida que el 5G y las redes móviles de próxima generación configuran el paisaje urbano y adquieren cada vez más una dimensión política y social, las implementaciones de redes móviles plantean la necesidad de una puesta en común entre los ciudadanos y las comunidades regionales y locales, así como con las autoridades reguladoras nacionales de telecomunicaciones.

## Recomendaciones para un desarrollo digital compatible con el Acuerdo Verde

A nivel transnacional, los responsables políticos de toda Europa aprovecharon la ocasión motivados por las preocupaciones sobre las futuras generaciones de redes móviles para reunir en la misma mesa **a todos los actores: desde los responsables políticos hasta los ciudadanos, la industria, las ONG, instituciones como el ORECE y sus equivalentes nacionales, científicos de los ámbitos tecnológico, médico y de las ciencias sociales.**

Como requisito previo para el despliegue, los científicos agruparon sus esfuerzos y conocimientos para medir los impactos ambientales, sanitarios y sociales asociados a tres escenarios de despliegue: escenario 1, despliegue completo; escenario 2, despliegue limitado a usos industriales específicos; escenario 3: despliegue complementario teniendo en cuenta las necesidades de los ciudadanos y las opciones de diseño ecológico. Juntos, trazaron una hoja de ruta de las futuras infraestructuras digitales en los Estados europeos, con directrices clave que garantizan objetivos eficientes y rigurosos para dividir por seis los impactos ambientales de las TIC para 2050, con objetivos específicos para los equipos de usuario, las redes y los centros de datos.

Este ambicioso plan permitió elaborar una estrategia resiliente para las TIC en Europa, que limita la superposición de redes de muy alta velocidad y, en su lugar, adopta una estrategia basada en la complementariedad y la interoperabilidad de las redes y aborda la necesidad de cerrar la brecha digital.

Esta ambiciosa concertación digital renovó la gobernanza digital e involucró ampliamente a los ciudadanos europeos, lo que generó una mayor confianza a medida que se abordaron y respondieron las diferentes preocupaciones.

Como requisito previo para la financiación europea de la innovación, se hicieron obligatorios los estudios de análisis del ciclo de vida ambiental comparativos, atributivos (impactos directos) y consecuentes (impactos indirectos, efectos inducidos y efectos de rebote) para medir los beneficios frente a los costes cada vez que se utiliza una tecnología para reducir la huella ambiental. Esto se aplica a la financiación del 6G, así como a la financiación de cualquier otra innovación.

Se realizaron estudios independientes sobre los impactos en la salud de las bandas de 3,5 GHz y > 24 GHz para establecer claramente si estas ondas tienen efectos adversos en la salud humana o no.

# Vehículos Autónomos

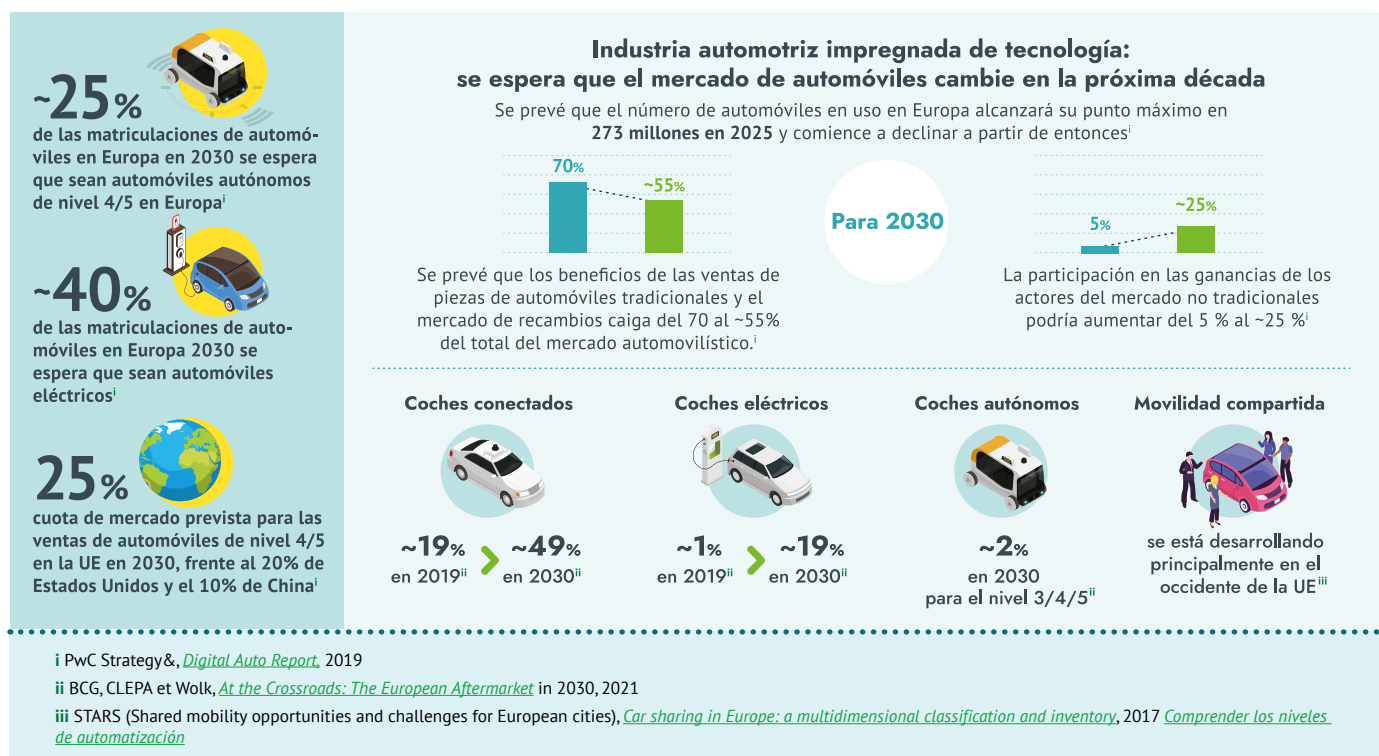


## Índice

|                                                                                                                             |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Claves para comprender</b> .....                                                                                         | pág. 56 |
| <b>Resumen del estudio de caso</b> .....                                                                                    | pág. 56 |
| <b>Definiciones</b> .....                                                                                                   | pág. 56 |
| <b>¿Qué es un vehículo autónomo (VA)?</b> .....                                                                             | pág. 56 |
| <b>Conceptos principales</b> .....                                                                                          | pág. 57 |
| <b>Problemas ambientales relacionados con aplicaciones de VA</b> .....                                                      | pág. 58 |
| <b>Vehículos autónomos: ¿una herramienta para lograr los objetivos de reducción de los impactos medioambientales?</b> ..... | pág. 58 |
| <b>Vehículos autónomos: ¿un obstáculo para alcanzar los objetivos de reducción de los impactos medioambientales?</b> .....  | pág. 61 |
| <b>Conclusión</b> .....                                                                                                     | pág. 63 |
| <i>Recomendaciones para una evolución digital compatible con el Acuerdo Verde</i> .....                                     | pág. 63 |



# Claves para comprender



## Resumen del estudio de caso

Los vehículos autónomos se encuentran en la intersección de los sectores del transporte y las TIC: están conectados, cuentan con un sistema informático interno para procesar los datos recibidos por sus múltiples sensores y dependen más que nunca de tecnologías avanzadas como la IA, la cobertura de banda ancha móvil y el IdC. Con el desarrollo de las TIC, se están probando muchas aplicaciones nuevas e innovadoras con el objetivo de desarrollar nuevos mercados tecnológicos. Los coches conectados y autónomos (CAV) entran en esta categoría. El revuelo publicitario en torno a este nuevo tipo de vehículo supera con creces la escala de su entrada y penetración masiva en el mercado. Pero, ¿cómo pueden los vehículos autónomos cambiar nuestros modos de transporte y qué desafíos deben superarse para que sean más una herramienta que un obstáculo en términos de impacto ambiental? Las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte en automóvil representaron alrededor del

60,4 por ciento de las emisiones totales de GEI del transporte por carretera en la UE28 en 2018, mientras que el transporte representó el 21,8 % de las emisiones totales de GEI en la UE28.<sup>1</sup> Los proyectos de vehículos autónomos se están desarrollando pero aún no están en el mercado debido a la ausencia de un marco regulatorio que les permita usar las carreteras con regularidad. Mientras tanto, el sector del transporte está experimentando numerosas transformaciones que también están afectando fuertemente a su huella ambiental: el desarrollo del mercado del automóvil eléctrico, el auge de las plataformas de transporte y el uso compartido de automóviles son algunas de las principales transformaciones que está experimentando el sector del transporte.

<sup>1</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> (última consulta: 13/04/2021)

# Definiciones

## ¿Qué es un vehículo autónomo?

Un automóvil autónomo es un vehículo capaz de viajar de forma segura al detectar su entorno gracias a una variedad de sensores, con poca o ninguna intervención humana. También se le puede llamar automóvil sin conductor o vehículo autónomo.

### Seis niveles de vehículos conectados y automatizados

En el estándar SAE J3016, SAE International, anteriormente conocida como la Sociedad de Ingenieros Automotrices, define seis niveles de automatización de la conducción, desde el nivel 0 (sin automatización) hasta el nivel 5 (autonomía total: el vehículo puede conducir en todas partes en todas las condiciones con características de conducción automatizada).<sup>2</sup> La industria utiliza ampliamente esta taxonomía para definir las funcionalidades de conducción autónoma.

Dentro de esta taxonomía, la automatización de la conducción comienza en el nivel 3, con la automatización condicional: el sistema ejecuta la dirección y la aceleración/desaceleración y la supervisión del entorno de conducción, pero el conductor humano puede conducir si es necesario. El nivel 4 significa alta automatización: no se requiere que el ser humano que ocupa el asiento del conductor se haga cargo de la conducción, pero el vehículo automatizado puede conducir en condiciones limitadas y no funcionará a menos que se cumplan todas estas condiciones. Los vehículos de nivel 4 se pueden utilizar como taxis locales sin conductor, por ejemplo. En el nivel 5, el sistema de automatización de conducción puede conducir el vehículo en todas las condiciones.<sup>3</sup> McKinsey prevé que la tecnología de nivel 4 esté disponible entre 2020 y 2022 y que el nivel 5 llegue en 2030 como muy pronto.<sup>4</sup> PwC Strategy& anticipa que el nivel 4 estará disponible a baja velocidad y en áreas restringidas a partir de 2023 en la UE, mientras que no

se espera que los automóviles de nivel 5 estén disponibles antes de 2028. Se espera que alrededor del 25 por ciento de las nuevas matriculaciones sean de automóviles con autonomía de nivel 4/5 para 2030.<sup>5</sup>

## Conceptos principales

■ **VTC (Vehículos de Transporte con Conductor):** Las empresas de VTC operan a través de una aplicación móvil y un sitio web para emparejar a los pasajeros con los conductores de los vehículos disponibles. A diferencia de los taxis, las empresas de VTC no pueden ser llamadas legalmente desde la calle. Las compañías más conocidas de VTC en Europa son Uber y Bolt. Se sabe que el uso compartido de viajes contribuye a la congestión de las carreteras, reduce el uso del transporte público y no tiene un impacto sustancial en la propiedad de los vehículos.<sup>6</sup> Se estima que el transporte no combinado es más contaminante que un viaje en automóvil privado debido a las emisiones de los viajes “sin destino”, pero el transporte eléctrico y combinado puede contribuir a reducir las emisiones.<sup>7</sup>

■ **Coche Compartido:** Este modo de movilidad permite el uso de toda la capacidad de asientos de un automóvil: el uso compartido del automóvil reduce los costes de viaje de cada individuo (costes de combustible, peajes) y es más sostenible desde el punto de vista ambiental.

■ **VMT (vehículo-millas recorridas) / VKT (vehículo-kilómetros recorridos):** Medición de la distancia recorrida por los vehículos. Se puede utilizar para comparar, para ver si la distancia recorrida por vehículo aumenta o disminuye en función de los escenarios y supuestos en cuanto a la variación de los comportamientos de viaje.

■ **Pelotón/agrupamiento:** Método utilizado para conducir un grupo de vehículos juntos para aumentar la capacidad de las carreteras con un sistema de carreteras automatizado. El pelotón o platooning es posible gracias a la conducción autónoma, ya que permite que muchos vehículos aceleren o frenen simultáneamente. Permite un avance más cercano entre vehículos al eliminar la distancia necesaria para la reacción humana. Este método de transporte se encuentra todavía en fase de proyecto. En la UE, el

<sup>2</sup> <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic> (última consulta: 13/04/2021)

<sup>3</sup> [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_201401/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/) (última consulta: 13/04/2021)

<sup>4</sup> <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/overview/autonomous-driving> (última consulta: 13/04/2021)

<sup>5</sup> PwC Strategy&, *Informe Automático Digital*, 2019, p. 26

<sup>6</sup> UCSUSA, *Ride-Hailing's Climate Risks Steering a Growing Industry toward a Clean Transportation Future*, 2020; Anne de Bortolli, *Environmental performance of shared micromobility and personal alternatives using integrated modal LCA*, 2021; Aggelos Soteropoulos, Martin Berger & Francesco Ciari, *Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: an international review of modelling studies*, 2018

<sup>7</sup> UCSUSA, *Los Riesgos Climáticos de los Viajes Compartidos Conducen a una Industria en Crecimiento hacia un Futuro de Transporte Limpio*, 2020

Proyecto SARTRE comenzó en 2009, financiado por la Comisión Europea. En 2011, SARTRE realizó su primera demostración exitosa de la tecnología de pelotón en el Campo de Pruebas de Volvo en Gotemburgo, Suecia. Una segunda demostración se realizó cerca de Barcelona, en España, en 2012.<sup>8</sup> Los beneficios potenciales que se esperan del platooning son una reducción de la congestión y viajes más cortos durante los períodos pico, una mayor economía de combustible debido a la reducción de la resistencia del aire y menos accidentes de tráfico. Todavía hay problemas de seguridad en este sistema debido a problemas de piratería que podrían crear situaciones de tráfico peligrosas, y al problema de la atención en caso de que el conductor deba reaccionar en caso de fallo de software o hardware.

## Problemas ambientales relacionados con aplicaciones de VA

Con mucho, los cambios más esperados de los vehículos autónomos son una mayor seguridad vial sin errores humanos. El confort de conducción y las mayores posibilidades de inclusión social también se destacan para promover los beneficios de los vehículos autónomos. De manera similar, a veces se mencionan los beneficios climáticos, en su mayoría en términos vagos. Pero, ¿qué sabemos actualmente sobre los posibles beneficios e impactos ambientales de los vehículos autónomos?

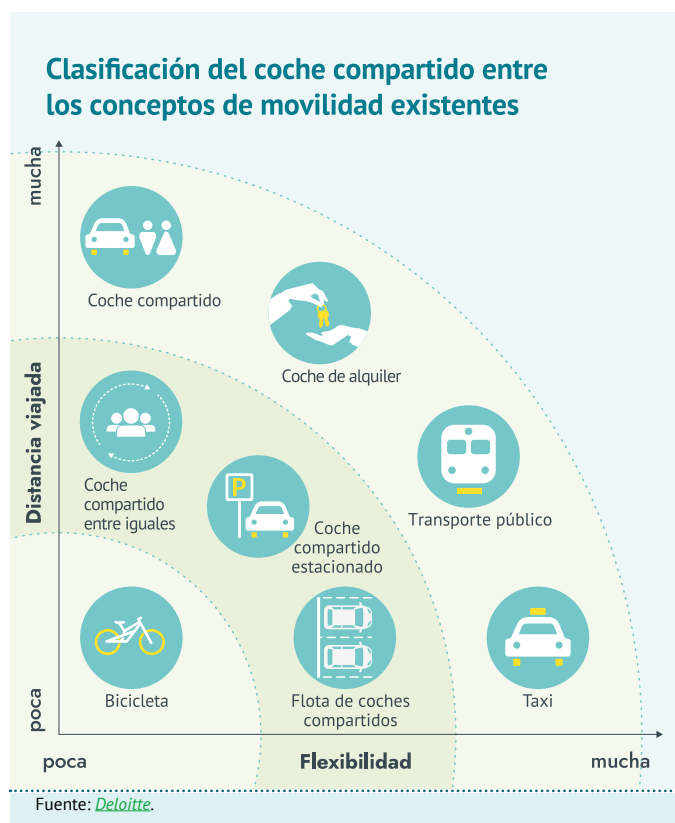
## Vehículos autónomos: ¿una herramienta para alcanzar los objetivos de reducción de los impactos medioambientales?

El sector del transporte se encuentra en plena transformación: el desarrollo del mercado del automóvil eléctrico, el auge de las plataformas de transporte compartido y el uso compartido de vehículos son algunas de las principales transformaciones que está experimentando el sector del transporte. No tendría sentido tratar de comprender los impactos ambientales vinculados a los vehículos autónomos sin considerar

estas otras innovaciones superpuestas, que ya están influyendo en la huella ambiental del sector. De hecho, los vehículos eléctricos contribuyen a reducir la contaminación atmosférica en las ciudades y, en algunos países, dependiendo de las emisiones de GEI del mix energético, los vehículos eléctricos pueden ayudar a reducir las emisiones de GEI producidas durante la fase de uso del vehículo. Además, el uso compartido del automóvil ayuda a reducir la cantidad de automóviles en uso y los kilómetros totales del vehículo. Por otro lado, las plataformas de VTC tienen un impacto negativo general en el sector del transporte, al cambiar el uso del transporte público a los VTC.<sup>9</sup>

## Compartir vehículos para dividir los impactos

En primer lugar, la forma más conocida de reducir el impacto ambiental de un viaje en automóvil es llenar el vehículo lo más cerca posible de su capacidad en términos de número de pasajeros o mercancías y limitar el número de vehículos y la distancia total recorrida. Esto se debe a que, cuando se comparte un vehículo, los impactos ambientales de ese vehículo también se comparten entre los pasajeros. Y no solo se comparte la energía consumida al conducir el vehículo, sino también los impactos relacionados con el ciclo de vida completo del vehículo (incluida la producción),



<sup>8</sup> <https://cordis.europa.eu/project/id/233683/reporting> (última consulta: 15/04/2021)

<sup>9</sup> UCSUSA, *Los Riesgos Climáticos de los Viajes Compartidos Conducen a una Industria en Crecimiento hacia un Futuro de Transporte Limpio*, 2020

proporcionalmente al uso de cada beneficiario. Si la consecuencia del uso compartido de vehículos es que los pasajeros no compran ni renuevan su automóvil, los beneficios ambientales de este efecto de sustitución son aún mayores. Por otro lado, este beneficio se puede reducir si aumenta el uso del automóvil a expensas de otros métodos de movilidad con menor impacto ambiental (transporte público, bicicleta, etc.).

Con los métodos de optimización habilitados por las TIC y su posible aplicación en sistemas de automóviles autónomos, es posible disminuir el tráfico; sin embargo, los beneficios teóricos están limitados por otros parámetros, como la aceptación por parte de los usuarios de viajes y tiempos de espera más largos, por ejemplo.<sup>10</sup>

*“La forma más conocida de reducir el impacto ambiental de un viaje en automóvil es llenar el vehículo lo más cerca posible de su capacidad en términos de número de pasajeros o mercancías y limitar el número de vehículos y la distancia total recorrida [...] Cuando los pasajeros comparten el mismo automóvil, los impactos ambientales también se comparten proporcionalmente.”*

## La contribución de los vehículos eléctricos a la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero

En segundo lugar, es necesario considerar las ganancias de eficiencia de los vehículos eléctricos para comprender mejor cómo los vehículos autónomos podrían ser una herramienta para reducir los impactos ambientales. Un automóvil autónomo puede ser un vehículo con motor de combustión interna (a veces abreviado como ICEV o ICE) o un vehículo eléctrico, pero la tendencia es hacia el desarrollo de vehículos eléctricos para combatir el calentamiento global y los

picos de contaminación en las ciudades; incluso hay camiones eléctricos en la actualidad.

Una evaluación comparativa del ciclo de vida del motor de combustión interna y el automóvil eléctrico, publicada en 2018 por el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Florencia<sup>11</sup>, demuestra que el automóvil eléctrico permite una importante reducción del impacto en términos de cambio climático debido a la menor emisión de gases durante la operación: en función del mix energético de la electricidad utilizada para cargar la batería, las emisiones de gases de efecto invernadero de la fase de uso pueden variar. Señalan que esta ventaja crece significativamente a medida que se utilizan más fuentes renovables en la combinación para la producción de electricidad. Por otro lado, este estudio también muestra que las cargas ambientales de la construcción y fabricación de trenes de potencia dan como resultado mayores impactos ambientales con respecto a la acidificación, la toxicidad humana, la partículas en suspensión, la formación fotoquímica de ozono y la reducción de la capa de ozono.<sup>12</sup> Estos resultados consistentes muestran que, aunque el automóvil eléctrico tiene muchas ventajas en términos de reducción de las emisiones de GEI del transporte, todavía hay margen de mejora, especialmente con respecto, en primer lugar, a los impactos ambientales del proceso de producción del vehículo, que cualquier política debe tener en cuenta para limitar las transferencias de impacto, y en segundo lugar, a la combinación de la red eléctrica. Para lograr una movilidad sostenible, se deben tener en cuenta estos parámetros. Este será también el caso de los vehículos autónomos, que pueden ser de combustión o eléctricos, y que están diseñados o, en algunos casos, modificados para convertirse en autónomos.

## ¿Podrían la conducción ecológica, el platooning y la conectividad en las intersecciones contribuir a reducir los impactos ambientales de los vehículos autónomos?

La siguiente pregunta que debemos hacernos se refiere a las ganancias de eficiencia que los vehículos autó-

10 La aceptabilidad del usuario se cuestiona en la siguiente sección en base a un estudio que revisa varios comportamientos de viaje y estudios de uso de la tierra.

11 Francesco Del Pero, Massimo Delogu, Marco Pierini, *Evaluación del Ciclo de Vida en el sector de la automoción: un estudio de caso comparativo de Motor de Combustión Interna (ICE) y coche eléctrico*, 2018

12 El estudio concluye: “A la luz de las consideraciones anteriores, parece claro que la evaluación de los automóviles eléctricos no puede realizarse utilizando un solo indicador, sino que debe estar más bien basada en un sistema de evaluación más complejo. Por esta razón, la penetración en el mercado de los vehículos eléctricos debe ir acompañada de una política prudente que tenga en cuenta todos los aspectos de la gestión de LC. Hasta la fecha, la movilidad eléctrica aparece como una estrategia eficaz para reducir las emisiones de GEI en regiones donde la electricidad se produce a partir de fuentes con una contribución limitada de fuentes fósiles. Sin embargo, la fase de producción representa la principal barrera para lograr la plena madurez de esta tecnología en la perspectiva ambiental. Las futuras mezclas de redes eléctricas limpias y el desarrollo de procesos de producción más sostenibles podrían contribuir en gran medida a la conveniencia de los vehículos eléctricos al minimizar las emisiones de GEI y contrarrestar los posibles reveses en términos de otros impactos ambientales.”, en Francesco Del Pero, Massimo Delogu, Marco Pierini, *Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car*, 2018, p.8 y 14-15

## Ciclo de vida simple de un automóvil autónomo



**Producción**  
del coche



**Envío**  
del coche



**Fase de uso** del coche y  
prorrata temporis uso de  
la red y de los servicios



**Fin de la vida**  
del coche

nomos pueden lograr. De hecho, dado que los vehículos autónomos llevan más sensores y componentes electrónicos que los vehículos conducidos por personas, estos componentes de TIC se consideran un “subsistema” en el ciclo de vida del vehículo. Una evaluación del ciclo de vida, con derechos de autor de la Sociedad Americana de Química<sup>13</sup>, del subsistema de detección y computación y los efectos a nivel de vehículo de los vehículos autónomos de nivel 4 (vehículos que se conducen solos en condiciones específicas) hace hincapié en que la conducción ecológica, el platooning y la conectividad en las intersecciones podrían reducir la energía y las emisiones de GEI hasta en un 9 por ciento en el caso base, aunque los subsistemas de los automóviles autónomos podrían aumentar el uso de energía primaria del vehículo y las emisiones de GEI entre un 3 y un 20 por ciento. El estudio evalúa seis escenarios diferentes: tres para vehículos eléctricos (subsistema pequeño, subsistema mediano y subsistema grande) y tres para vehículos de combustión interna (subsistema pequeño, subsistema mediano y subsistema grande). Los resultados de este estudio parecen mostrar que la conducción ecológica, el platooning y la conectividad en intersecciones pueden contrarrestar las emisiones de energía y GEI vinculadas a los subsistemas CAV en cuatro escenarios (subsistemas pequeños y medianos agregados a los vehículos eléctricos, y subsistemas pequeños y medianos agregados a los escenarios de vehículos de combustión interna), pero para ninguno de los dos escenarios en los que hay un gran subsistema CAV a bordo.

Como era de esperar, los resultados muestran que el escenario con el menor impacto de los seis, en términos de emisiones de GEI y consumo de energía, es el vehículo eléctrico con un subsistema pequeño: de hecho, el subsistema más liviano necesita menos mate-

riales para la fase de fabricación y, debido a su menor peso, consume menos energía durante la conducción. Sin embargo, aunque estos resultados son interesantes para escalar los diferentes escenarios, un ahorro del 9 por ciento en energía y emisiones de GEI aún es poco en comparación con el desafío climático y los beneficios ambientales que se pueden lograr al compartir viajes.

*“Las innovaciones digitales en el transporte deben considerarse a la luz de parámetros múltiples y sistémicos para limitar los efectos secundarios: ¿cuáles son los otros métodos de movilidad y cuáles tienen la relación más interesante de distancia/tiempo de viaje/impactos ambientales?”*

Sin embargo, la literatura que explora indicadores ambientales complementarios como la acidificación, la toxicidad humana, las partículas en suspensión, la formación fotoquímica de ozono, la redacción de la capa de ozono o el agotamiento de la materia prima en el ciclo de vida de los vehículos autónomos sigue siendo escasa. Para proporcionar una visión general completa del equilibrio entre los beneficios ambientales y los costes de los vehículos autónomos, es necesario realizar más estudios que también tengan en cuenta los medios de reducción directa —como el platooning y la conectividad de intersección— y el uso prorrateado de la infraestructura y los servicios de TIC necesarios para hacer posible la puesta en común y la conectividad de las intersecciones.

En resumen, para ser una herramienta que permita alcanzar los objetivos de reducción de los impactos

13 James H. Gawron, Gregory A. Keoleian, Robert D. De Kleine, et al, *Life Cycle Assessment of Connected and Automated Vehicles: Sensing and Computing Subsystem and Vehicle Level Effects*, American Chemical Society, 2018 - Copyright © 2018, American Chemical Society

ambientales, las innovaciones digitales en el transporte deben considerarse a la luz de múltiples parámetros sistémicos para limitar los efectos secundarios: ¿qué otros métodos de movilidad existen y cuáles tienen la relación más interesante de distancia/tiempo de viaje/ impactos ambientales, sin ser compensados por la falta de aceptabilidad del usuario? Si el uso compartido de vehículos es definitivamente una herramienta, es más complejo en el caso de los vehículos eléctricos, que tienen grandes beneficios en términos de emisiones de GEI y consumo de energía, pero también tienen transferencias de impacto significativas en términos de otros indicadores ambientales como la acidificación, la toxicidad humana, las partículas en suspensión, la formación fotoquímica de ozono y la reducción de la capa de ozono. En cuanto a los componentes TIC de los vehículos autónomos, cuanto más ligero es el subsistema autónomo del automóvil, más ligero es su impacto, pero estos componentes agregan impactos ambientales a los impactos generales del vehículo —y la infraestructura general en la que se basan (5G, IA) también debe tenerse en cuenta.<sup>14</sup> Dicho esto, el camino por el cual los vehículos autónomos pueden ser una herramienta para limitar los impactos ambientales es resbaladizo; requiere una regulación ascendente de las tendencias de comportamiento de los usuarios para maximizar los beneficios ambientales y limitar el riesgo de un bloqueo<sup>15</sup> que no haría más que agravar los problemas existentes. Pero, ¿qué cambios se espera que tenga la llegada de los vehículos autónomos en los comportamientos de movilidad?

## Vehículos autónomos: ¿un obstáculo para alcanzar los objetivos de reducción de impactos ambientales?

En la sección anterior, vimos que el uso compartido de automóviles puede contribuir a reducir los impactos ambientales del tráfico rodado, especialmente cuando significa que los pasajeros renuncian a tener un automóvil personal. ¿La llegada de los vehículos autónomos estimulará o no este comportamiento? En términos más generales, con la llegada de los automóviles autónomos, ¿qué cambios de comportamiento se pueden esperar que disminuyan o aumenten los impactos ambientales?

*“Se ha demostrado que los vehículos autónomos aumentan la distancia recorrida en coche y reducen la proporción de transporte público y modos de transporte lentos.”*

Un estudio austriaco<sup>16</sup> sobre los impactos de los vehículos automatizados en el comportamiento de los desplazamientos y el uso del suelo, evalúa una revisión internacional de los estudios de modelización existentes (principalmente en Europa y Estados Unidos) y compara los resultados con respecto a los diferentes escenarios y supuestos investigados.

Uno de los resultados más importantes de este estudio es que, en su mayoría, los vehículos autónomos aumentan la distancia recorrida por los vehículos y reducen la proporción de transporte público y modos de transporte lentos.

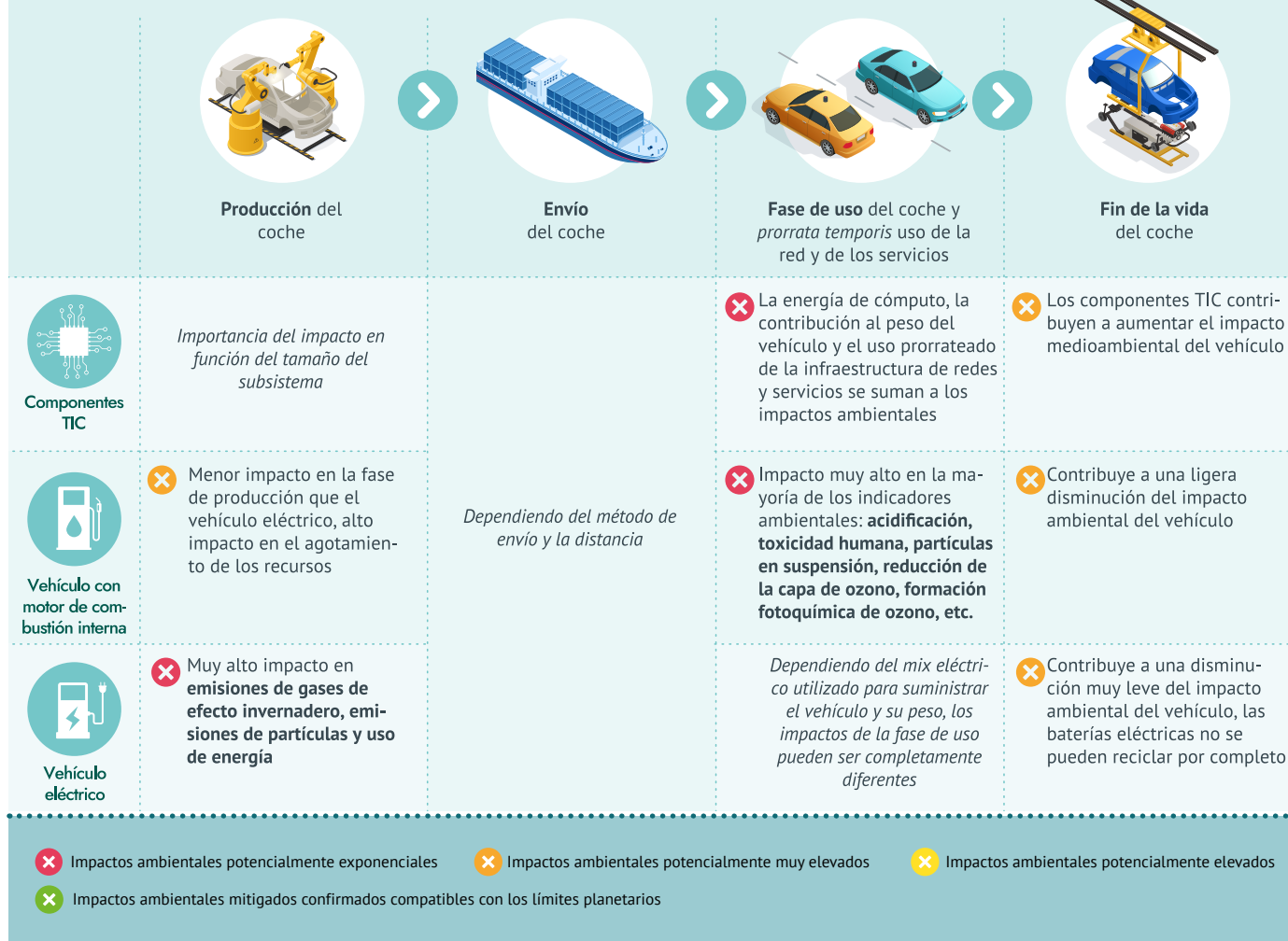
Los estudios revisados muestran un aumento de los VMT (millas recorridas por vehículo) o VKT (kilómetros recorridos por vehículo) en función de la tasa de adopción: del 60% si la tasa de adopción es alta al 8% si una pequeña parte de los viajes en vehículo privado se sustituyen por vehículos autónomos compartidos y dan lugar a viajes vacíos adicionales. Estos resultados indican que **los vehículos autónomos tienden a aumentar el número de kilómetros recorridos en la mayoría de casos**, a medida que los viajes en coche

14 Véanse nuestros estudios de caso sobre IA y 5G

15 Véase nuestro estudio de caso sobre efectos de rebote

16 Aggelos Soteropoulos, Martin Berger y Francesco Ciari, *Impactos de los vehículos automatizados en el comportamiento de viaje y el uso del suelo: una revisión internacional de estudios de modelización*, 2018

## Visión simplificada de los impactos medioambientales de los coches autónomos



son más accesibles (para los no conductores, o en el caso de los conductores, les da tiempo para realizar otras actividades simultáneamente). También subrayan que los vehículos autónomos “*conducen a reducciones de la cuota de transporte público y modos lentos, especialmente cuando se asumen V privados (Vehículos Autónomos) o SAV (Vehículos Autónomos Compartidos) sin viajes compartidos y una alta reducción en el valor del tiempo*”.

Por otro lado, **el VKT puede disminuir si una gran parte de los viajeros están dispuestos a compartir el viaje y aceptan un aumento en el tiempo de viaje del 30 al 50 por ciento**, lo que tendría el efecto de una disminución de VKT en un 11-24 por ciento. Sin embargo, esta suposición es altamente hipotética: ¿aceptaría la gente voluntariamente un mayor tiempo de viaje por compartir coche cuando es posible usar el VTC y completar el viaje más rápido solos?

*“Ignorar los comportamientos de los usuarios inducidos socialmente al evaluar las medidas para limitar los impactos ambientales de los vehículos autónomos, por el contrario, implicaría el riesgo de desencadenar un posible efecto rebote, posible gracias a las mejoras de eficiencia impulsadas por las innovaciones tecnológicas y de infraestructura.”*

De hecho, es muy posible que los viajeros sean más sensibles al ahorro de tiempo y la comodidad de una estrategia de despacho por orden de llegada. Esto significa que sin el marco de una ley ambiental vinculante y la consideración de posibles efectos rebote<sup>17</sup>, los automóviles autónomos podrían ser más un obstáculo que una herramienta para lograr los objetivos ambientales.

## Conclusión

Teniendo en cuenta todos los puntos mencionados anteriormente, parece claro que sin una política adecuada, los vehículos autónomos podrían exacerbar las emisiones de GEI. De hecho, si las decisiones de infraestructura (en lo que respecta a la estrategia de infraestructura de TIC, pero también a la estrategia de infraestructura de movilidad) no están supervisadas por los responsables políticos, es más probable que la llegada de vehículos autónomos estimule el uso del automóvil como principal medio de transporte en las zonas urbanas en detrimento del transporte público y la movilidad sostenible. Para evitar este efecto rebote predecible, el comportamiento de los usuarios debe tenerse en cuenta en las decisiones de formulación

18 Véase nuestro estudio de caso sobre efectos rebote

de políticas. Ignorar los comportamientos de los usuarios inducidos socialmente al evaluar las medidas para limitar los impactos ambientales de los vehículos autónomos, por el contrario, conllevaría el riesgo de desencadenar un posible efecto rebote,<sup>18</sup> hecho posible por las ganancias de eficiencia impulsadas por las innovaciones tecnológicas y de infraestructura.

### Recomendaciones para un desarrollo digital compatible con el Acuerdo Verde

En 2022, la inminente llegada del automóvil autónomo al mercado se reguló en sentido ascendente mediante políticas ambiciosas e integrales que tuvieron en cuenta los impactos ambientales tanto de los vehículos como de la infraestructura general de la que dependen. Los debates en torno a los preparativos para la llegada de los vehículos autónomos fueron una oportunidad para cuestionar la seguridad vial, no solo como un tema relativo a los vehículos, sino también como una cuestión de infraestructura global indisolublemente ligada a cuestiones ambientales. Esto permitió un replanteamiento completo y coordinado de la política de transporte en los Estados miembros de la UE con el objetivo claro y concreto de reducir los impactos ambientales relacionados tanto con el transporte (de personas y mercancías) como con las TIC, basándose ante todo en los objetivos del Acuerdo de París y en las aspiraciones de los ciudadanos de toda Europa, independientemente del tipo de área que habiten (no solo las áreas metropolitanas y urbanas, sino también las áreas rurales).

Se desarrollaron políticas ambiciosas pero realistas, teniendo en cuenta los comportamientos de uso, el conocimiento y los riesgos de los encierros sociotécnicos y las innovaciones digitales, tales como los servicios de transporte o los vehículos conectados y autónomos.

Un enfoque en la modernización de las infraestructuras ferroviarias de transporte público, el transporte intermodal y la accesibilidad a las estaciones de ferrocarril y la financiación del diseño ecológico, incluida toda la propuesta de valor de un vehículo, permitieron reducir drásticamente los factores de emisión en origen y, en consecuencia, reducir la congestión de las carreteras.

Esto ha permitido reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación por partículas relacionadas con el transporte al estimular comportamientos virtuosos y hacerlos accesibles. Los beneficios indirectos de esta ambiciosa política son que ha permitido a la UE aumentar su soberanía y resiliencia y ha ayudado a estimular innovaciones modelo en todos los sectores económicos de la UE, al tiempo que fortalece las redes regionales gracias a una red ferroviaria y de transporte público fiable. Además, la consideración genuina de las necesidades de las personas en toda Europa ha fortalecido la cohesión y la participación de la ciudadanía.

La investigación sobre los comportamientos de los usuarios ha avanzado y se han integrado escenarios de comportamiento basados en las ciencias humanas para amplificar la solidez de las suposiciones en la evaluación de los impactos ambientales. Se han fomentado evaluaciones del ciclo de vida que tienen en cuenta múltiples factores de emisión y escenarios comparativos basados en diversos modos de movilidad, y que evalúan las unidades funcionales completas de estos escenarios, incluido el uso prorrateado de la infraestructura de TIC para cada tipo de vehículo conectado.

# **EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES ESTUDIOS DE CASO:**

- Efectos rebote
- Materias primas en las TIC
- Residuos electrónicos y economía circular

# Efectos rebote debidos a las TIC

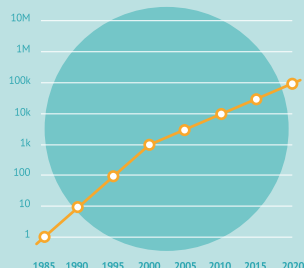




# Claves para comprender

La eficiencia energética de los equipos digitales ha mejorando de forma constante (Ley de Koomey\*)<sup>i</sup>

Número de cálculos por julio de energía disipada



\*Ley de Koomey: duplicar la eficiencia informática cada 2,6 años, lo que significa una eficiencia de ~10.000 en 2010 en comparación con 1985 y ~100.000 en 2018

Los efectos de rebote nos muestran que no basta con mejorar la eficiencia energética



Sin embargo, el consumo anual de electricidad de las TIC casi se triplicará entre 2010 y 2025<sup>ii</sup>



Las TIC consumirán 3 veces más energía en todo el mundo, sobre todo porque la cantidad de dispositivos aumenta y porque el tamaño diagonal de las pantallas de ordenadores y televisores se duplica entre 2010 y 2015<sup>ii</sup>



Los GEI son el indicador que más rápido ha crecido entre los impactos ambientales de las TIC en todo el mundo<sup>ii</sup>



700 TWh 1900 TWh

Número de dispositivos, incluyendo IdC



14,5 mill millones 68,6 mil millones

CO<sub>2</sub> eq. (en millones de toneladas)



738 2.278

<sup>i</sup> Koomey J., Naffziger S., «Efficiency's brief reprieve: Moore's Law slowdown hits performance more than energy efficiency», en IEEE Spectrum. Abril, 2015

<sup>ii</sup> GreenIT.fr, Environmental Footprint of the digital world, 2019

## Resumen del estudio de caso

Este estudio de caso analiza los efectos rebote y, más específicamente, explora los efectos rebote de las TIC. El efecto rebote es un término utilizado para describir los efectos secundarios negativos de las estrategias de eficiencia que terminan anulando los beneficios ambientales previstos. Los efectos rebote pueden ser sistémicos, cuando ocurren a nivel de toda la economía, donde tienen el impacto más amplio; indirectos, si, por ejemplo, los ahorros se reinvierten en actividades o bienes que tienen una mayor huella; o directos, si la mejora de un producto o servicio da como resultado un mayor consumo de ese producto o servicio. La cuantificación de los efectos rebote por computación es extremadamente difícil e incierta, como muestran los hallazgos de este estudio de caso, debido a la variedad de parámetros que pueden estar involucrados. Este estudio de caso también demostró que, sin una consideración adecuada de las estructuras, hábitos y objetivos establecidos perseguidos por las

partes interesadas, las medidas de eficiencia aumentan el riesgo de no alcanzar su objetivo e incluso pueden ser contraproducentes.

## Definiciones

### ¿Qué es un efecto rebote?

La noción de efecto rebote sirve para caracterizar “los efectos secundarios negativos de las políticas y estrategias de eficiencia que llegan a anular los beneficios ambientales” que se perseguían.<sup>1</sup>

*“Cuanto más aumenten las mejoras tecnológicas la eficiencia con la que se utiliza un recurso a nivel micro, más tenderá a aumentar, en lugar de disminuir, el consumo total de ese recurso a nivel macro.”*

El efecto rebote se puede definir de la siguiente manera: cuanto más aumenten las mejoras tecnológicas la eficiencia con la que se utiliza un recurso, más

<sup>1</sup> Gossart, C., *Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature*, 2014



tenderá el consumo total de ese recurso a incrementarse en lugar de disminuir.<sup>2</sup>

El efecto rebote a menudo se asocia con un aumento en el consumo debido a un aumento en la eficiencia y una consiguiente disminución de los precios. Sin embargo, también se pueden identificar efectos de rebote con respecto al tiempo, el espacio y la tecnología<sup>3</sup>:

➤ **Rebote de tiempo:** Cuando la mejora consume más o menos tiempo que el statu quo, esta provoca cambios en el consumo (por ejemplo, [véanse nuestros estudios de caso: 5G, vehículos autónomos](#)).

➤ **Rebote espacial:** Cuando la mejora utiliza más o menos espacio que el statu quo, esta provoca cambios en el consumo (por ejemplo, es más fácil realizar el sueño de Bill Gates de “un ordenador en cada escritorio y en cada hogar” en la actualidad con ordenadores de escritorio y portátiles que con las primeras generaciones de ordenadores, como por ejemplo el ENIAC, que son tan grandes como una habitación).

➤ **Rebote tecnológico:** Cuando la mejora cambia la disponibilidad o la asequibilidad de ciertos recursos o tecnologías, conduce a cambios en el consumo.

Identificar y considerar los efectos de rebote es crucial para garantizar los beneficios ambientales tanto de las políticas ambientales como de las mejoras tecnológicas a gran escala.

## Conceptos principales

La literatura científica distingue de manera consensuada entre tres niveles de rebote general: directo, indirecto y económico.<sup>4</sup>

➤ **Efectos de rebote directos:** Cuando una mejora de un producto o servicio disminuye el coste (en dinero, tiempo, espacio, etc.) del consumo del producto, siendo el resultado un mayor consumo de este producto/servicio. **Ejemplo de rebote directo: el aumento del tráfico de datos móviles superó las ganancias de eficiencia al pasar de la red 2G a la 3G.**<sup>5</sup>

➤ **Efectos indirectos de rebote:** Cuando un recurso se utiliza de manera más eficiente y se ahorran costes, hace que se gasten más ingresos en otros productos y servicios, potencialmente en otros sectores. **Ejemplo de efecto rebote indirecto: los ahorros en eficiencia realizados por un consumidor o una empresa pueden reinvertirse en otros productos o servicios, potencialmente con impacto ambiental.**

➤ **Efectos de rebote en toda la economía:** Una mayor eficiencia impulsa un mayor crecimiento económico general y provoca cambios estructurales en la producción y el consumo a nivel macroeconómico. Estos efectos combinan los resultados de los efectos de rebote directos e indirectos y rara vez se tienen en consideración. Un ejemplo: la llegada de Internet.

*“Para abordar los efectos rebote desde una perspectiva de la economía en su conjunto, es más relevante un enfoque que compare las ganancias de eficiencia y los efectos rebote dentro de los límites planetarios, teniendo en cuenta también los parámetros econométricos y sociales.”*

Otra noción clave es la de **backfire** (efecto contra-productivo): Cuando “el consumo total de energía en realidad aumenta después de las medidas de ahorro de energía”.<sup>6</sup>

¿Cómo medir los efectos rebote? Algunos científicos que midieron los efectos rebote intentaron resumir los diferentes parámetros en una ecuación que pudiera usarse como modelo. En el caso de los efectos rebote debidos a las ganancias de eficiencia energética, los diferentes niveles de rebote encontrados a partir de una mejora energética se compara con el ahorro de energía esperado y se puede expresar como un porcentaje:

➤ Si el porcentaje es inferior al 100%, el ahorro de energía es proporcionalmente más importante que el consumo de energía adicional.

<sup>2</sup> [GreenIT.fr definition of the rebound effect](#), 2014

<sup>3</sup> Maxwell, D., Owen, P., McAndrew, L., Muehmel, K., Neubauer, A., [Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment](#), 26 de abril de 2011

<sup>4</sup> Gossart, C., [Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature](#), 2014; Sorrell, S., [Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency](#). *Energy Policy* 37(4), 1456-1469 (2009); Maxwell, D., Owen, P., McAndrew, L., Muehmel, K., Neubauer, A., [Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment](#), 26 de abril de 2011

<sup>5</sup> Faist et al. 2004, Girod et al. 2010, cited in Maxwell, D., Owen, P., McAndrew, L., Muehmel, K., Neubauer, A., [Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment](#), 26 April 2011, p.14 and p.51; Faist Emmenegger, M., Frischknecht, R., Stutz, M. et al., [Life Cycle Assessment of the Mobile Communication System UMTS: Towards Eco-efficient Systems](#), (12 pp). *Int J Life Cycle Assessment* 11, 265-276 (2006)

<sup>6</sup> Gossart, C., [Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature](#), 2014



Si el porcentaje alcanza el 100% o más, los ahorros de energía esperados se compensan por completo, lo que lleva a cero ahorros netos para la economía en su conjunto<sup>7</sup>, lo que significa que estos ahorros “son contraproducentes”.

### Evolución comparada de los flujos de información y transporte desde 1800



Fuente: Arnulf Gröbler, *The Rise and Fall of Infrastructures*, 1990, citado por el IPCC, 2001

Sin embargo, esta medida matemática de los efectos rebote se limita a mediciones realmente cuantificables de rebotes directos o indirectos y a menudo se evalúa a escala microeconómica. Para abordar los efectos de rebote con una perspectiva de la economía en su conjunto, es más relevante un enfoque que combine las ganancias de eficiencia y los efectos de rebote dentro de los límites planetarios, teniendo también en cuenta los parámetros económicos y sociales ([consultar la sección “La opinión del experto”](#)). Además, “una tecnología que conduce a ganancias de eficiencia a nivel micro podría conducir a pérdidas de eficiencia a nivel macro.”<sup>8</sup> De hecho, incluso si una tecnología permite realizar una mejora, no siempre se trata de una mejora de nuestra huella ambiental, y los efectos de rebote también pueden provenir de mejoras en términos de tiempo, espacio o tecnología, como se describió anteriormente.

## Problemas medioambientales relacionadas con los efectos rebote de las TIC

Los aumentos en la eficiencia energética conducen a efectos rebote<sup>9</sup>. Sin embargo, la importancia de estos efectos rebote depende de múltiples parámetros, y un solo cambio de eficiencia puede tener múltiples consecuencias en los comportamientos de uso, lo que hace que los efectos rebote sean muy difíciles de evaluar. Las principales dificultades para entender y estimar los efectos rebote debidos a las TIC están relacionadas con el hecho de que las TIC son omnipresentes, es decir, tienen una amplia influencia en muchos otros sectores, y con que las TIC son una poderosa herramienta para estimular y generar innovación. De hecho, estas características muestran que las TIC tienen una relación de interdependencia fuerte y compleja con muchos sectores de actividad. Como resultado, las mejoras de eficiencia logradas por las TIC tienen un efecto en cadena con consecuencias en todos los sectores, al igual que sus efectos rebote relacionados.

*“Muchos estudios y publicaciones de literatura gris hacen hincapié en el potencial de ahorro de energía de las TIC para casos de uso específicos. Como resultado, hay menos estudios sobre los efectos rebote a nivel macro.”*

En muchos aspectos las TIC contribuyen a la eficiencia energética: las TIC pueden reducir su propio consumo de energía ([véanse estudios de casos sobre IA y en la nube](#)), contribuyen al ahorro energético en otros sectores como el transporte, los edificios, la vigilancia urbana, etc. En un estudio publicado en 2012<sup>10</sup>, Coroama *et al.* evalúan el potencial de reducción de los gases de efecto invernadero relacionados con la celebración remota de conferencias internacionales mediante un sistema de videoconferencia en lugar de una conferencia mundial cara a cara en un solo espacio. Los resultados muestran una reducción potencial del 37% al 50% en las emisiones de GEI relacionadas con los viajes evitados en comparación con los escenarios

7 Sorrell, S., *Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency*. Energy Policy 37(4), 1456-1469 (2009), p. 1457

8 Gossart, C., *Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature*, 2014, p.5

9 Lange S, Pohl J., Santarius T., *Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?*, 2020

10 Coroama, V.C.; Hilty, L.M.; Birtel, M., *Effects of Internet-based multiple-site conferences on greenhouse gas emissions*. Telemat. Inform. 2012, 29, 362–374.



de conferencias in situ, incluso teniendo en cuenta el efecto rebote de una mayor participación.

Muchos estudios y publicaciones de literatura gris enfatizan el potencial de ahorro de energía de las TIC para casos de uso específicos. Como resultado, hay menos estudios sobre los efectos rebote a nivel macro. En un artículo publicado en 2020, Santarius et al. subrayan que *“abunda la literatura sobre el potencial de ahorro de energía de las mejoras de la eficiencia basadas en las TIC en diversos procesos de producción y consumo. Sin embargo, esos estudios se centran solo en los efectos a nivel micro y descuidan cualquier efecto global a nivel macro. Además, en su mayoría describen potenciales en lugar de desarrollos reales. Los argumentos teóricos a favor de la sustitución incompleta y los posibles efectos de rebote e inducción (crecimiento) son sólidos y están respaldados por pruebas incidentales, mientras que las pruebas empíricas sobre el vínculo causal entre la digitalización y los efectos de rebote aún no se han investigado lo suficiente en términos empíricos. Estos hechos ambiguos sugieren que el efecto general de las TIC en el consumo de energía a través de la eficiencia energética y los efectos de rebote aún no está claro.”*<sup>11</sup> Esto muestra que la investigación sobre los efectos de rebote de la tecnología digital aún está incompleta.

A continuación, trataremos de identificar algunas áreas dentro de las TIC en las que es probable que se encuentren efectos de rebote, aunque es necesario realizar más investigaciones para garantizar que nunca se pasen por alto.

### Efectos de rebote de las TIC: ejemplos potenciales

Como se ve en la sección de conceptos principales, los efectos rebote se pueden dividir en categorías de efectos rebote directos, indirectos y la economía en su conjunto.

#### Efectos rebote directos:

De los efectos de rebote directos de las TIC, el más conocido está relacionado con la ley de Moore: la observación de que el número de transistores en un circuito integrado casi se duplica cada dos años. Dado que esto permite fabricar ordenadores más ligeros y

potentes, genera efectos rebote en cuanto al tiempo (la computación es más rápida, por lo que las posibles tareas de computación son cada vez más complejas), en cuanto a las materias primas (cada generación sucesiva de procesos es más pequeña, requiere menos material para fabricarse que la anterior, pero la demanda se dispara). Los nuevos modelos reemplazan rápidamente a los anteriores, más lentos, lo que contribuye a la obsolescencia en el mercado de los ordenadores o teléfonos inteligentes, a pesar de que muchos usuarios habrían estado satisfechos con los procesadores antiguos.<sup>12</sup>

Otro ejemplo de efecto rebote se puede encontrar en el caso de los centros de datos ([véase nuestro estudio de caso sobre la nube](#)). Se han logrado importantes avances en la eficiencia energética de los centros de datos: un servidor ofrece 4 veces más cálculos para un consumo de energía idéntico que hace 8 años: la PUE (Efectividad del Uso de energía) de los centros de datos modernos se ha reducido a la mitad en 20 años.<sup>13</sup> Sin embargo, en lugar de observar una caída proporcional en el consumo de los centros de datos, se ha observado un ligero aumento, del 6%, en el consumo de energía entre 2010 y 2018. ¿Por qué está ocurriendo? Al mismo tiempo que se produjeron las mejoras citadas anteriormente, aumentó la demanda de servicios. De hecho, las necesidades informáticas se multiplicaron por seis entre 2010 y 2018 y el tráfico de red por diez, mientras que la capacidad de almacenamiento se multiplicó por 25 durante el mismo período.<sup>14</sup> Aunque la eficiencia de los centros de datos se compensa con el aumento de la demanda, el impacto del aumento de la demanda en los equipos y las redes es mucho mayor, lo que es un efecto de rebote indirecto.

En nuestro estudio de ACV, comprobamos que los equipos constituyen la mayor área de impacto dentro de las TIC, representando entre el 62 y el 89 por ciento del impacto ambiental de las TIC para Europa en 2019, dependiendo de los indicadores, con más del 65 por ciento en relación con el cambio climático y alrededor del 89 por ciento en relación con los recursos, minerales y metales.<sup>15</sup>

En el caso de los teléfonos inteligentes, algunos efectos de rebote son fáciles de ver, aunque el límite entre los

11 Santarius T., Pohl J. and Lange S., *Digitalization and the Decoupling Debate: Can ICT Help to Reduce Environmental Impacts While the Economy Keeps Growing?*, 2020

12 Gossart, C., *Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature*, 2014, p.6; Hilty, L.M.: Information technology and sustainability: Essays on the relationships between information technology and sustainable development. Books on Demand, Norderstedt (2008)

13 Eric Masanet, Arman Shehabi, Nuoa Lei, Sarah Smith, and Jonathan Koomey, *Recalibrating global data center energy-use estimates*, 2020; <https://www.greenit.fr/2020/03/04/data-center-seulement-6-de-hausse-en-8-ans/> (última consulta: 25/10/2021)

14 Eric Masanet, Arman Shehabi, Nuoa Lei, Sarah Smith, and Jonathan Koomey, *Recalibrating global data center energy-use estimates*, 2020

15 Bordage, F., de Monteny, L., Benqassem, S., Delmas- Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E. GreenIT.fr. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*



efectos de rebote directos e indirectos puede variar. Entre 2011 y 2019, el tiempo dedicado a Internet a través de teléfonos móviles en todo el mundo aumentó de 32 minutos a 132 minutos por día, mientras que el tiempo que se pasa en Internet desde los ordenadores de sobremesa ha disminuido lentamente de 43 a 39 minutos por día, lo que significa un aumento general del 228% del tiempo dedicado a Internet (una disminución del 9% para los ordenadores de sobremesa y un aumento del 413% para los teléfonos inteligentes).<sup>16</sup>

Las razones de tal aumento en la cantidad de tiempo dedicado a Internet son numerosas y están entrelazadas: teléfonos inteligentes más potentes<sup>17</sup>, una caída en los precios de los datos móviles<sup>18</sup>, acceso de banda ancha cada vez más rápido (cada generación de red móvil es más rápida que sus predecesoras)<sup>19</sup>, más aplicaciones para acceder a redes sociales, medios, juegos, servicios del día a día<sup>20</sup>, etc., a menudo diseñados para aumentar el tiempo dedicado a ellos<sup>21</sup>, siendo cada vez más intuitivos de usar y con una experiencia de usuario cada vez más fluida<sup>22</sup>, etc. En última instancia, cuando se pasa más tiempo en Internet a través de redes móviles, las tasas de renovación de teléfonos inteligentes aumentan (para teléfonos inteligentes más potentes o para reemplazarlos por un teléfono con una batería más potente), al igual que los impactos ambientales de las TIC.

## El caso de los encierros sociotécnicos en las TIC

Los encierros sociotécnicos son reacciones sociales y técnicas positivas o rendimientos crecientes en la adopción de una tecnología seleccionada\*. Esto significa que el uso de la tecnología está teniendo impactos sociales o socioeconómicos positivos que respaldan su uso.

Los encierros sociotécnicos ocurren cuando se produce la coevolución de una tecnología y se adoptan comportamientos sociales relacionados con esta tecnología.

En el caso de las TIC, los usuarios están familiarizados con los encierros sociotécnicos cuando, por ejemplo, la tasa de adopción de un programa informático (Microsoft Office), una red social (Facebook, WhatsApp, etc.) o una tecnología (teléfono inteligente, banda ancha móvil, ordenador) hace que sea difícil interactuar con fluidez sin adoptarla, y aún más difícil dejar de usarla.

Los encierros sociotécnicos crean dependencias de ruta a escala macro que pueden ser barreras para hábitos más sostenibles. Estas dependencias de ruta incluyen instituciones e infraestructuras en el "conjunto de reglas" que implican\*.

Dado que es muy difícil escapar de un encierro sociotécnico una vez establecido, las políticas deben abordar cómo evitar que se vuelvan a producir. Limitar los encierros sociotécnicos en las TIC también es un medio de crear una mayor inclusión para cerrar la brecha digital. Además, se permite una innovación más disruptiva en las TIC al facilitar la introducción de trayectorias tecnológicas radicalmente nuevas.

\* Geels FW, *Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study*, 2002; Gregory C Unruh, *Understanding carbon lock-in*, 2000; Rip A, Kemp RPM, *Technological change*, 1998;

16 Zenith Media, *Media Consumption Forecasts*, 2019

17 <https://www.androidauthority.com/smartphone-performance-improvements-timeline-626109/> (Última consulta: 25/05/2021)

18 Empirica and TÜV Rheinland for the European Commission DG Communications Networks, Content & Technology, *Mobile broadband prices in Europe 2019*, Digital Single Market, 2019

19 Vora L. J., *Evolution of mobile generation technology: 1g to 5g and review of upcoming wireless technology 5G*, IUMTER, 2015

20 <https://techcrunch.com/2021/01/13/app-stores-saw-record-218-billion-downloads-in-2020-consumer-spend-of-143-billion/> (última consulta: 25/05/2021)

21 Un documental de 2020 llamado *El Dilema Social*, explora los efectos adictivos de las redes sociales, mientras que los expertos en tecnología hacen sonar la alarma sobre sus propias creaciones

22 <https://www.textrequest.com/blog/history-evolution-smartphone/> (última consulta: 25/05/2021)



## Ejemplos de efectos de rebote en las TIC



**Efectos directos de rebote**



**Efectos de rebote sistémicos**  
Transformación de las normas sociales



**Efectos de rebote sistémicos**  
Cascada de innovaciones tecnológicas



**Efectos de rebote indirectos**



**Efectos de rebote sistémicos**  
Acelerador de la producción



**Efectos de rebote sistémicos**  
Acelerador de la actividad

Inspirado en: <https://ligue-enseignement.be/rapport/projet-europeen-conscience-numerique-durable/>

Del mismo modo, la creciente disponibilidad de suscripciones ilimitadas (suscripciones ilimitadas de video a la carta, las suscripciones ilimitadas de música en streaming, los videojuegos a la carta, las suscripciones con acceso ilimitado a canales o archivos de prensa) probablemente potenciarán los equipos TIC (pantallas de televisión más grandes<sup>23</sup>, objetos conectados como altavoces conectados, etc.) y, de forma complementaria, la demanda de la nube, es decir, la construcción de más centros de datos.<sup>24</sup>

Además, a medida que se utilizan más componentes electrónicos para producir automóviles nuevos, incluidos los automóviles autónomos, combinado con el aumento previsto de las ventas de automóviles autónomos en las próximas décadas<sup>25</sup>, es posible que se observen efectos de rebote dependiendo tanto de

los marcos normativos como de los comportamientos de adopción y uso.

Es probable que ocurra lo mismo con el aumento de la producción de objetos conectados y el creciente interés en torno al IdC<sup>26</sup>, lo que significa un aumento dramático en la demanda de equipos de TIC y los impactos ambientales relacionados con la producción (emisiones de gases de efecto invernadero, agotamiento de materias primas críticas<sup>27</sup>, contaminación del agua, etc.) y su rápida obsolescencia (residuos electrónicos<sup>28</sup>).

Además, las adopciones masivas de nuevas tecnologías tienen importantes efectos de rebote al estimular la renovación de equipos. Esto es lo que sucedió con la evolución de 2G a 3G<sup>29</sup>, por ejemplo, y unos años más tarde de 3G a 4G<sup>30</sup>, siendo el efecto un reemplazo generalizado de teléfonos inteligentes para acceder a redes móviles de nueva generación.

<sup>23</sup> Conferencia de Prensa Global de IFA 2019, Abril de 2019, página 13

<sup>24</sup> Véase nuestro estudio de caso en la nube

<sup>25</sup> Véase nuestro estudio de caso sobre vehículos autónomos

<sup>26</sup> Véase nuestro estudio de caso sobre IdC

<sup>27</sup> Véase nuestro estudio de caso sobre el agotamiento de materias primas

<sup>28</sup> Véase nuestro estudio de caso sobre desechos electrónicos

<sup>29</sup> Faist et al. 2004, Girod et al. 2010, cited in Maxwell, D., Owen, P., McAndrew, L., Muehmel, K., Neubauer, A., *Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment*, 26 de abril de 2011, p.14 y p.51; Faist Emmenegger, M., Frischknecht, R., Stutz, M. et al. *Life Cycle Assessment of the Mobile Communication System UMTS: Towards Eco-efficient Systems*, int J Life Cycle Assessment 11, 265–276, 2006

<sup>30</sup> GSMA, *The Mobile Economy Europe 2018*, 2018



Estos diversos efectos potenciales de rebote de las TIC, actuales y futuros, deben anticiparse y, si se producen, medirse y controlarse. Aunque no toda la literatura coincide respecto a la magnitud de un efecto rebote,<sup>31</sup> existe un consenso en que la prevención de los efectos de rebote es necesaria y requiere el establecimiento de **“un marco de limitación de emisiones”**,<sup>32</sup> lo que sugiere que las tecnologías de eficiencia energética por sí solas no son suficientes para fomentar el ahorro de energía.

Además de las ganancias de eficiencia energética que hacen posible las TIC, estas tecnologías también permiten numerosas ganancias en términos de confort y tiempo, que modulan profundamente los usos y el nivel de expectativa de los consumidores y las empresas, como vimos durante la crisis de covid (e-learning, teletrabajo, comercio electrónico, etc.). Es probable que estos efectos conductuales contribuyan a los efectos rebote de las TIC.

### Efectos rebote indirectos:

Los efectos rebote indirectos ocurren cuando un recurso se usa de manera más eficiente y se producen ahorros (en términos de coste, tiempo, etc.) lo que aporta más ingresos, tiempo, etc. que se pueden invertir en otros productos y servicios y, potencialmente, en otros sectores. Las dos primeras principales posibilidades en las que podemos pensar con respecto a los efectos rebote indirectos son:

1. Efectos rebote visibles a nivel individual: cuando un uso es sustituido por otro dejando una mayor huella ambiental. Un ejemplo concreto podría ser la celebración de pequeños esfuerzos para reducir la huella de carbono con un viaje en avión, lo que anularía los pequeños esfuerzos y provocaría un enorme efecto contraproducente.

2. Efectos de rebote visibles a nivel colectivo: desarrollo de nuevos usos centrados en el aumento de la eficiencia sociotécnica con una amplia gama de impactos en múltiples sectores, muchos de ellos con una gran huella de carbono (transporte, construcción, producción de bienes...)

Como ya vimos de forma estrepitosa durante la reciente crisis de covid entre 2020 y 2021, muchos sectores de

actividad ahora están inextricablemente vinculados a las TIC y dependen profundamente de Internet para funcionar. Esta relación entre las actividades empresariales y las TIC se ha exacerbado durante la crisis de la COVID, y aunque es demasiado pronto para saber cuáles serán los cambios de comportamiento a largo plazo y los efectos de rebote relacionados con el papel de las TIC durante la crisis, está claro que las TIC desempeñaron un papel preeminente en el mantenimiento de las actividades empresariales, la escolarización y las relaciones.

*“A medida que nos obligamos a cuantificar de manera absoluta, nos perdemos muchos mecanismos no cuantificables mechanisms.”*

Jacques Combaz, ingeniero de investigación del CNRS

Además de los impactos socioeconómicos positivos que no son objeto de este estudio, los impactos ambientales positivos se pueden demostrar en el sentido en que las TIC permitieron a las personas aprender y trabajar de forma totalmente remota. Es el caso de la enseñanza en línea<sup>33</sup> o el teletrabajo<sup>34</sup>. Sin embargo, en ambos casos, las distancias recorridas en coche que no se eliminan<sup>35</sup> por la enseñanza en línea o el teletrabajo (reuniones de grupos de clase, recoger a los niños de la escuela en coche, ir de compras en coche,...) pueden tener efectos de rebote, ya que los nuevos patrones de viaje diarios pueden generar más consumo. Otros efectos rebote de la enseñanza en línea y el teletrabajo se refieren a la duplicación del lugar de trabajo en el hogar, anulando los beneficios de un espacio de trabajo compartido: más equipos, más calefacción en el hogar, más consumo de papel. Con respecto al teletrabajo, los estudios que evalúan sus impactos ambientales tienden a demostrar que, aunque el teletrabajo parece reducir el CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y las emisiones de CO (debido a un menor transporte en automóvil), esto se basa en gran medida en suposiciones y *“los efectos de rebote pueden afectar significativamente no solo al transporte, sino también a las empresas y a la oficina en casa. El éxito*

31 Gossart, *Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature*, 2014, p.5

32 GeSI, *Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age*, 2008; Lorenz M. Hilty, *Information Technology and Sustainability. Essays on the Relationship between ICT and Sustainable Development*, 2008, p. 41; Tilman Santarius, Johanna Pohl and Steffen Lange, *Digitalization and the Decoupling Debate: Can ICT Help to Reduce Environmental Impacts While the Economy Keeps Growing?*, 2020 p. 6

33 Herring, H., Roy, R.: *Sustainable services, electronic education and the rebound effect. Environmental Impact Assessment Review* 22(5), 525-542, 2002

34 Kitou E., Horvath A., *Energy-related emissions from Telework, 2003; ADEME, Étude sur la caractérisation des effets rebond induits par le télétravail*, 2020

35 En algunos casos excepcionales, el teletrabajo y el aprendizaje electrónico pueden incluso permitir formas de vida de gran impacto, como el trabajo remoto en todo el mundo (viajes en avión).



de un programa de teletrabajo parece depender principalmente de los patrones de desplazamiento, el uso de energía inducido y las características del uso del espacio de la oficina y el hogar.”<sup>36</sup>

De hecho, si un trabajador que viaja habitualmente en transporte público o en modos de movilidad blanda trabaja desde su casa en lugar de hacerlo desde la oficina y, en consecuencia, calienta más su hogar y compra más equipos de TIC, es muy probable que el impacto ambiental general del teletrabajo para ese trabajador tenga como resultado graves efectos de rebote, lo que provocará que los beneficios ambientales del teletrabajo sean contraproducentes. Por el contrario, si los trabajadores que habitualmente se desplazan en coche trabajan desde casa en lugar de desde la oficina y, en consecuencia, disminuyen sustancialmente las distancias que recorren en coche, no calientan más su hogar y utilizan los mismos equipos TIC que en la oficina, es probable que los beneficios del teletrabajo sean mucho mayores.

*“La dificultad está en el marco regulatorio, en el proyecto social que queremos tener, el punto de llegada,” ¿a dónde queremos ir?”. Tengo la impresión de que hoy todo esto se ve ensombrecido por los debates técnicos.”*

**Jacques Combaz**

de los compradores electrónicos).<sup>38</sup> Algunos estudios tienden a demostrar que una compra de comercio electrónico es más respetuosa con el medio ambiente que una compra en una tienda debido al menor consumo de energía y materiales de la infraestructura (por ejemplo, menos construcción debido al aumento de las tasas de logística y menos energía por metro cuadrado en un almacén que en las tiendas físicas).<sup>39</sup> Sin embargo, se observan algunos efectos de rebote debido a los aumentos en los patrones de consumo. Por otro lado, en el caso de la entrega a domicilio, el último kilómetro genera potencialmente más impactos ambientales que el comercio minorista en la tienda cuando la compra en línea con entrega a domicilio reemplaza las soluciones a pie, de transporte público o de “movilidad blanda”. Este efecto se amplifica mediante la entrega instantánea, lo que da como resultado una mayor congestión del tráfico.<sup>40</sup> Del mismo modo, el auge de las entregas de alimentos y productos pequeños debido a la entrega en línea y al uso de plataformas de entrega de alimentos aumenta drásticamente los desechos plásticos y la huella de carbono, que es un efecto de rebote importante de las TIC, pero característico del negocio de la alimentación y el reparto. Un estudio publicado en 2020 afirma que, en consecuencia, “el impacto ambiental más grave de esta nueva industria es la contaminación por residuos sólidos, seguida de la contaminación del agua, el consumo de recursos y la contaminación del aire.”<sup>41</sup> En consecuencia, esta nueva industria habilitada por las plataformas digitales tiene un efecto muy tangible, que depende en gran medida de la aceptabilidad social y de las futuras regulaciones políticas.

## Comercio electrónico y entrega a domicilio

El comercio electrónico está provocando un crecimiento significativo y rápido en la economía mundial: se estima que la participación del comercio electrónico en el comercio minorista mundial ha aumentado del 10,4% en 2017 al 17% en 2020.<sup>37</sup> En el caso del comercio electrónico, las TIC han creado claramente un cambio profundo en los hábitos de compra de mucha gente. En la UE, el 72% de los usuarios de Internet compraron o encargaron bienes o servicios en línea en 2020, principalmente ropa, calzado y accesorios (64%

36 Kitou E., Horvath A., *Energy-related emissions from Telework*, 2003

37 United Nations, *COVID-19 and e-commerce. A global review*, 2021

38 [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-commerce\\_statistics\\_for\\_individuals#Most\\_popular\\_en\\_línea\\_purchases](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-commerce_statistics_for_individuals#Most_popular_en_línea_purchases) (última consulta: 20/05/2021)

39 Khurana A., Pal R., *Impact of e-commerce on environment*, 2013

40 <https://www.cnn.com/2020/01/14/last-mile-delivery-push-will-worsen-commutes-hurt-the-environment-world-economic-forum-says.html> (last retrieved: 20/05/2021)

41 Charlene Li, Miranda Miroso and Phil Bremer, *Review of En Línea Food Delivery Platforms and their Impacts on Sustainability*, 2020



## La opinión del experto



*Fabrice FLIPO es filósofo de la política, la ciencia y la tecnología, profesor del Instituto Mines-Télécom BS e investigador del Laboratorio de Cambio Social y Político de la Universidad de París y lleva veinte años trabajando en temas de ecología. En 2020, publicó un libro*

*sobre el “imperativo de la sobriedad digital”<sup>i</sup> así como un memorando sobre el “lado oscuro de lo digital”<sup>ii</sup>.*



*Jacques COMBAZ, ingeniero de investigación del CNRS, trabaja en un laboratorio de investigación llamado Verimag. Se incorporó al grupo de servicios Ecolinfo del CNRS en 2018 y, como tal, ha participado en el trabajo sobre los efectos rebote desde esa fecha.*

### ¿Qué es un efecto rebote?

**Jacques COMBAZ:** Lo veo de esta manera: abordamos un problema con varias dimensiones, y tratamos de jugar en una de las dimensiones. Obviamente, como el sistema es complicado, cuando tocamos una dimensión tocamos indirectamente las otras dimensiones. Si el efecto deseado es tocar solo una de las variables sin tocar las otras, el problema de rebote se hace evidente.

**Fabrice FLIPO:** Cuando observamos sociológicamente la estructura de las elecciones (cómo las personas consumen), observamos que existen normas de consumo. Estas regularidades sociológicas, que son necesarias para la regularidad del sistema técnico, son perfectamente predecibles. Para mí, lo que llamamos efecto rebote son análisis de ingeniería o de tipo microeconómico que tienen en cuenta de manera inadecuada estas estructuras sociales y luego se sorprenden de que su diagnóstico y medidas no logren los objetivos que esperaban alcanzar.

### ¿Cuáles son las principales lecciones que extrae de sus diferentes trabajos sobre los impactos ambientales de la tecnología digital y los efectos de rebote?

**Fabrice FLIPO:** Hemos demostrado<sup>iii</sup> que muchos estudios, como los de GeSI, plantean soluciones técnicas o casos de uso que concluyen con maravillosas promesas de reducción del impacto ecológico y, por lo tanto, del uso potencialmente generalizado del teletrabajo o los automóviles autónomos.<sup>iv</sup> Pero no tienen en cuenta las estructuras de uso establecidas (hábitos, objetivos que suelen perseguir los actores, etc.). Al mismo tiempo, los estudios que tienen esto en cuenta han demostrado que sin un cambio en las normas, es probable que las promesas esperadas se materialicen solo parcialmente, únicamente para la calefacción y la iluminación. Sin estar del todo desinformados de esta debilidad, el GeSI condicionó sus promesas al establecimiento de un marco vinculante sobre emisiones de gases de efecto invernadero, como impuestos o permisos, “para evitar el efecto rebote”. El problema no sólo radica en que esta condición es irrealizable desde el punto de vista sociopolítico, sino también en que las soluciones propuestas por la GeSI se solapan, al menos en parte, con las que impulsan sus industrias miembros por razones que tienen el efecto contrario al deseado. Por lo tanto, el objetivo real del teletrabajo es reducir los costos laborales o aumentar la flexibilidad, y el del automóvil autónomo es hacer que los pasajeros pasen el mayor tiempo posible viendo “infoentretenimiento”. Las ambiciones ecológicas se ven limitadas por “soluciones” inadecuadas, una política gravemente defectuosa y, por lo tanto, no logran sus objetivos, mientras que los objetivos económicos o industriales sí se alcanzan. Y luego, quienes los promueven descargan su responsabilidad en la sociedad, como si la sociedad hubiera dado conscientemente la espalda a la ecología. Cualquier análisis que ignore este juego de simulación y se ciña a enfoques microsociológicos está condenada a no poder anticiparse a los hechos de manera informada. Cualquier análisis que ignore este juego de simulación y se ciña a enfoques microsociológicos inevitablemente fallará a la hora de anticipar desarrollos futuros. Se pasa por alto el punto crucial de que las soluciones que está tomando en serie constituyen un ecoblanqueo en el sentido más estricto del término: una acción ecológica que permanece invisible en un juego de simulación que, fundamentalmente, permanece sin cambios. ●●●

<sup>i</sup> Fabrice Flipo, *L'imperatif de la sobriété numérique*, L'enjeu des modes de vies, 2020

<sup>ii</sup> <http://www.fondationecolo.org/blog/Note-de-la-FEP-23-La-face-cachee-du-numerique> (última consulta: 12/05/2021)

<sup>iii</sup> Fabrice Flipo, François Deltour, Michelle Dobré, Marion Michot, *Peut-on croire aux TIC vertes ?*, 2012

<sup>iv</sup> Maxwell, D., Owen, P., McAndrew, L., Muehmel, K., Neubauer, A., *Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment*, 26 de abril de 2011



...

**Jacques COMBAZ:** En la mayoría de los casos, el efecto rebote no es una sorpresa, es voluntario. Si tomo el ejemplo de la Ley de Moore, para los procesadores el objetivo es colocar el doble de transistores en los procesadores nuevos en cada generación, no hacer que los procesadores sean más pequeños. Más aún, el consumidor realmente no tiene otra opción.

A medida que nos obligamos a cuantificar de manera absoluta, nos perdemos muchos mecanismos no cuantificables. Estos son mecanismos sociales profundos, por lo que en última instancia omitimos una gran parte de la historia. La cuantificación puede ser potencialmente interesante para las respuestas de los consumidores a muy corto plazo, porque basaremos nuestros cálculos en fenómenos que conocemos. Para las transformaciones profundas a nivel de la sociedad, esto no funciona en absoluto. En el contexto de la transición ecológica, creo que, en particular, no deberíamos estudiar el efecto rebote únicamente desde una perspectiva cuantitativa, porque resultaría engañoso.

La dificultad de la transición ecológica hoy en día no es tanto de eficiencia tecnológica, ya que es algo que sabemos hacer y que hacemos de todos modos. La dificultad está en el marco regulatorio, en el proyecto social que queremos tener,

el punto de llegada, ¿a dónde queremos ir?”. Tengo la impresión de que hoy todo esto se ve ensombrecido por debates técnicos.

## Conclusión

Hemos visto anteriormente que los efectos rebote pueden adoptar diversas formas y tener impactos ambientales muy tangibles. Para identificar los efectos rebote, es necesario incluirlos en las evaluaciones ambientales desde una perspectiva de comportamiento, incluyendo una evaluación de los hábitos, las limitaciones sociales y los objetivos perseguidos por los diversos actores del sistema en la medida de lo posible cada vez que se proponga una mejora en la eficiencia energética, el tiempo, el espacio o la tecnología.

También es crucial poner en perspectiva los impactos ambientales de las TIC en su conjunto y definir objetivos ambientales para respetar los Acuerdos de París y limitar la huella ambiental de las TIC a los límites planetarios ([véanse los resultados de nuestro ACV](#)).<sup>42</sup> Al formular estos objetivos es necesario incluir la medición de la eficacia para evaluar si las medidas de política están cumpliendo sus objetivos y planificar un reajuste a la luz de los acontecimientos futuros observados. Al igual que los efectos de rebote incluyen cambios y adaptaciones en el comportamiento de los usuarios para aumentar la eficiencia, las políticas marco futuras deberían considerar la estimulación de los efectos de “reducción”, es decir, lo contrario.

42 Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. and Lees Perasso, E. GreenIT.fr. 2021. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*



### Recomendaciones para un desarrollo digital compatible con el Acuerdo Verde

Los efectos de rebote (directos, indirectos y sistémicos) se contrarrestan garantizando que cada vez que se habilite una medida de eficiencia, vaya de la mano con medidas de frugalidad proporcionadas.

Para ello, la financiación pública de la innovación se somete a una evaluación obligatoria del ciclo de vida revisada por pares de los impactos medioambientales de la innovación, ya sea un producto o un servicio, con respecto a los escenarios de uso completos de la innovación. La financiación para la innovación del Pacto Verde Europeo está abierta a productos y servicios basados en innovaciones de modelos y de diseño ecológico servicios desde la fabricación hasta el final de la vida útil, incluido el recorrido del usuario. Esta financiación estimula la economía circular y la resiliencia económica de los Estados miembros y de la Unión Europea en su conjunto, estimula el empleo, como preveía la Organización Internacional del Trabajo\*.

El diseño ecológico de productos y servicios también contribuye a una mayor inclusión social y a reducir la brecha digital, con un viaje del usuario a menudo más fluido, como, por ejemplo, cuando los costosos servicios web o de aplicaciones se reemplazan por un simple SMS o un correo electrónico, que consumen mucho menos que un servicio web. Como el recorrido del usuario se centra en sus necesidades más importantes, está menos sujeto a los efectos de rebote y la infobesidad.

Al mismo tiempo, los consumidores se han vuelto más conscientes de que comprar equipos energéticamente eficientes en sí mismos no es suficiente, sino que es necesario lograr una reducción general de la dependencia de los recursos y la energía, con un objetivo dentro de los límites planetarios. Por ejemplo, comprar menos equipos TIC, y pantallas más pequeñas, mantener los dispositivos en uso durante más tiempo y repararlos.

La hiperconexión, cuyos límites se reconocen tanto en el trabajo como en la vida personal de la gente, especialmente en lo que respecta a los riesgos para la salud, ha contribuido a garantizar el derecho a la desconexión, a iniciativa de los Estados miembros. Tener en cuenta los efectos de rebote en las TIC también ha permitido formular preguntas éticas sobre la forma en que usamos y dependemos de la tecnología y los encierros sociotécnicos. Por último, la búsqueda de soluciones para limitar los efectos de rebote relacionados con las TIC el tiempo nos ayudó a mejorar nuestra resiliencia ante las crisis climáticas, económicas y sociales y nos animó a dar un paso atrás en un mundo que cambia rápidamente.

\* Organización Internacional del Trabajo-Ginebra: OIT, *Perspectivas Sociales y del Empleo en el Mundo: Sostenibilidad medioambiental con empleo*, 2018



# Materias primas en las TIC

## Índice

|                                                                                                                         |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Claves para comprender .....                                                                                            | pág. 78 |
| Resumen del estudio de caso .....                                                                                       | pág. 78 |
| Definiciones .....                                                                                                      | pág. 79 |
| Conceptos principales .....                                                                                             | pág. 79 |
| Impactos ambientales relacionados con la extracción de materias primas y refinado para producir componentes de TIC..... | pág. 81 |
| 1. Proceso de producción.....                                                                                           | pág. 81 |
| 2. Minerales, al margen de los impactos ambientales, generan impactos sociales y geopolíticos .....                     | pág. 82 |
| 3. Repercusiones medioambientales .....                                                                                 | pág. 82 |
| La opinión del experto .....                                                                                            | pág. 84 |
| Las implicaciones ambientales de la creciente escasez de metales y tierras raras: una trampa a evitar a toda costa..... | pág. 87 |
| Conclusión .....                                                                                                        | pág. 89 |
| Recomendaciones para una evolución digital compatible con el Acuerdo Verde .....                                        | pág. 89 |





# Claves para comprender

x10

Más demanda de tierras raras utilizadas para vehículos eléctricos, tecnologías digitales o generadores eólicos para 2050<sup>i</sup>

x3

Uso de la tierra para la minería de metales para 2060<sup>ii</sup>

x2

Entre 1980 y 2010, el uso de materias primas ha aumentado el doble de rápido que la tasa de crecimiento<sup>iii</sup>

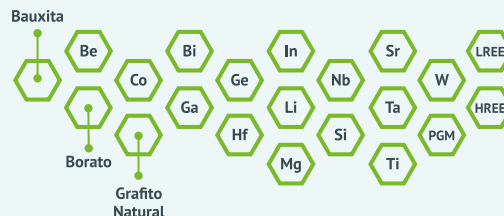
Los riesgos de escasez en todo el mundo afectarían a:



Riesgo principal de agotamiento de los recursos



Materias primas críticas con aplicaciones principales en equipos de TIC<sup>iii</sup>



Principales impactos ambientales de la producción de materias primas TIC



Toxicidad humana y ecotoxicidad



Consumo de agua



Emisiones de gases de efecto invernadero



Agotamiento de los recursos no renovables

i Para imanes permanentes: Disprosio, Neodimio, Praseodimio, Samario; Las tierras raras restantes son: Itrio, Lantano, Cerio, Prometeo, Europio, Gadolinio, Terbio, Holmio, Erblio, Tulio, Iterbio, Lutecio; Comisión Europea, *Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and the committee of the regions, Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability*, 2020.

ii OECD, *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers And Environmental Consequences*, 2019.

iii European Commission, *Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Final Report*, 2020.

## Resumen del estudio de caso

Por paradójico que parezca a primera vista, las mismas tecnologías verdes que están en la base de la transición energética y digital están causando grandes impactos ambientales, principalmente durante la fase de fabricación. Aunque el sector de las TIC representa solo una pequeña parte de la creciente demanda de metales raros y tierras raras, las TIC dependen en gran medida de estas materias primas no renovables. Una comunicación de la Comisión Europea en septiembre de 2020 subraya que “la demanda de tierras raras utilizadas en redes magnéticas permanentes, por ejemplo, para vehículos eléctricos, tecnologías digitales o generadores eólicos, podría multiplicarse por diez para 2050”.<sup>1</sup> El problema de la dependencia de los metales y las tierras raras es, por lo tanto, doble para la UE, y afecta tanto a su responsabilidad medioambiental como a su estrategia geopolítica. Este estudio de caso se propone explicar de qué metales y tierras raras

dependen las TIC y los impactos medioambientales de las materias primas utilizadas en los equipos de TIC y elaborar algunas recomendaciones para ayudar a la UE a ser más resiliente a la hora de hacer frente a posibles crisis de escasez futuras, reducir su dependencia y garantizar una transformación digital sostenible.

1 Comisión Europea, *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, Materias primas esenciales Resiliencia: Trazando un Camino hacia una mayor Seguridad y Sostenibilidad*, 2020



# Definiciones

## Conceptos principales

➤ **Materias primas utilizadas en las TIC:** El sistema de cadena de suministros más sofisticado de la historia de la humanidad es el que sirve para fabricar componentes de hardware<sup>2</sup>. Las materias primas utilizadas en las TIC no son renovables. Algunas de ellas, como el aluminio, el carbono y el hierro, están presentes en cantidades muy elevadas en la Tierra, pero para fabricar los componentes básicos de los dispositivos TIC, los metales raros y los elementos de tierras raras también son esenciales.

➤ **Metales escasos:** A diferencia de metales como el hierro, el cobre, el zinc, el aluminio y el plomo, los metales escasos abundan menos en la corteza terrestre. Por ejemplo, de promedio hay 2.650 veces menos galio que hierro en el suelo<sup>3</sup>. De más a menos abundantes, los metales escasos son: galio, berilio, germanio, mercurio, plata, indio, paladio, bismuto, platino, oro, osmio, rodio, iridio, rutenio, telurio, renio.

➤ **Elementos de tierras raras:** Se identifican como raras porque es inusual encontrarlas en grandes concentraciones en la corteza terrestre. Las tierras raras poseen propiedades muy similares. “En muy pocos casos, se encuentran juntos en depósitos. A diferencia de un elemento como el oro, los depósitos naturales de tierras raras nunca se producen como metales puros, sino que se unen en minerales de bajo valor, lo que dificulta la extracción.”<sup>4</sup> Son un conjunto de 17 metales pesados blandos, casi indistinguibles, lustrosos, de color blanco plateado: cerio, neodimio, lantano, itrio, escandio, praseodimio, samario, gadolinio, disprosio, erbio, iterbio, europio, holmio, terbio, lutecio, tulio, prometio.

➤ **Características de los metales escasos que los diferencian de otros metales:**

- En 2020 se produjeron aproximadamente 240.000 toneladas de tierras raras, mientras que en el mismo año se produjeron 2.228.000.000 toneladas de hierro (aprox. 9.300 veces más que las tierras raras).
- Los metales raros a menudo se pueden encontrar en los mismos lugares que los metales abundantes en la corteza terrestre, pero en porciones muy pequeñas (por ejemplo, hay 1.200 veces menos neodimio y hasta 2.650 veces menos galio que hierro)<sup>5</sup>.
- Tienen propiedades excepcionales, ideales para el rendimiento de los equipos informáticos modernos y los equipos de transición energética, la primera de las cuales es su capacidad magnética.

➤ **Metales no ferrosos:** La mayoría de los metales contenidos en un ordenador portátil son metales no ferrosos, como aluminio, cobre, estaño, níquel, oro, plata, litio, paladio o platino.

➤ **Cobre:** Utilizado en circuitos impresos, pero también en muchos componentes electrónicos por su excelente conductividad eléctrica y muy buena conductividad térmica.

➤ **Cobalto:** Un componente principal de las baterías de iones de litio o polímero de iones de litio. Las baterías de cobalto de iones de litio son actualmente las de mayor capacidad para almacenar energía por unidad de masa. Un informe del CCI publicado en 2018 predice que “*en condiciones medias, la demanda superará la oferta en 64.000 toneladas en 2030.*” Incluso siendo posible la sustitución del cobalto por otros metales (como el níquel), el mismo informe afirma que “*la sustitución no será suficiente para resolver el desequilibrio a medio y largo plazo.*”<sup>6</sup>

2 <https://www.engineering.com/story/what-raw-materials-are-used-to-make-hardware-in-computing-devices> (última consulta: 14/06/2021)

3 Guillaume Pitron (trad. Bianca Jacobsohn), *The rare metals war: the dark side of clean energy and digital technologies*, 2021, capítulo 1

4 <https://idealmagnetsolutions.com/knowledge-base/extract-rare-earth-elements-from-acid-mine-drainage/> (última consulta: 03/06/2021)

5 Guillaume Pitron (trad. Bianca Jacobsohn), *The rare metals war: the dark side of clean energy and digital technologies*, 2021, capítulo

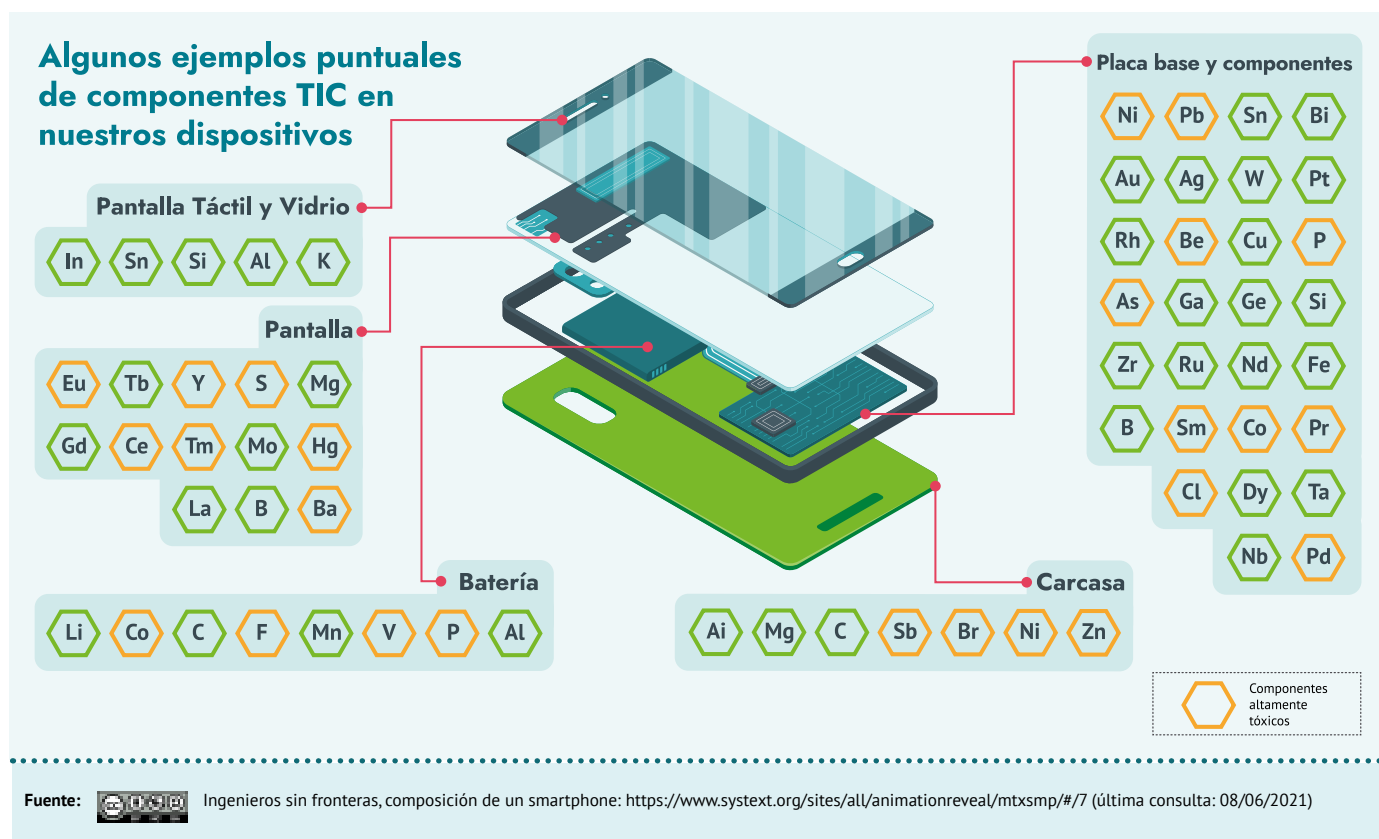
6 Informe CCI, *Cobalt, demand-supply balances in the transition to electric mobility*, 2018



➤ **Níquel:** El níquel se utiliza principalmente para baterías de vehículos eléctricos, pero también se puede encontrar en muchas otras baterías de hidruro metálico de níquel (NiMH), como terminales de pago, electrónica de aeronaves, controles de acceso y una gran cantidad de equipos digitales. El níquel es también uno de los principales elementos de aleación en el acero inoxidable. El CCI prevé que “la demanda mundial de níquel aumentará en 2,6 Mt hasta 2040, frente a solo 92 kt en 2020” solo para la electrificación automotriz, lo que significa que la demanda global se multiplicaría por 28 en 20 años. Dentro de la UE27, el mismo informe pronostica que “la demanda de níquel del sector automotriz aumentará en 543 kt de 17 kt en 2020”, lo que significa que la demanda de la UE-27 se multiplicaría por 32 en 20 años.<sup>7</sup>

➤ **Oro:** Se utiliza en contactos eléctricos y como capa anticorrosión y antioxidante en circuitos impresos gracias a su estabilidad y buena conductividad eléctrica y térmica.

➤ **Litio:** En 2020, el uso predominante del litio fue la producción de baterías de iones de litio tanto para vehículos eléctricos (VE) como para dispositivos electrónicos portátiles (teléfonos inteligentes, tabletas, ordenadores portátiles, objetos conectados, etc.), que representó el 65 por ciento de su uso en 2019.<sup>8</sup>



7 Fraser, Jake; Anderson, Jack; Lazuen, Jose; Lu, Ying; Heathman, Oliver; Brewster, Neal; Bedder, Jack; Masson, Oliver, *Study on future demand and supply security of nickel for electric vehicle batteries*, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2021

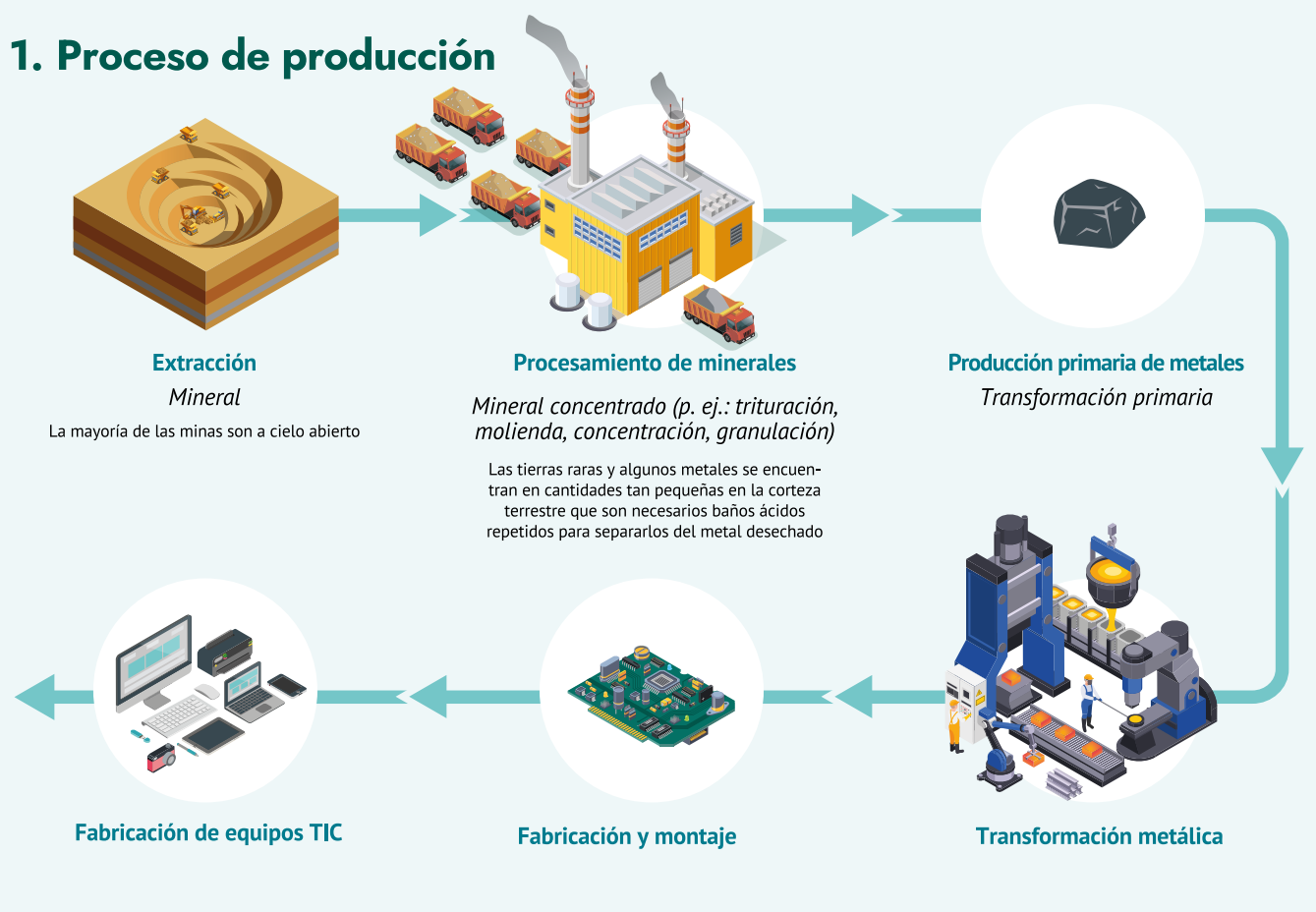
8 U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, enero 2020



# Impactos ambientales relacionados con la extracción de materias primas y el refinado para producir componentes para las TIC

El equipo para almacenar, transmitir y procesar datos se denomina comúnmente hardware. En la actualidad, las TIC se basan cada vez más en una multitud de dispositivos de hardware más y más complejos y diversos. Para comprender los impactos ambientales de la extracción y refinado de las materias primas empleadas en las TIC, es necesario recordar que las materias primas utilizadas no son renovables y, en consecuencia, su disponibilidad depende de las existencias y de la demanda. También es importante tener en cuenta el proceso de producción de extracción y refinado de metales, que está lejos de ser neutral desde el punto de vista medioambiental.

## 1. Proceso de producción





## 2. Los minerales, además de los impactos ambientales, generan impactos sociales y geopolíticos

En muchos casos, la extracción de minerales se realiza sin la protección adecuada de los trabajadores. Es el caso del cobalto en la República Democrática del Congo, donde unos 200.000 trabajadores excavan sin ningún tipo de protección y padecen enfermedades pulmonares y cutáneas.<sup>9</sup>

Además, los niños también trabajan en las minas, situación que denuncian regularmente las ONG de derechos humanos. En diciembre de 2019, la asociación International Rights Advocates (IRA) anunció la presentación de una denuncia contra varias empresas transnacionales como Alphabet (matriz de Google), Apple, Dell, Microsoft y Tesla, acusadas de complicidad en la muerte de catorce niños en las minas de cobalto congoleñas.<sup>10</sup>

Metales como el estaño, el tungsteno, el tantalio y el oro son a menudo el resultado de conflictos, corrupción, explotación ilegal y trabajo infantil.<sup>11</sup> En un informe publicado en 2016, el grupo de expertos de la ONU sobre el Congo declara que el oro “proporciona el beneficio financiero más significativo a los grupos armados”<sup>12</sup> y afirma que en 2010, “en las provincias de Kivu en el Congo, casi todos los yacimientos mineros [estaban] controlados por un grupo militar”.<sup>13</sup> Así lo ilustra el documental danés “Blood in the Mobile”, producido en 2010 por Franck Piasecki Poulsen.<sup>14</sup>

## 3. Repercusiones medioambientales

La extracción y el refinado de metales y tierras raras para producir los componentes utilizados en las TIC está contribuyendo a graves daños ambientales. En 2016, la minería industrial y el procesamiento de minerales ocuparon el segundo lugar en la lista de los peores problemas de contaminación del mundo, justo después del reciclaje de baterías de plomo-ácido y antes de la fundición de plomo.<sup>15</sup> El alcance de las amenazas de la minería a la biodiversidad aún está poco documentado: de hecho, la mayor parte de la literatura se centra en los impactos directos e in situ de las actividades de extracción de minerales<sup>16</sup>, mientras que los impactos sobre la biodiversidad y a escala regional<sup>17</sup>, o incluso a global,<sup>18</sup> están apenas documentados.

*“Hoy, los datos muestran un inminente desajuste entre las fortalecidas ambiciones climáticas del mundo y la disponibilidad de minerales críticos que son esenciales para hacer realidad esas ambiciones.”*

**Dr. Fatih Birol**

Director Ejecutivo de la AIE

### a. Toxicidad humana

El primero de estos impactos es la toxicidad y, más específicamente, la toxicidad humana.<sup>19</sup> De hecho, las personas que trabajan en la extracción y refinado de minerales están expuestas directamente a los polvos

9 <https://www.monde-diplomatique.fr/2020/07/BELKAID/61982>

10 <http://www.iradvocates.org/press-release/iradvocates-files-forced-child-labor-case-against-tech-giants-apple-alphabet-dell>

11 <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N16/127/52/PDF/N1612752.pdf?OpenElement>

12 Consejo de Seguridad de la ONU, “Informe final del Grupo de Expertos, (2016);” S/2016/466, p. 2, 23 de mayo de 2016, disponible en [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=S/2016/466](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/2016/466)

13 Consejo de Seguridad de la ONU, “Interim report of the Group of Experts on the DRC,” S/2010/252, par. 77, p.17, 24 de mayo de 2010, disponible en <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N10/375/94/PDF/N1037594.pdf?OpenElement>

14 <https://www.youtube.com/watch?v=Iv-hE4YxOLU> “Blood in the Mobile” es un documental de 2010 del director de cine danés Frank Piasecki Poulsen. La película aborda el tema de los minerales de conflicto examinando la extracción ilegal de casiterita en la provincia de Kivu del Norte, en el este de la República Democrática del Congo. En particular, se centra en la mina de casiterita de Bisie.

15 Green Cross & Pure Earth Blacksmith Institute, *World's Worst Pollution Problems*, 2016

16 Pérdida de hábitat y rehabilitación, véase figura 1 en: Laura J. Sonter, Saleem H. Aliand James E. M. Watson, *Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science*, 2018

17 Compensación de la biodiversidad, vertido de residuos y contaminación, fragmentación del hábitat, véase figura 1 en: Laura J. Sonter, Saleem H. Aliand James E. M. Watson, *Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science*, 2018

18 Cambio climático, especies invasoras, véase figura 1 en: Laura J. Sonter, Saleem H. Aliand James E. M. Watson, *Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science*, 2018

19 Véanse los resultados de nuestro estudio de ACV: impactos de las TIC en la toxicidad humana.



metálicos que respiran e ingieren diariamente en concentraciones muy altas. Sin embargo, no solo aquellos que trabajan directamente con los minerales en la industria minera se ven afectados: toda la población en kilómetros alrededor de una mina está expuesta a un mayor riesgo de mortalidad por cáncer. Así lo demuestra un estudio publicado en 2012 y realizado en Europa, donde las industrias mineras están reguladas por la Directiva Integrada de Prevención y Control de la Contaminación y el Reglamento Europeo de Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes.<sup>20</sup> En el caso de las tierras raras, estos elementos tienen la particularidad de encontrarse en la corteza terrestre asociados a minerales radiactivos (torio y uranio), lo que los hace aún más peligrosos de tratar. La exposición a los desechos radiactivos puede provocar pérdida de dientes, problemas respiratorios, cáncer e incluso la muerte. En muchas zonas mineras, el número de casos de cáncer y la tasa de mortalidad se han disparado.<sup>21,22</sup>

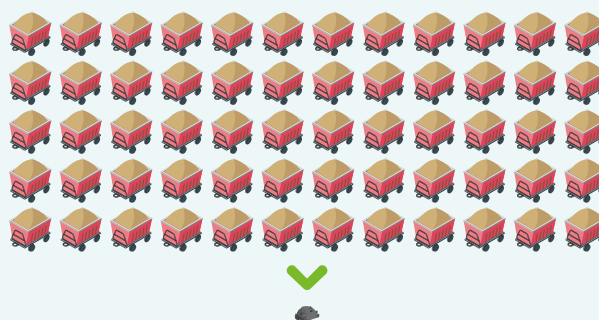
## b. Contaminación del aire, el suelo y los ríos

La mayoría de las minas utilizan la excavación superficial<sup>23</sup>, que tiene la consecuencia de dejar las partículas metálicas al aire libre, arrastradas por el viento y la lluvia, dependiendo de la hidrología regional.<sup>24</sup> Por lo tanto, los metales pueden dispersarse tanto localmente como a largas distancias, exacerbando la contaminación en las ciudades y el riesgo de mortalidad de las poblaciones, y también teniendo impactos significativos en la contaminación de las vías fluviales y los cultivos cercanos a las minas,<sup>25,26</sup> con mayores peligros en el refinado.

El problema del mineral metálico es más complejo que el de la extracción de piedra, arena o grava, porque para ser utilizados, estos metales requieren un procesamiento con reactivos químicos. Consecuentemente, la minería de metales puede producir una contaminación mucho más severa que la extracción de materiales de construcción, liberando mercurio, arsénico o cianuro.<sup>27</sup>

El término “mochila ecológica” se usa a veces en la literatura para describir el volumen de desechos que se extrae de la tierra para segregar las pequeñas cantidades de material valioso presentes en ella. La cantidad de desechos depende del mineral extraído, pero para los metales, los desechos exceden en gran medida la producción neta. Por ejemplo, por 1 tonelada de cobre se generan 450 toneladas de residuos, por níquel 597 toneladas y por oro 1.069.000 toneladas.<sup>28</sup> En muchos casos, no hay mercado para estos residuos. Si bien el volumen de residuos es uno de los problemas que enfrentan las autoridades públicas, los productores y los residentes, otro problema es que las corrientes de residuos a menudo son químicamente reactivas: la contaminación química se produce porque los reactivos se liberan al medio ambiente durante el procesamiento o por oxidación como resultado de la exposición al aire. El proceso de lixiviación, que consiste en convertir metales valiosos en sales solubles mientras las impurezas permanecen insolubles, se utiliza a menudo para las tierras raras<sup>29</sup> o metales como el oro porque requiere menos energía y no causa contaminación gaseosa; sin embargo, tiene inconvenientes significativos, como la producción de grandes cantidades de efluentes de desechos tóxicos altamente ácidos o alcalinos.<sup>30</sup>

### 597 toneladas de residuos generados por tonelada de níquel



20 Pablo Fernandez-Navarro, et al., *Proximity to mining industry and cancer mortality*, 2012

21 <https://www.malaysianow.com/opinion/2020/12/08/the-toxic-risks-of-mining-rare-earths/> (última consulta: 03/06/2021)

22 Guillaume Pitron (trad. Rosa Alapont), *La guerra de los metales raros: La cara oculta de la transición energética y digital*, 2021, capítulo 1

23 <https://pubs.usgs.gov/circ/2007/1294/paper1.html#table2> (última consulta: 04/06/2021)

24 Laura J. Sonter, Saleem H. Aliand James E. M. Watson, *Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science*, 2018

25 Albert K. Mensah, Ishmail O. Mahiri, Obed Owusu, Okoree D. Mireku, Ishmael Wireko, Evans A. Kissi, *Environmental Impacts of Mining: A Study of Mining Communities in Ghana*, 2015

26 Guillaume Pitron (trad. Bianca Jacobsohn), *The rare metals war: the dark side of clean energy and digital technologies*, 2021, capítulo 1

27 Bridge G., *Contested terrain: mining and the environment*, 2004

28 Íbid.

29 Peelman, S., Kooijman, D., Sietsma, J. et al., *Hydrometallurgical Recovery of Rare Earth Elements from Mine Tailings and WEEE. J. Sustain. Metall.* 4, 367–377 (2018)

30 X. Jin Yang, Aijun Lin, Xiao-Liang Li, Yiding Wu, Wenbin Zhou, Zhanheng Chen, *China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation*, 2013

## La opinión del experto



**Guillaume Pitron es periodista (*Le Monde Diplomatique*, *National Geographic*, etc.), y documentalista. En 2018, publicó su primer libro, *La Guerra de los Metales Raros: El Lado Oscuro de la Transición Energética y la Digitalización*<sup>i</sup>**

**y en septiembre de 2021 otro sobre contaminación digital. Centra su trabajo en las materias primas y en los problemas económicos, políticos y ambientales relacionados con su uso. Es autor de alrededor de 100 informes, investigaciones y documentales en más de 40 países y ha sido galardonado con 14 premios de periodismo franceses e internacionales. Recibió el Premio Izraelezewicz al mejor reportaje de investigación del año, otorgado por el diario líder *Le Monde*, y el premio BMTV 2018 al Libro Económico del Año por *La Guerra de los Metales Raros*.**



Los metales se utilizan en una gran variedad de industrias: aeronáutica, inmobiliaria, automotriz y, por supuesto, digital. Hoy en día, se utilizan más materiales nuevos que son mezclas de metales.

Debido a que se utilizan en forma de aleaciones, estos nuevos materiales mejoran las propiedades y permiten nuevos tipos de uso.

La tecnología digital no es una excepción a este consumo de metales. Para citar algunas cifras precisas recientes: el 12,5 por ciento de la producción mundial de cobre se utiliza específicamente para las TIC, el 7 por ciento de la de aluminio, el 15 por ciento de la de paladio, el 23 por ciento de la de plata, el 63 por ciento de la de disprosio, el 70 por ciento de la de galio y el 87 por ciento de la de germanio, todos utilizados específicamente para los diferentes usos de las TIC: pantallas, imanes, iluminación, condensadores, etc.

Para un metal específico, el cobalto, que se utiliza en las TIC y para las baterías de los vehículos eléctricos, la producción podría ser insuficiente en el futuro en relación con la demanda debido a la falta de recursos geológicos suficientes.

Para otros metales, no existe un problema de escasez geológica claramente identificado. Para los metales considerados críticos, es más bien un riesgo de escasez de suministro porque la producción mundial se concentra en ciertos países. Dado que la producción se concentra en manos de unos pocos actores estatales, el fracaso de una de estas naciones podría dar lugar a una escasez de suministro. Es un riesgo industrial y geopolítico. Es el caso de las tierras raras, litio, antimonio, tantalio, etc.<sup>ii</sup>

Uno de los problemas de las TIC son sus efectos rebote<sup>iii</sup>: su tecnología no está hecha para que la gente consuma menos; está hecha para que la gente consuma más. La ganancia de energía y la ganancia de material para una unidad de una tecnología pueden ser bastante claras, pero debido a que esta tecnología permite ahorros de energía y ahorros de materiales, tendemos a consumir más de ella. Aplicado al sector de los metales, esto significa que consumiremos más metales en el futuro en lugar de menos.

A pesar del progreso tecnológico, es de temer que nuestros nuevos usos y nuestro creciente consumo no se puedan compensar. Esto se aplica a los metales utilizados en las TIC, que son los mismos que los de las tecnologías verdes, cuya demanda se va a disparar y multiplicar entre 10 y 40 veces en los próximos 20 a 30 años.

Los responsables políticos están empezando a abordar estos temas, como lo demuestra el índice de reparabilidad de las herramientas eléctricas y los electrodomésticos que ahora son obligatorios en Francia. Una de las mejores formas de actuar es a través de la economía circular.

Tenemos todos los medios para actuar. Somos responsables de la contaminación vinculada a la tecnología digital. Ceder a nuestra dependencia de GAFAM es demasiado fácil; todos debemos asumir nuestras responsabilidades.

<sup>i</sup> Guillaume Pitron, (trad. Rosa Alapont) *La guerra de los metales raros: La cara oculta de la transición energética y digital*, 2021

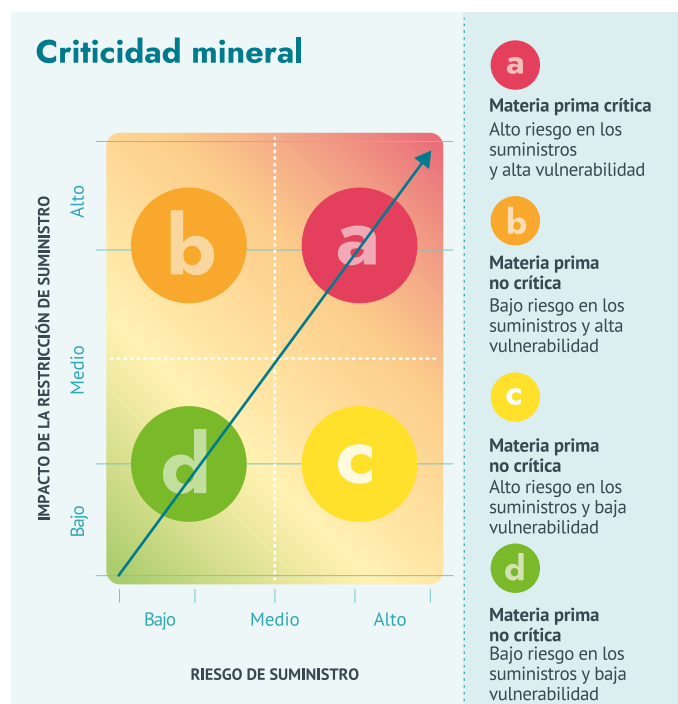
<sup>ii</sup> Véase la lista de los 30 metales críticos establecida por la Comisión Europea: Comisión Europea, Estudio sobre la lista de Materias Primas Críticas de la UE, Informe Final, 2020

<sup>iii</sup> Véase nuestro estudio de caso sobre los efectos de rebote debidos a las TIC.

<sup>iv</sup> <https://www.vie-publique.fr/loi/268681-loi-lutte-contre-le-gaspillage-et-economie-circulaire> (última consulta: 05/07/2021).



En Ghana, anteriormente conocida como Costa de Oro, la extracción de oro, bauxita y manganeso, que se utilizan para componentes de las TIC, “provoca impactos ambientales adversos en ríos y arroyos a través de la liberación de efluentes como mercurio, arsénico y partículas en suspensión.”<sup>31</sup> Se ha descubierto que las descargas de mercurio en las masas de agua también conducen a la desoxigenación y la muerte de los organismos acuáticos y su hábitat, disminuyendo finalmente su población (el mercurio se usa para refinar la amalgama de oro).<sup>32</sup> La minería también afecta a los ecosistemas y conduce a una pérdida de vegetación, que a menudo resulta en deforestación masiva, pérdida de fertilidad y productividad de la tierra y erosión masiva. En China, que es el mayor productor mundial de 28 recursos minerales, alrededor del 80 por ciento del agua de los pozos subterráneos no es apta para el consumo y el 10 por ciento de su tierra cultivable está contaminada con metales pesados,<sup>33</sup> lo que equivale a la superficie de un país del tamaño de Grecia.<sup>34,35</sup>



## c. Estrés hídrico<sup>36</sup>

Uno de los efectos más significativos de la producción de metales para las TIC es el estrés hídrico. Esto se debe a que la minería utiliza grandes cantidades de agua, principalmente para el procesamiento de minerales, la supresión de polvo, el transporte de lodos y las necesidades de los empleados. Por ejemplo, se utilizan alrededor de 84.210 litros de agua para obtener 1 tonelada de cobre.<sup>37</sup> En la mayoría de las operaciones mineras, el agua proviene de aguas subterráneas, arroyos, ríos y lagos o a través de proveedores comerciales de servicios de agua. Sin embargo, las minas a menudo se encuentran en zonas donde el agua ya es escasa, lo que exacerba el estrés hídrico en las mismas.<sup>38</sup> Pero la adquisición de agua no es el único problema: principalmente en el caso de la minería subterránea, el agua debe bombearse fuera del ámbito de la mina. Esto puede conducir a un agotamiento de las aguas superficiales, así como a la contaminación de los ríos locales. Debido a la falta de datos publicados sobre el agua por parte de las empresas, sigue siendo difícil encontrar información fiable para tener una idea completa del consumo de agua de las empresas mineras. Sin embargo, los datos de agua de los informes de sostenibilidad de la empresa muestran que las extracciones varían ampliamente según el metal extraído y la calidad del mineral.<sup>39</sup>

El drenaje ácido de la mina afecta a los recursos hídricos circundantes, ya que los minerales de sulfuro en la roca residual reaccionan con el agua y el oxígeno en el entorno de la superficie, lo que lleva a la creación de ácido sulfúrico, que a su vez conduce a la disolución de sales y metales pesados, que son tóxicos para los ecosistemas acuáticos. Como la producción futura provendrá de minerales de peor calidad, el consumo de agua por unidad de metal producido será un desafío, al igual que las emisiones de GEI, los desechos sólidos y otros contaminantes.

31 Albert K. Mensah, Ishmail O. Mahiri, Obed Owusu, Okoree D. Mireku, Ishmael Wireko, Evans A. Kissi, *Environmental Impacts of Mining: A Study of Mining Communities in Ghana*, 2015

32 *Ibid*,

33 Guillaume Pitron, (trad. Rosa Alapont) *La guerra de los metales raros: La cara oculta de la transición energética y digital*, 2021. Capítulo 1

34 Estimación basada en la tierra cultivable de China (en hectáreas) / 10. Datos de tierras cultivables de China: <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LNDARBL.HA?en-d=2018&locations=CN&start=1961&view=chart> (última consulta: 03/06/2021)

35 <https://www.bbc.com/future/article/20150402-the-worst-place-on-earth> (última consulta: 04/06/2021)

36 Stephanie Yang, La Escasez De Chips Es Mala. *La sequía de Taiwán Amenaza con Empeorarla*, The Wall Street Journal, 16 de abril de 2021, (última consulta: 03/06/2021)

37 <https://www.csiro.au/en/work-with-us/industries/mining-resources/Processing/Water-footprint> (última consulta: 15/06/2021)

38 <https://www.mining-technology.com/features/feature-managing-water-consumption-mining-global-shortage/> (última consulta: 15/06/2021)

39 Michael Tost, Benjamin Bayer, Michael Hitch, Stephan Lutter, Peter Moser, and Susanne Feiel, *Metal Mining's Environmental Pressures: A Review and Updated Estimates on CO2 Emissions, Water Use, and Land Requirements*, 2018



#### d. Emisiones de gases de efecto invernadero

La minería, el procesamiento y el transporte también son importantes emisores de gases de efecto invernadero: desde la excavación de minerales hasta el transporte y el procesamiento, se requieren grandes cantidades de energía incorporada<sup>40</sup> (combustible y electricidad) para producir metales suficientemente puros para usos de alta tecnología. Cuando los minerales de carbonato se descomponen, también se libera dióxido de carbono. En general, **las estimaciones muestran que las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción primaria de minerales y metales fueron equivalentes a aproximadamente el 10 por ciento del total de las emisiones globales de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía en 2018.**<sup>41</sup> Además, cuanto más escasos son los recursos, más energía se requiere para excavarlos. Un ejemplo de esto es la minería del cobre en Chile: de 2001 a 2017, el consumo de combustible aumentó en un 130 por ciento y el consumo de electricidad en un 32 por ciento por unidad de cobre extraído, en gran parte debido a la disminución de la calidad del mineral.<sup>42</sup> Como se espera que la demanda de metales se dispare en los próximos años, se confirma esta tendencia de aumento de la demanda energética para producir la misma cantidad de ciertos metales, al igual que se espera que las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la extracción, el procesamiento y el transporte aumenten drásticamente en lugar de disminuir.<sup>43</sup>

#### e. Agotamiento de los recursos<sup>44</sup>

El agotamiento de los recursos es un consumo de recursos naturales más rápido de lo que se pueden reemplazar. El agotamiento de los recursos naturales se puede dividir entre el agotamiento de los recursos renovables y el agotamiento de los recursos no renovables. Los recursos utilizados para fabricar equipos de TIC son limitados por naturaleza, ya que no son renovables. Una pregunta frecuente sobre los metales utilizados para tecnologías como las TIC es: “¿Tendremos suficientes metales para seguir produciendo equipos?”.

Sin embargo, la respuesta es más sutil que un “sí” o un “no”, y depende de varios factores, como la disponibilidad geológica, la disponibilidad de metales suficientemente puros para la alta tecnología, las fluctuaciones de la demanda de metales en el mercado, la lógica del sistema de suministro “justo a tiempo”, las estrategias geopolíticas y las consideraciones medioambientales.

*“Para un metal específico que es el cobalto, utilizado en las TIC y para las baterías de los vehículos eléctricos, la producción será insuficiente en el futuro en relación con la demanda debido a la falta de recursos geológicos suficientes. Para otros metales, no existe un problema de escasez geológica claramente identificado. Es un riesgo industrial y geopolítico.”*

**Guillaume Pitron**

Desde una perspectiva geológica, los metales utilizados para las TIC son numerosos y están distribuidos de manera desigual en la corteza terrestre, con China como primer productor mundial, suministrando el 66 por ciento de las materias primas críticas de la lista 2020 de la Comisión Europea.<sup>45</sup> Según un informe reciente de la OCDE, se espera que el uso mundial de minerales metálicos crezca de 9 Gt en 2017 a 20 Gt en 2060 en ausencia de nuevas políticas, en un escenario de continuidad.<sup>46</sup>

A medida que nuestras economías dependen cada vez más de ellos para sus tecnologías, extraerlos para satisfacer la demanda representa un desafío creciente. Un estudio muy completo que debate la sostenibilidad de la minería en Australia subraya la fuerte evidencia de que para la mayoría de la materia prima, los minerales de calidad media han disminuido con el tiempo. El estudio concluye que para las materias primas presentes en Australia, la extracción de algunas podría mantenerse durante “algunas décadas”, mientras que para el oro, el zinc y el plomo, “los recursos econó-

40 La energía incorporada es la suma de toda la energía requerida para producir cualquier bien o servicio, considerando esa energía como parte del producto mismo “Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Embodied\\_energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Embodied_energy) (última consulta: 08/06/2021)

41 Azadi, M., Northey, S.A., Ali, S.H. et al., *Transparency on greenhouse gas emissions from mining to enable climate change mitigation*. Nat. Geosci. 13, 100–104 (2020)

42 Ibid.

43 OCDE, *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers And Environmental Consequences*, 2019

44 <https://www.greenit.fr/2021/03/30/nickel-des-tensions-des-2027/> (última consulta: 07/06/2021)

45 European Commission, *Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Final Report*, 2020

46 OCDE, *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers And Environmental Consequences*, 2019



## Las implicaciones ambientales de la creciente escasez de metales y tierras raras: una trampa que debe evitarse a toda costa

### “¿Podemos sustituir un metal crítico por un metal no crítico?”

Actualmente se están realizando muchas investigaciones para encontrar sustitutos de los metales más críticos en los equipos de TIC. Sin embargo, en muchos casos, los sustitutos son aleaciones compuestas por otros metales críticos. Este es el caso del antimonio, por ejemplo, que durante la última década ha sido considerado sistemáticamente una materia prima crítica tanto por la UE como por Estados Unidos. Se estima que las reservas mundiales actuales de antimonio cubren aproximadamente 12 años del consumo anual mundial de 2019. Hoy en día, el antimonio se sigue utilizando en las TIC para pantallas de televisión y en semiconductores, y tiene muchas otras aplicaciones fuera de las TIC, desde retardantes de llama (uso principal) hasta productos farmacéuticos. Sin embargo, se han desarrollado muchos sustitutos del antimonio, la mayoría de los cuales se consideran menos efectivos<sup>i</sup> y la mayoría basados en otros metales raros que también pueden ser críticos, como el titanio (crítico), el cromo y el estaño (ambos casi críticos).<sup>ii</sup> Por lo tanto, los sustitutos abren la puerta a otras cuestiones, como la forma de garantizar que las aleaciones cada vez más complejas no obstaculicen el reciclaje futuro de los metales utilizados. La sustitución puede proporcionar una solución parcial, pero no evitará la amenaza de la escasez, es imposible para la mayoría de los metales, no resolverá los problemas de contaminación relacionados con la producción de componentes y puede causar dificultades adicionales para la valoración de componentes en los residuos electrónicos. De hecho, la mayoría de los metales críticos siguen siendo extremadamente difíciles de reciclar (véase la figura a continuación), y a medida que se utilizan aleaciones más complejas, más limitadas serán las posibilidades de reciclaje.<sup>iii</sup>

### “¿Qué pasa con la apertura de nuevas minas en la UE?”

Desde una perspectiva ambiental, la apertura de nuevas minas está asociada con todos los impactos ambientales descritos anteriormente. Incluso con regulaciones estrictas y medidas de mitigación, los proyectos mineros tienen importantes impactos ambientales en la biodiversidad local y regional e impactos globales en las emisiones de GEI, así como impactos tóxicos en la salud humana. Las nuevas minas, incluso si están reguladas de manera más estricta para limitar sus impactos ambientales, nunca serán sostenibles, porque los recursos minerales son “finitos”; tampoco serán una solución a largo plazo para la dependencia de la UE de las TIC ni tampoco, en última instancia, para las importaciones procedentes de China. Desde una perspectiva económica, por ejemplo en el caso de las tierras raras<sup>iv</sup>, el dominio de China permite al país nutrir a los productores regionales de África y Asia con una rentabilidad moderada, por lo que se evita que los productores externos suban en la cadena de valor de producción de metales<sup>v</sup>. En ausencia de cualquier producción de metales fuera de China, los productores de tierras raras no pueden ser más que proveedores de bajo valor para la industria manufacturera china, alimentando el monopolio de este país, como indican los analistas de mercado.<sup>vi</sup>

### Contribución del reciclado a la satisfacción de la demanda de materiales (Tasa de aportación de reciclado)\*

| Tasa de Entrada de Reciclaje* | Materiales                                                                                                                                           |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0%                            | Niobio, Indio, Litio, Tantalio, Bauxita, Berilio, Bismuto, Carbón de Coque, Disprosio, Galio, Hafnio, Fósforo, Escandio, Silicio metálico, Estroncio |
| 1-5%                          | Neodimio, Fluorita, Barita, Cerio, Erbio, Gadolinio, Holmio, Tulmio, Lutecio, Iterbio, Caucho, Samario, Borato, Germanio, Vanadio, Grafito natural   |
| 6-10%                         | Terbio, Praseodimio                                                                                                                                  |
| 11-20%                        | Rutenio, Magnesio, Iridio, roca fosfórica, Titanio                                                                                                   |
| 21-30%                        | Cobalto, Platino, Antimonio, Paladio, Rodio                                                                                                          |
| 31-45%                        | Itrio, Europio, Wolframio                                                                                                                            |

\*La Tasa de Entrada de Reciclaje (TER) es el porcentaje de la demanda total que se puede satisfacer a través de materias primas secundarias. Fuente: Comisión Europea, Estudio sobre la lista de Materias Primas Críticas de la UE, Informe Final, 2020.

i CRM\_InnoNet, *Critical Raw Materials Substitution Profiles*, 2015

ii Servicio Geológico de los Estados Unidos, Resúmenes de Materias Primas Minerales, Enero de 2018; *Estudio sobre la lista de Materias Primas Críticas de la UE*, Informe Final, 2020

iii Xiuyan Li, K. Lu, *Improving sustainability with simpler alloys*, 2019

iv En el caso de las tierras raras que se utilizan en dispositivos TIC, por ejemplo, para imanes muy potentes y de tamaño reducido y para establecer las diferentes escalas de colores en la pantalla, la mayor parte de la extracción y el refinado de la minería se realiza actualmente en China.

v Stuart Burns, *Rare earths are the next geopolitical chess game*, MetalMiner, February 2021

vi Resource World, *Rare Earths sector a challenge: can anyone stand up to the Chinese?*, 2020



micos actuales durarán aproximadamente tres décadas o menos” en el momento del estudio.<sup>47</sup>

El departamento del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) publica un estudio anual<sup>48</sup> que monitorea lo más cuidadosamente posible la cantidad producida cada año, mineral por mineral, así como las reservas estimadas para cada mineral y los recursos globales estimados. La cantidad de mineral producido corresponde a la cantidad extraída y procesada (minería), las reservas estimadas corresponden a los recursos minerales accesibles en los proyectos mineros actuales y los recursos globales tienen en cuenta los recursos globales de la tierra, tanto en la tierra como en el océano. Para muchos metales, las estimaciones de los recursos y reservas mundiales son parciales, lo que dificulta evaluar con precisión en qué medida se están agotando los recursos, aunque está claro, dado que se trata de recursos no renovables, que existe un fenómeno de agotamiento y que este fenómeno es suficientemente importante como para abordar el problema.<sup>49</sup> **Es importante comprender que la gran mayoría de los recursos globales teóricos de metales escasos a menudo están presentes en concentraciones extremadamente pequeñas en la corteza terrestre, lo que significa que solo una pequeña porción de esos minerales es económica, energética y tecnológicamente factible de explotar. Esto se conoce como barrera mineralógica.<sup>50</sup> Al ritmo actual de producción, las reservas rentables de unos quince metales básicos y metales raros se agotarán en menos de 50 años.<sup>51</sup>**

Los metales en cuestión son antimonio, estaño, plomo, oro, zinc, estroncio, plata, níquel, tungsteno, bismuto, cobre, boro, fluorita, manganeso y selenio.<sup>52</sup> A medida que la tecnología evoluciona, la barrera mineralógica puede variar a pequeña escala,<sup>53</sup> pero con tremendos efectos adversos con respecto a los impactos ambientales locales, regionales y globales, ya que la minería requerirá más energía y operaciones cada vez más profundas y más amplias. Finalmente, se espera que el

coste económico del reciclaje de desechos electrónicos se vuelva cada vez más competitivo en comparación con el coste económico de la minería de metales<sup>54</sup> que son los más demandados (véase nuestro estudio de caso sobre residuos electrónicos y economía circular).

Incluso si no están directamente relacionados con el agotamiento de los recursos, se espera que la escasez a corto plazo y los precios altamente volátiles se den cada vez más a medida que la demanda crezca más rápido que los suministros, lo que proporciona una primera idea de nuestra dependencia actual y creciente de los metales. Este ha sido el caso desde principios de 2021 con la escasez de semiconductores. Esta escasez está afectando a la producción de vehículos a gran escala, debido a un crecimiento significativo en el mercado de ordenadores personales durante la crisis de la Covid-19 de 2020, el creciente interés concomitante en los automóviles eléctricos (alta demanda de circuitos integrados) y la escasez resultante de materias primas para placas de circuito impreso.<sup>55</sup>

47 Mudd, G M, *The Sustainability of Mining in Australia: Key production trends and Environmental Implications*, Informe de Investigación N° RR5, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Monash e Instituto de Política Mineral, 2009

48 <https://www.usgs.gov/centers/nmrc/mineral-commodity-summaries> (última consulta: 14/06/2021)

49 Van der Voet, E.; Salminen, R.; Eckelman, M.; Mudd, G.; Norgate, T.; Hirschier, R for the UNEP, *Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel*, 2013

50 <https://laboutique.edpsciences.fr/produit/397/9782759809462/quel-futur-pour-les-metaux>

51 Guillaume Pitron (trad. Rosa Alapont), *La guerra de los metales raros: La cara oculta de la transición energética y digital*, 2021, capítulo 8

52 Myrtille Delamarche, *De sorprendentes matières critiques, L'usine nouvelle*, 10 July 2017; Myrtille Delamarche, *Les nouvelles matières critiques, L'usine nouvelle*, 2018

53 A veces, la apertura de nuevas minas y la exploración y descubrimiento de nuevas reservas pueden cambiar la criticidad geológica de un metal, pero se trata de casos excepcionales que no cambian fundamentalmente los problemas de criticidad y agotamiento de un metal. En los últimos años, esto ha sido particularmente cierto para el litio, para el cual el USGS estimó las reservas mundiales en 14.000.000 de toneladas métricas tanto en 2016 como en 2017, con un salto a 17.000.000 de toneladas métricas en 2018 y 21.000.000 de toneladas métricas en 2018 porque exploraciones más extensas dieron como resultado la apertura de nuevas minas, especialmente en América del Sur en una región conocida como el Triángulo del Litio, que se estima que contiene alrededor del 54% de las reservas mundiales de litio. Esas exploraciones adicionales fueron motivadas por la creciente demanda, regular y sostenida, de litio para baterías, teléfonos y otros dispositivos inteligentes e incluso mucho más para baterías de vehículos eléctricos.; Ellsworth Dickson, *South America's prospective - The Lithium Triangle*, Resource World, 2017

54 OCDE, *Perspectivas Mundiales de los Recursos Materiales hasta 2060: Impulsores Económicos Y Consecuencias Ambientales*, 2019

55 Mario Mckellop, *La Escasez de Materias Primas Marca el Último Revés para la Industria de Componentes*, 24 de mayo de 2021



# Conclusión

Debemos recordar que la humanidad no siempre ha sido tan dependiente de estos metales y en tales cantidades: desde la Antigüedad hasta el Renacimiento, la humanidad usó solo siete metales, solo 10 durante el siglo XX y alrededor de 20 durante la década de 1970. Actualmente, se utiliza casi toda la tabla periódica de Mendeleyev (alrededor de 80 elementos de 90).<sup>56</sup>

*“A pesar del progreso tecnológico, es de temer que nuestros nuevos usos y nuestro creciente consumo no se puedan compensar.”*

**Guillaume Pitron**

Esta dependencia amenaza las reservas económicamente disponibles para las generaciones futuras y la estabilidad económica y geopolítica, además de representar un retroceso fenomenal para la ambición de la transición ecológica, ya que tiene efectos tóxicos irreversibles en los ecosistemas, la biodiversidad y la vida humana, y contribuye a más emisiones de gases de efecto invernadero y estrés hídrico en un momento en el que las actividades humanas deben reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero y preservar el agua dulce para las necesidades primarias.

Si el sector de las TIC representa solo una pequeña parte de la demanda mundial de metales, varios recursos de importancia para las TIC se están volviendo escasos, y la escalada anticipada de componentes de TIC para el IdC<sup>57</sup> va en contra de un uso sostenible de las tecnologías digitales. Para desarrollar un uso más sostenible de las tecnologías digitales, es crucial comprender que las TIC siempre dependerán del hardware, y el hardware siempre dependerá de los metales, que son recursos no renovables. Esto significa que debemos ver los beneficios económicos y sociales diarios que las TIC nos ofrecen como un stock limitado que debemos preservar, y priorizar nuestras necesidades en la transición digital y ambiental para identificar exactamente dónde podemos ser más eficientes. En este sentido, la sobriedad y las soluciones de menor tecnología<sup>58</sup> pueden ser tremendamente beneficiosas,

ya que abordan a gran escala los múltiples problemas medioambientales descritos en este estudio de caso, así como cuestiones sociales y económicas, como la reducción de la brecha digital, la limitación de la adicción a las pantallas y las patologías asociadas, la limitación de la dependencia de la UE de las importaciones y la ayuda para forjar la resiliencia de Europa.

## Recomendaciones para un desarrollo digital compatible con el Acuerdo Verde

En una perspectiva ideal de evolución digital, la eficacia de la alta tecnología se ha combinado ingeniosamente con las innovaciones de la baja tecnología para proponer lo mejor de ambas, impulsando la competitividad de la UE y fortaleciendo su posición como precursora y líder activa de la innovación disruptiva para el clima y el medio ambiente.

La industria de la reutilización es un fuerte proveedor de empleo en muchas regiones y los equipos de TIC se recuperan a una escala suficientemente grande como para sostener la masificación de la reutilización.

Dispositivos como teléfonos inteligentes, teléfonos con funciones, ordenadores portátiles, televisores y monitores tienen con frecuencia una segunda, tercera o cuarta vida con otros usuarios. La fiebre por los dispositivos más potentes ha dado paso a un uso equilibrado de dispositivos de larga vida útil adaptados a las necesidades diarias. Se promueve el diseño ecológico de los dispositivos, la robustez y la alta reparabilidad. La mayoría de los equipos de TIC, como los routers de Wi-Fi, se comparten.

Las personas mantienen sus equipos por más tiempo y se han empoderado masivamente en sus elecciones para poder elegir el tipo de dispositivo que ofrezca la mejor relación entre la sostenibilidad y sus necesidades.

La adicción a las pantallas, que era un problema creciente en la década de 2020, ahora es muy baja: de hecho, los dispositivos TIC se utilizan como herramientas y el entretenimiento ha progresado de manera impresionante con el regreso a las emociones en vivo compartidas y lejos del aislamiento.

<sup>56</sup> Guillaume Pitron (trad. Rosa Alapont), La guerra de los metales raros: La cara oculta de la transición energética y digital, 2021

<sup>57</sup> Tilman Santarius, Johanna Pohl and Steffen Lange, [Digitalization and the Decoupling Debate: Can ICT Help to Reduce Environmental Impacts While the Economy Keeps Growing?](#), 2020; véase nuestro estudio de caso sobre el IdC

<sup>58</sup> Por ejemplo, la actual escasez mundial de semiconductores ha impulsado el interés del mercado por los equipos de fabricación de chips más antiguos, lo que demuestra que las soluciones de menor tecnología son una opción de resiliencia rápida en caso de escasez masiva e inmediata. Esto también subraya que este tipo de soluciones se descarta con demasiada frecuencia, pero es una solución valiosa a tener en cuenta y debe considerarse y planificarse de la manera más eficiente posible. (Equipo de Sourceengine, [Global Semiconductor Shortage Drives Interest in Older Chip-making Equipment](#), 9 de marzo de 2021)



# Residuos Electrónicos y Economía Circular

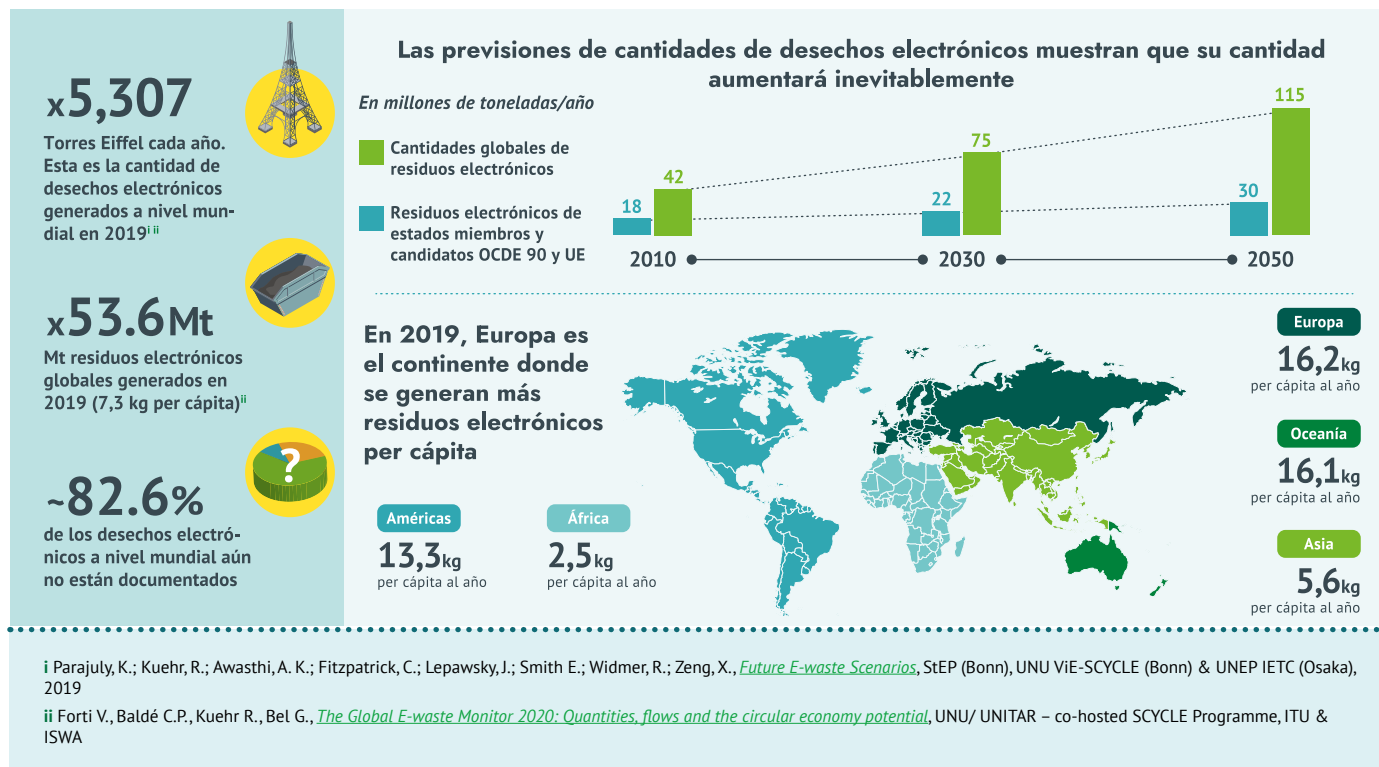
## Índice

|                                                                                                                                                                            |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Claves para comprender</b> .....                                                                                                                                        | pág. 91  |
| <b>Resumen del estudio de caso</b> .....                                                                                                                                   | pág. 91  |
| <b>Definiciones</b> .....                                                                                                                                                  | pág. 91  |
| <b>¿Qué es la economía circular?</b> .....                                                                                                                                 | Pág. 91  |
| <b>¿Qué son los residuos electrónicos?</b> .....                                                                                                                           | Pág. 92  |
| <b>Conceptos principales</b> .....                                                                                                                                         | pág. 92  |
| <b>¿Qué sucede con los residuos electrónicos cuando se desecha un equipo?</b> .....                                                                                        | pág. 93  |
| <b>¿Qué sucede con los desechos electrónicos cuando se recuperan adecuadamente para su reciclaje en la UE?</b> .....                                                       | pág. 95  |
| <b>Desde la recuperación hasta la instalación de pretratamiento</b> .....                                                                                                  | pág. 95  |
| <b>Del pretratamiento al tratamiento final</b> .....                                                                                                                       | pág. 95  |
| <b>Beneficios ambientales del reciclaje</b> .....                                                                                                                          | pág. 96  |
| <b>¿Qué sucede con los desechos electrónicos que no son recogidos adecuadamente para su reciclaje?</b> .....                                                               | pág. 97  |
| <b>Residuos electrónicos en el cubo de la basura</b> .....                                                                                                                 | pág. 97  |
| <b>Residuos electrónicos y el Convenio de Basilea</b> .....                                                                                                                | pág. 97  |
| <b>Residuos electrónicos recogidos fuera de los sistemas formales de recogida, tales como los residuos metálicos</b> ....                                                  | pág. 98  |
| <b>Residuos electrónicos recogidos fuera de los sistemas formales de recogida en países sin una infraestructura de gestión de residuos electrónicos desarrollada</b> ..... | pág. 98  |
| <b>Soluciones emergentes para las TIC en la economía circular</b> ....                                                                                                     | pág. 98  |
| <b>La opinión del experto</b> .....                                                                                                                                        | pág. 99  |
| <b>¿Por qué los niños son especialmente sensibles a la exposición a los residuos electrónicos?</b> .....                                                                   | pág. 100 |
| <b>Conclusión</b> .....                                                                                                                                                    | pág. 100 |
| <b>Recomendaciones para una evolución digital compatible con el Acuerdo Verde</b> .....                                                                                    | pág. 101 |





# Claves para comprender



## Resumen del estudio de caso

Los residuos eléctricos y electrónicos se reconocen como uno de los problemas más urgentes a abordar, ya que pueden tener impactos positivos o negativos en el medio ambiente. ¿Por qué positivos? Porque los desechos electrónicos contienen materias primas críticas, algunas de ellas peligrosas, otras no, que pueden descontaminarse, reciclarse y reutilizarse y, por lo tanto, pueden reducir la contaminación ambiental, los riesgos para la salud y el agotamiento de las materias primas (**ver nuestro estudio de caso sobre materias primas**). Sin embargo, antes de que se convierta, en residuos electrónicos, la vida útil del equipo se puede extender para reducir la producción de más equipos que finalmente se convertirán en residuos electrónicos. Este es el principio de un sistema de economía circular, que está en su etapa inicial.

Este estudio de caso analiza el estado real de la gestión de residuos electrónicos en la UE y explica los conceptos clave relacionados con la emergente

economía circular aplicada a los dispositivos digitales. También explicamos los impactos medioambientales y de salud relacionados con los desechos electrónicos cuando se recolectan y tratan incorrectamente, que por un lado pueden tener asociados efectos dañinos para la biodiversidad, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación del agua y la tierra, y por otro lado efectos peligrosos para la salud, especialmente la de los niños.

Dado que los pronósticos de los desechos electrónicos predicen un aumento inevitable debido al crecimiento de la población y al aumento del poder adquisitivo, es crucial comprender la contribución de las TIC a los desechos electrónicos y las herramientas para abordar de raíz este problema global.



# Definiciones

## ¿Qué es la economía circular?

**Economía circular:** la economía circular es un sistema económico destinado a prevenir el desperdicio y el agotamiento continuo de los recursos. Su objetivo es crear un sistema de circuito cerrado para minimizar el uso de insumos de recursos y la contaminación por generación de residuos y las emisiones de gases de efecto invernadero. Compartir, reutilizar, reparar, renovar, remanufacturar y reciclar son los principios clave de la economía circular. Actualmente, la economía circular es promovida por el Plan de Acción de Economía Circular de la UE,<sup>1</sup> pero no hemos encontrado ningún ejemplo de proyectos de economía circular apoyados por la UE en relación con los dispositivos digitales para reducir los residuos electrónicos.<sup>2</sup>

## ¿Qué son los residuos electrónicos?

**Residuos electrónicos:** Residuos electrónicos es la abreviatura de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Un producto entra en la categoría de “residuo” cuando ha sido “desechado por el propietario sin intención de reutilización”.<sup>3</sup> El equipo eléctrico y electrónico puede ser “cualquier artículo doméstico o comercial con circuitos o componentes eléctricos con suministro de energía o batería”. En la UE, la Directiva RAEE exige la recogida selectiva y el tratamiento adecuado de los residuos electrónicos y establece cuotas para la recogida mínima de residuos electrónicos por parte de los Estados miembros de la UE, así como para su valorización y reciclado. La Directiva también dificulta que los exportadores disfracen los envíos ilegales de residuos electrónicos.<sup>4</sup> Como se describe a continuación, la Directiva RAEE distingue entre 6 categorías diferentes de equipos:

|                                                |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|
| 1. Equipo de intercambios de temperatura (EIT) | 4. Equipo grande  |
| 2. Pantallas y monitores                       | 5. Equipo pequeño |
| 3. Lámpara                                     | 6. TI pequeña     |

1 [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf) (última consulta: 22/06/2021)

2 Basado en investigaciones realizadas en junio de 2021 en la plataforma de datos abiertos: <https://data.europa.eu/>

3 Step Initiative, *Solving the E-Waste Problem (Step) White Paper: One Global Definition of E-waste*, 2014

4 [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en) (última consulta: 21/06/2021)

5 Algunos equipos, como pequeños productos electrónicos de consumo (auriculares, controles remotos) o altavoces, cámaras y reproductores de video y proyectores, se pueden encontrar en la quinta categoría (Equipos pequeños), pero muchos otros equipos electrónicos que no son de TIC, como herramientas domésticas, equipos de monitoreo y control domésticos o equipos médicos domésticos, se pueden encontrar en la misma categoría de equipos pequeños, por lo que no nos enfocamos en esta quinta categoría.

En este estudio de caso, en la medida de lo posible, consideraremos específicamente las categorías 2 y 6 (2. Pantallas y monitores, 6. Pequeñas TI), ya que incluyen la mayoría de los equipos TIC.<sup>5</sup> Sin embargo, a menudo es difícil encontrar datos detallados por categoría, por lo que en esos casos consideraremos todas las categorías de desechos electrónicos.

## Conceptos principales

### Las 5R aplicadas a los equipos TIC

**Reducir:** Cada equipo que no se produce es uno que no contaminará. Este es el primer principio del enfoque 5R.

**Reutilizar:** Cada equipo que se reutiliza ayuda a reducir nuestra dependencia de los últimos equipos. A escala de toda la economía, contribuye a promover la economía circular, reduciendo la brecha digital y las desigualdades. Este es el segundo principio del enfoque 5R.

**Reparar y Reacondicionar:** Cada equipo que se repara es uno que tendrá una vida útil más larga. Cada equipo que se repara o reacondiciona a partir de componentes de segunda mano reduce el agotamiento de los recursos y la entropía. A escala de toda la economía, también contribuye a la promoción de la economía circular y a la creación de empleo cualificado.

**Reciclar:** Un equipo que se recicla tendrá dos beneficios principales: emitirá menos contaminación al final de su vida útil y, una vez desmontado, sus componentes se pueden valorizar para usos secundarios. En general, el reciclaje de residuos electrónicos tiene amplios beneficios a largo plazo para el medio ambiente y contribuye a salvaguardar el uso futuro de los metales. Este es el principio final en el enfoque 5R.



# ¿Qué sucede con los residuos electrónicos cuando se desecha un equipo?

### Los diferentes circuitos de los residuos electrónicos



#### Almacén y punto de recogida

Los residuos electrónicos se devuelven a la tienda o su propietario los lleva a un punto de recogida.

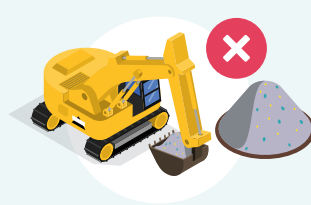
Se recopilarán y se reportará. A continuación, se tratará de acuerdo con las normas de la UE.



#### Mezclar con otros residuos

Los residuos electrónicos se mezclan con otros desechos y las sustancias peligrosas contaminan el resto de los residuos.

Los residuos electrónicos se quemarán (emisiones de gases de efecto invernadero) o depositarán en vertederos (contaminación de la tierra y el agua).



#### Mezclar con residuos de metal

Los desechos electrónicos se mezclan con residuos metálicos sin un tratamiento adecuado de los componentes peligrosos.

Los trabajadores corren riesgo de exposición a sustancias peligrosas, puede producirse contaminación.



#### Reutilización

Los desechos electrónicos se envían a bordo para su "reutilización". Los trabajadores corren riesgo de exposición a sustancias peligrosas; puede producirse contaminación.



#### Recuperación manual

Los desechos electrónicos son recolectados por charreros interesados en sus componentes. Los chatarreros corren riesgo por exposición a sustancias peligrosas; puede producirse contaminación.



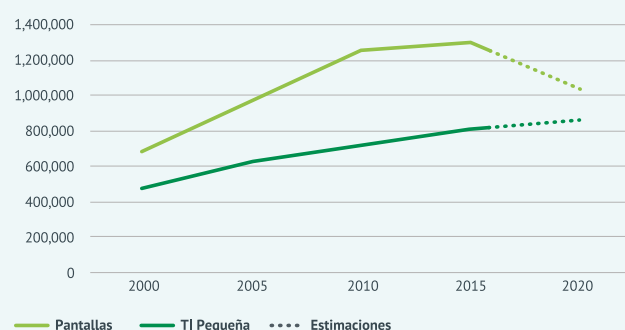
#### Recogida informal

Los desechos electrónicos se pueden recolectar para su reciclaje complementario para reparar o actualizar otros productos electrónicos. Esta actividad apenas comienza a desarrollarse. En ocasiones, los residuos electrónicos recogidos en los circuitos oficiales se envían al sector de la reparación.

Actualmente, aunque existen directivas reguladoras e incentivos para la recogida y notificación de los residuos electrónicos generados, un volumen muy grande de desechos electrónicos acaba en la basura o se trata con otros residuos metálicos. Otras situaciones posibles que existen, pero que son extremadamente difíciles de estimar, son, por ejemplo, la exportación de equipos de TIC para su reutilización, la eliminación de componentes y su posterior reciclaje como productos.

Los residuos electrónicos a menudo se recogen y mezclan con residuos metálicos y, por lo tanto, se registran en las estadísticas como residuos metálicos en lugar de electrónicos. En este caso, hay varios tratamientos posibles, desde los desguaces rudimentarios y comerciantes ilegales de metales hasta el desguace autorizado y a gran escala de los vehículos al final de su vida útil. Algunos residuos electrónicos mezclados con chatarra también se exportan a otros países para su procesamiento.

### Generación de residuos electrónicos en toneladas anuales en la UE28



Se espera que el peso de las pantallas disminuya debido al tamaño más pequeño de las pantallas y monitores. Sin embargo, se espera que el número de productos de residuos electrónicos generados para la categoría de pantallas aumente de aproximadamente 1.800.000.000 de equipos por año a 240.000.000 de equipos por año en la UE-28 + Noruega + Suiza.

<http://www.urbanmineplatform.eu/urbanmine/eee/weightpercolcat>

<http://www.urbanmineplatform.eu/urbanmine/eee/quantity>

(última consulta: 22/06/2021)



## Categorías de residuos electrónicos para las TIC



### TI Pequeña

Routers, ratones, teclados, unidades externas, accesorios, ordenadores de sobremesa (exc. monitores), impresoras (escáneres, multifuncionales, faxes), equipos de telecomunicaciones, teléfonos móviles, consolas de videojuegos



### Pantallas

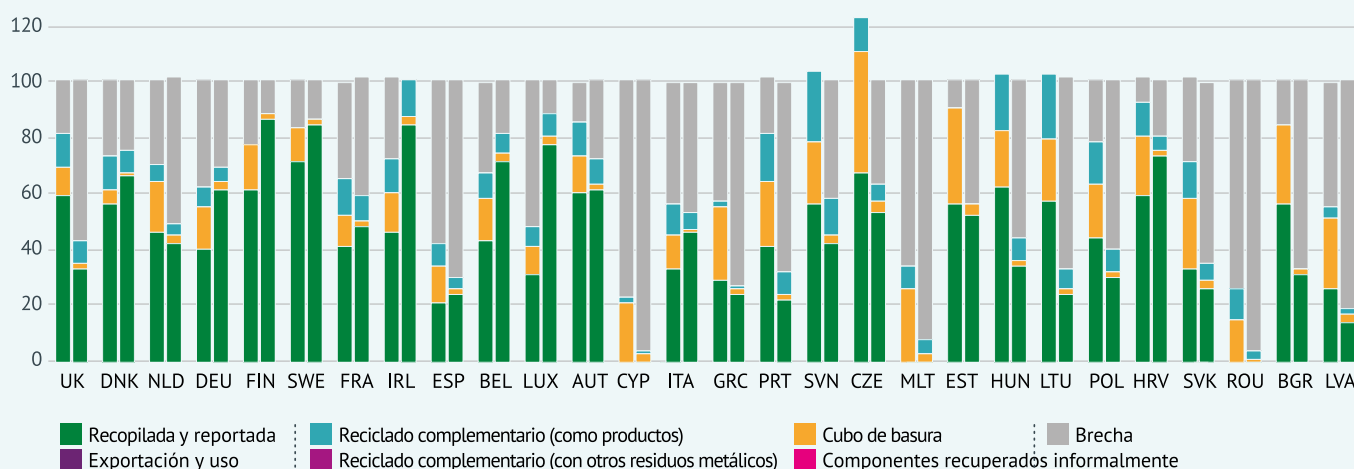
Ordenadores portátiles, tabletas, monitores y televisores de tubo de rayos catódicos, monitores y televisores de pantalla plana (LCD, LED, plasma)

El proyecto Urban Mine Platform estima que, dependiendo del país de la UE y con un grado de incertidumbre extremadamente alto (carecemos de datos para aproximadamente un tercio de los equipos pequeños de TI), entre el 0% y el 25% de los equipos pequeños de TI (incluidos los equipos de escritorio) se reciclaron junto con otros residuos metálicos en 2015, mientras que entre el 5% y el 43% de los equipos pequeños de TI terminaron en la basura y solo 12 países de la UE superaron el 55% de los pequeños equipos de TI recogidos y correctamente reportados como residuos elec-

trónicos.<sup>6</sup> Para las pantallas y los monitores (incluidos los portátiles y las tabletas), es aún más difícil obtener datos fiables, ya que perdemos la pista de, aproximadamente, la mitad de las pantallas al final de su vida útil. La disparidad entre países es aún mayor en esta categoría, con solo 9 países de la UE que superan el 55 por ciento de las pantallas recolectadas y correctamente reportadas como residuos electrónicos y 13 países con falta de datos que superan el 55 por ciento (véase la tabla siguiente).

6 Algunos equipos, como pequeños productos electrónicos de consumo (auriculares, controles remotos) o altavoces, cámaras y reproductores de vídeo y proyectores, se pueden encontrar en la quinta categoría (Equipos pequeños), pero muchos otros equipos electrónicos que no son de TIC, como herramientas domésticas, equipos de vigilancia y control del hogar o equipos médicos domésticos, se pueden encontrar en la misma categoría de equipos pequeños, por lo que no nos enfocamos en esta quinta categoría.

## Porcentaje de equipos recogidos en comparación con otros flujos de RAEE producidos en 2015 en la UE-28 (para las categorías de equipos pequeños de TI y pantallas)



Fuente: [the Urban Mine Platform](#) "La falta de armonización entre los Estados miembros en la notificación de los volúmenes de RAEE recogidos, en particular también para la división del volumen total de RAEE en categorías de recogida individuales, puede dar lugar a discrepancias entre la cantidad de residuos generados y la cantidad recogida. Además, debido a la falta de armonización en la cuantificación de los contenedores de basura, la exportación para la reutilización, el reciclaje complementario y la recogida de basuras, las incertidumbres que se muestran aquí son elevadas."



### ¿Qué sucede con los desechos electrónicos cuando se recuperan adecuadamente para su reciclaje en la UE?

#### Desde la recuperación hasta la instalación de pretratamiento

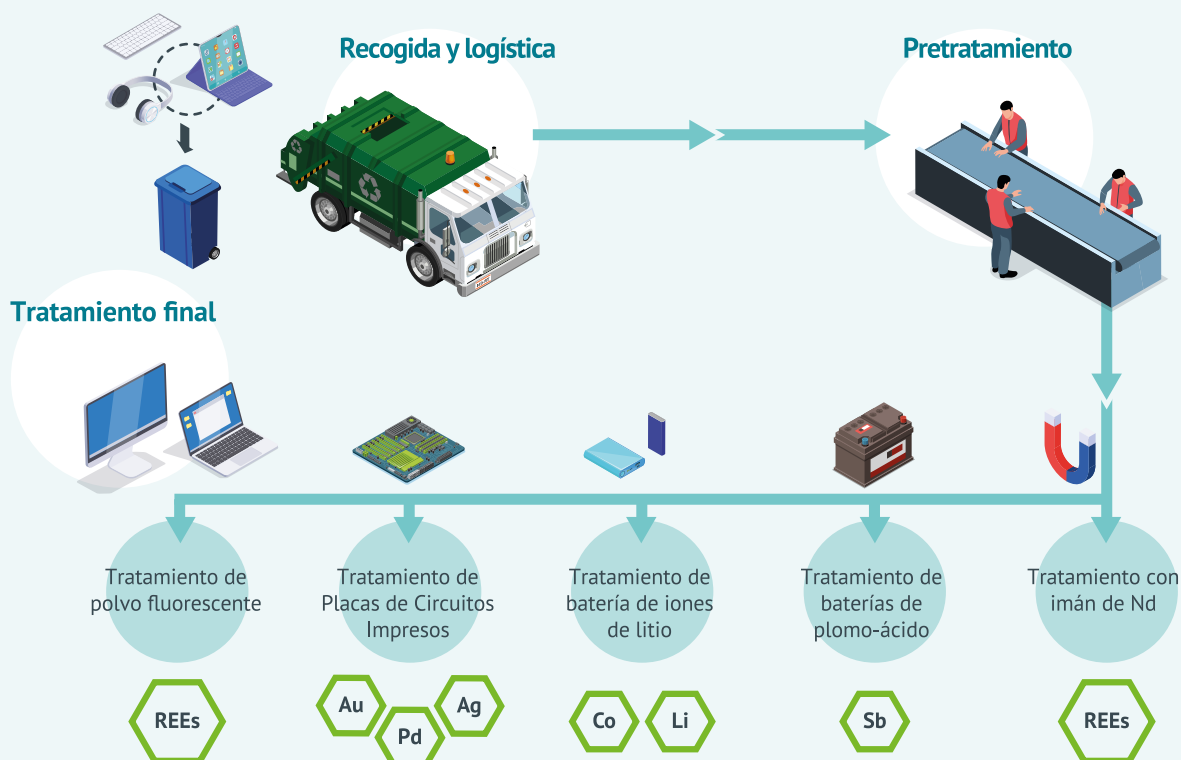
Cuando un consumidor desecha un equipo y lo entrega en un punto o instalación de recuperación, este se envía a una instalación de pretratamiento donde se evalúa si se puede reutilizar y si contiene alguna materia prima crítica. Si los equipos son reutilizables, se preparan para su reutilización; si no son reutilizables, se retiran las baterías externas para su tratamiento adecuado (las baterías de plomo y de iones de litio son muy difíciles de tratar y se procesan por separado) y se envían las diferentes partes desmontadas a las instalaciones de tratamiento final.

*“Aunque el reciclaje genera beneficios medioambientales, sigue siendo imperfecto y mejorable. Por lo tanto, es importante centrarse en limitar la renovación y aumentar la vida útil, así como en reutilizar nuestros equipos el mayor tiempo posible antes de desecharlos.”*

#### Del pretratamiento al tratamiento final

Si el equipo contiene sustancias peligrosas, que es el caso de todos los equipos digitales, pasa por un proceso de descontaminación que permite separar las fracciones peligrosas de las materias primas críticas clave, las cuales se pueden valorizar después del tratamiento final en una instalación adecuada. Las fracciones peligrosas se tratan o eliminan, y se tratan las fracciones de desechos electrónicos que no son peligrosas ni materias primas críticas.

### Proceso de reciclaje de residuos electrónicos





Las instalaciones de tratamiento final pueden tratar y valorizar diferentes tipos de materias primas críticas clave, como los elementos de tierras raras presentes en los monitores, el oro, la plata y el paladio presentes en las placas de circuito impreso, el cobre y el litio presentes en las baterías de iones de litio, etc.<sup>7</sup>

## Beneficios ambientales del reciclaje

El reciclaje reduce el riesgo de que los desechos electrónicos se diseminen, quemen o llenen los vertederos, ya que todos sus metales y productos químicos se degradan con el tiempo, la lluvia o el fuego y el manejo inadecuado. Dependiendo de cuánto se invierta en optimizar la recogida y el reciclaje de residuos electrónicos, el reciclaje puede tener efectos beneficiosos en diversos aspectos medioambientales, como:

- Limitar la eutrofización del agua dulce (que se produce cuando el agua se enriquece en exceso con nutrientes y minerales, siendo sus efectos ecológicos la disminución de la biodiversidad, la invasión de nuevas especies y la toxicidad),
- Limitar la acidificación terrestre (que daña a las plantas y a los organismos del suelo y pone en peligro a las especies),
- Limitar los efectos negativos sobre la calidad de los ecosistemas,
- Limitar los efectos negativos sobre la salud humana,
- Limitar la formación de partículas finas,
- Limitar la escasez de recursos fósiles,
- Limitar el calentamiento global,
- Limitar la escasez de recursos minerales,
- Limitar la toxicidad humana no cancerígena.

Un estudio de 2019 sobre los beneficios económicos y medioambientales de las redes de recuperación de residuos electrónicos en Europa<sup>8</sup> demuestra que cuantos más residuos electrónicos se recojan y reciclen en condiciones óptimas, mayores serán los beneficios potenciales para la preservación del medio ambiente, incluidas las oportunidades económicas en algunos casos, con posibles escenarios de compromiso entre la

satisfacción de los objetivos ambientales multicriterio y los objetivos económicos.

Sin embargo, no siempre convergen todos los objetivos medioambientales perfectamente y, a partir de un cierto nivel de exigencia, requieren una inversión muy sustancial<sup>9</sup> o una mayor investigación para lograr avances, especialmente porque los equipos a reciclar son cada vez más diversos y las aleaciones en los equipos son cada vez más complejas (véanse nuestros casos de estudio sobre IdC y materias primas).

*“Los objetivos de recogida y reciclado basados en el peso de los residuos electrónicos en la UE son insuficientes para abordar el problema de las pequeñas cantidades de metales críticos diseminados en varios equipos”*

Algunos de los principales obstáculos para el reciclaje racional de residuos electrónicos en la UE identificados actualmente son<sup>10</sup>:

1. Tasas de recogida de residuos electrónicos insuficientes, lo que impide que los sistemas formales de gestión de residuos electrónicos traten los desechos electrónicos en todo su potencial.
2. Una falta de financiación que impide el reciclado de materias primas críticas, incluso cuando es técnicamente factible con un esfuerzo adicional aceptable y un equilibrio razonable entre costes y beneficios.
3. La ausencia de requisitos claros para reciclar materias primas críticas, ya que la recogida en función del peso y los objetivos de reciclado de los residuos electrónicos en la UE son insuficientes para abordar el problema de las pequeñas cantidades de metales críticos diseminados por diversos equipos.
4. La dificultad de acceder a componentes que contienen materias primas críticas, que podrían mejorarse mediante el diseño ecológico de productos, y la falta de información detallada y cuantitativa y el marcado de componentes críticos de materias primas y compuestos químicos.

7 EWASTE, *A contribution to future Critical Raw Materials Recycling: informe final del proyecto CEWASTE*, 2021

8 Lukas Messmann, Christoph Helbig, Andrea Thorenz, Axel Tuma, *Economic and environmental benefits of recovery networks for WEEE in Europe*, 2019

9 *Ibid.*

10 CEWASTE, *A contribution to future Critical Raw Materials Recycling: informe final del proyecto CEWASTE*, 2021, p.19



Un estudio de ACV de 2017 de una instalación austriaca líder en pretratamiento mostró que, en términos de ganancia de material secundario, una tasa de reciclaje del 80,5 por ciento permite recuperar poco más del 50 por ciento del material de entrada, mientras que para conseguir una tasa de reciclado cercana al objetivo legal mínimo del 62,5 por ciento, la cantidad de material recuperado es de alrededor del 45 por ciento.<sup>11</sup>

Aunque el reciclaje genera beneficios medioambientales, sigue siendo imperfecto y mejorable. Por lo tanto, es importante centrarse en limitar la renovación y aumentar la vida útil, así como en reutilizar nuestros equipos el mayor tiempo posible antes de desecharlos con el fin de dar más tiempo para que el sector del reciclaje evolucione.

### ¿Qué sucede con los desechos electrónicos que no son recogidos adecuadamente para su reciclaje?

## Residuos electrónicos en el cubo de la basura

Algunos desechos electrónicos que no se recogen adecuadamente para su reciclaje simplemente se descartan. La consecuencia es que los residuos electrónicos pueden comprimirse en los vehículos de recogida de residuos, corriendo el riesgo de rotura y liberando componentes peligrosos que contaminarán el resto de los residuos. Dependiendo de la infraestructura de gestión de residuos del país, es más probable que estos residuos se incineren o se depositen en vertederos sin reciclar el material. Los principales efectos ambientales son la contaminación tóxica, con un impacto nocivo en la salud y la biodiversidad, y la pérdida de recursos críticos. Los productos químicos liberados de los desechos electrónicos no son biodegradables: persisten en el medio ambiente durante largos períodos de tiempo, lo que aumenta el riesgo de exposición.

La incineración de residuos electrónicos da como resultado emisiones de partículas tóxicas con efectos ambientales desastrosos.

11 N. Unger, P. Beigl, G. Höggerl, S. Salhofer, 'The greenhouse gas benefit of recycling waste electrical and electronic equipment above the legal minimum requirement: An Austrian LCA case study' (2017), Journal of Cleaner Production, Volumen 164, (p. 1635-1644)

12 Charu Gangwar, Ranjana Choudhari, Anju Chauhan, Atul Kumar, Aprajita Singh, Anamika Tripathi, *Assessment of air pollution caused by illegal e-waste burning to evaluate the human health risk*, (2019) Environment International, Volume 125; <https://orlandorecycles.com/2021/01/5-effects-of-e-waste-on-the-environment/> (last retrieved: 22/06/2021); Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G., *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*, UNU / UNITAR-Programa SCYCLE copatrocinado por UIT e ISWA

## Residuos electrónicos y el Convenio de Basilea

El Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación es un tratado internacional adoptado por 188 países. El Tratado tiene por objeto evitar la transferencia de residuos peligrosos de los países desarrollados a los menos desarrollados y reducir al mínimo la tasa y la toxicidad de los residuos generados y garantizar que los residuos peligrosos se gestionen de forma respetuosa con el medio ambiente lo más cerca posible de la fuente de generación. La convención establece que el tráfico ilegal peligroso es delictivo.

El Convenio de Basilea exige de la regulación los casos de exportación de equipos electrónicos y eléctricos destinados a la reutilización. En términos absolutos, la reutilización es una práctica ambientalmente racional, ya que hace posible extender la vida útil del equipo y limitar el uso de equipos nuevos. Sin embargo, el nivel de calidad necesario para la reutilización del equipo así exportado es a veces cuestionable, y el propósito de la reutilización a veces se usa incorrectamente como una forma de deshacerse de los desechos electrónicos.

Para limitar este uso indebido, el informe Global E-Waste Monitor 2020 destaca "dos decisiones políticas sólidas que se pueden tomar unilateralmente con respecto a garantizar una aplicación mejor y más efectiva":

- Proporcionar más recursos a los funcionarios de aduanas y puertos para ayudarlos a combatir el comercio ilegal de desechos electrónicos
- Aumentar las sanciones por intentar exportar residuos electrónicos ilegalmente.

\* Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G., *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*, UNU / UNITAR – Programa SCYCLE copatrocinado, UIT & ISWA, p.54

En función de la calidad de la instalación de incineración, puede liberar partículas, dioxinas y furanos de la quema de plástico, y metales pesados tóxicos como cadmio, mercurio, plomo, zinc, cromo y níquel en el aire, con efectos desastrosos para la salud humana (cáncer y otras enfermedades) y contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero.<sup>12</sup>



El vertido de residuos electrónicos también tiene efectos ambientales desastrosos, como la contaminación del agua y la tierra.<sup>13</sup>

### Residuos electrónicos recogidos fuera de los sistemas formales de recogida, tales como los residuos metálicos

Cuando los residuos electrónicos se recogen a través del sistema de reciclaje de metales y plásticos, pero no se devuelven a los flujos formales de recogida y tratamiento de desechos electrónicos, lo más probable es que los componentes peligrosos no se descontaminen. Los residuos electrónicos no se tratarán en una instalación de reciclaje especializada en la gestión de este tipo de residuos, lo que significa que el reciclaje de metales (como el cobre) y los plásticos de los residuos electrónicos generará con toda probabilidad sustancias contaminadas.<sup>14</sup> En este caso, los residuos electrónicos en ocasiones pueden exportarse a países en desarrollo con instalaciones de reciclaje menos avanzadas o sin instalaciones adecuadas para este tipo de residuos.

### Recogida de residuos electrónicos fuera de los sistemas formales de recogida en países sin una infraestructura de gestión de residuos electrónicos desarrollada

En la mayoría de los países en desarrollo no existen instalaciones adecuadas para el reciclaje de residuos electrónicos, lo que da como resultado el “reciclaje en el patio trasero” en condiciones de trabajo peligrosas con graves daños a la salud humana y al medio ambiente.

El reciclaje informal de desechos electrónicos conduce a la contaminación ambiental debido al vertido de ácido (utilizado para eliminar el oro) en los ríos, la lixiviación de sustancias de vertederos o desechos electrónicos almacenados, partículas, dioxinas y furanos por el desmantelamiento inadecuado de aparatos electrónicos y los contaminantes que entran en los

### Soluciones emergentes para las TIC en la economía circular

En 2013, en los Países Bajos, se fundó una empresa social llamada Fairphone\* para limitar los impactos de la producción de teléfonos inteligentes y los desechos electrónicos, y producir un nuevo teléfono inteligente, el Fairphone.

El Fairphone está diseñado ecológicamente para ser lo más fácil posible de reparar y durar mucho más que los teléfonos inteligentes habituales. El Fairphone no contiene minerales de conflicto como el oro, el estaño, el tantalio y el tungsteno y garantiza, en la medida de lo posible, condiciones laborales justas para la mano de obra a lo largo de la cadena de producción. La compañía también se compromete a ayudar a las personas a usar su teléfono durante más tiempo antes de reemplazarlo. Fairphone tiene como objetivo abrir próximamente un servicio de reciclaje.

Otra iniciativa es la cooperativa Commown\*\*, que alquila ordenadores de escritorio, ordenadores portátiles, teléfonos inteligentes (fairphones) y auriculares responsables.

Commown conserva la responsabilidad de la agrupación de equipos en base a la idea del “bien de propiedad común” (de ahí el nombre de Commown). La cooperativa está presente actualmente en Francia y Bélgica.

\* <https://www.fairphone.com/>

\*\* <https://commown.coop/>

sistemas hídricos y la cadena alimentaria (peces, cultivos, ganado). Los habitantes están expuestos a la contaminación de los residuos electrónicos a través del aire, el agua y los alimentos y de los talleres, al inhalar los humos de la quema de cables y el calentamiento de las placas de circuitos.

13 Lee, G. F., and Jones-Lee, A., *Electronic Wastes and MSW Landfill Pollution of Groundwater*, Report of G. Fred Lee & Associates, El Macero, CA, septiembre (2009)

14 Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G., *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*, (2020) UNU / UNITAR-Programa SCYCLE copatrocina-do por UIT e ISWA



### La opinión de la experta



**Claire Downey es la directora de la Red de Recursos Comunitarios de Irlanda (CRNI). Es ingeniera y tiene más de 15 años de experiencia en el sector de residuos y recursos. Participa en comités políticos nacionales y de la UE, y es vicepresidenta y miembro de la junta de REUSE network Europe y del Chartered**

**Institute of Waste Management. A través de CRNI, Claire participó en el proyecto Q2Reuse, un importante proyecto de dos años financiado por la Agencia de Medio Ambiente y Protección de Irlanda (EPA). Este proyecto, liderado por The Clean Technology Centre (CTC), se lleva a cabo en colaboración con el Centro de Redescubrimiento, la Red de Reutilización Comunitaria de Irlanda (CRNI) y la Región de Residuos de Eastern Midlands. El objetivo del proyecto es recopilar información sobre la escala y el tamaño del sector de la reutilización, compararlo con otros Estados miembros e informar a los responsables políticos sobre los posibles objetivos.<sup>i</sup>**



En 2018, se generaron 50 millones de toneladas de residuos electrónicos en todo el mundo. Es evidente a partir de este nivel de residuos electrónicos generados que los aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) introducidos en el mercado no están debidamente valorados ni se utilizan en todo su potencial. Al extender la vida útil de nuestros dispositivos electrónicos y eléctricos, se podrían ahorrar millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.<sup>ii</sup>

Los objetivos pueden ayudar a resolver fallos del mercado como éste, proporcionando un fuerte enfoque político y exigiendo la aplicación de medidas. Los objetivos de reutilización podrían impulsar el crecimiento de la reutilización de equipos que cambian de manos pero que se convierten en residuos mucho más tarde, por ejemplo, equipos de TIC donados para su reutilización. Los objetivos de preparación para la reutilización podrían impulsar el crecimiento en la verificación, limpieza y reparación de equipos que se han

convertido en desechos, por ejemplo, equipos recolectados a través de sistemas de recuperación.

Una de las principales barreras a la hora de establecer objetivos de reutilización ha sido la dificultad para medir la reutilización. Como la reutilización no implica ningún material de desecho, no está regulada y puede tener lugar a través de una variedad de canales, como intercambios informales de familia a familia, mercadillos y centros de reutilización en línea o centralizados. Por esta razón, la Agencia de Medio Ambiente y Protección de Irlanda (EPA) ha financiado un importante proyecto de investigación de dos años llamado Q2Reuse para desarrollar un método cualitativo y cuantitativo para medir la reutilización en Irlanda.

A través del proyecto, que ahora está a punto de completarse, el equipo de investigación dirigido por el Centro de Tecnología Limpia, junto con el Centro de Redescubrimiento y la Red de Recursos Comunitarios de Irlanda, ha identificado más de 1.200 puntos de reutilización. Las estimaciones iniciales indican que la actividad de reutilización representa menos del 1% de todos los residuos generados en Irlanda, lo que deja mucho margen para el progreso. Es importante destacar que ha facilitado que el Gobierno irlandés se comprometa a introducir y proporcionar un marco legal para los objetivos de reutilización en el reciente Esquema General del Proyecto de Ley de Economía Circular.

Ahora se dispone de metodologías para medir la reutilización. No podemos seguir desperdiciando grandes cantidades de equipos que consumen muchos recursos y energía o incluso otros bienes de consumo. El desarrollo de objetivos para la reutilización en toda Europa es actualmente demasiado lento si se tiene en cuenta la urgencia de nuestra crisis climática. Este proyecto ha demostrado que es posible afinar una metodología y establecer objetivos en un corto período de tiempo. Se debe alentar a otros Estados miembros a que se fijen en estos ejemplos para garantizar que la prevención y la reutilización reciban la debida prioridad en la transición hacia una economía más circular.

<sup>i</sup> Los resultados del proyecto se pueden consultar en la siguiente web: <http://www.rediscoverycentre.ie/research/q2reuse/>

<sup>ii</sup> Ina Rüdener, Siddharth Prakash, *Ökonomische und ökologische Auswirkungen einer Verlängerung der Nutzungsdauer von elektrischen und elektronischen Geräten*, Öko-Institut und VZBV, 2020



En la actualidad, un número cada vez mayor de estudios muestra los peligros para la salud humana de la recogida no regulada de residuos electrónicos: efectos adversos sobre la tasa de natalidad<sup>15</sup>, daño en el ADN<sup>16</sup>, efectos cardiovasculares<sup>17</sup>, efectos respiratorios<sup>18</sup>, enfermedades de la piel<sup>19</sup>, pérdida de audición, cáncer<sup>20</sup> trastornos del sistema inmunitario, trastornos del desarrollo neurológico<sup>21</sup>, etc.<sup>22</sup>

## ¿Por qué son los niños especialmente sensibles a la exposición a los residuos electrónicos?

En comparación con los trabajadores adultos de reciclaje de desechos electrónicos, se encontró que el riesgo potencial para la salud de los niños era ocho veces mayor. Los cuerpos de los niños son especialmente sensibles a los peligros de los desechos electrónicos por muchas razones. Tienen una tasa de metabolismo más alta, un tamaño más pequeño y una mayor superficie en relación con su peso. Además, los niños con frecuencia se llevan las manos, los objetos o la tierra a la boca, lo que aumenta el riesgo de exposición a través de la ingestión. Algunas sustancias químicas también pueden transmitirse de madres a hijos durante el embarazo y la lactancia.

Un informe de 2017 de la Organización Internacional del Trabajo estima que unos 73 millones de niños de entre 5 y 17 años realizan trabajos peligrosos, con un número desconocido en el sector informal del reciclaje de desechos electrónicos.<sup>23</sup> Los niños y adolescentes que trabajan en la recogida, el desmontaje y el reciclaje, están especialmente expuestos.

Un reciente informe de la Organización Mundial de la Salud sobre la exposición a los residuos electrónicos

y la salud infantil muestra evidencias de las repercusiones en la salud y el desarrollo de los niños debidas a la exposición a los residuos electrónicos, que van desde lesiones y perjuicios a corto plazo sobre el crecimiento, impactos en el desarrollo neurológico, el aprendizaje y el comportamiento, efectos adversos sobre la función del sistema inmunitario, la función tiroidea y pulmonar, síntomas respiratorios y asma, la salud cardiovascular, el daño al ADN, etc. El informe subraya los posibles beneficios colaterales de abordar el problema de los residuos electrónicos en el contexto de las agendas climáticas y de la salud<sup>24</sup>.

## Conclusión

Aunque la recogida y el reciclaje en la UE han progresado generalmente en términos de técnica y volumen en los últimos años, el reciclado está limitado actualmente por el gran volumen de residuos electrónicos que no se recogen y tratan adecuadamente (contenedores de basura, chatarra, envío ilegal a otros países con instalaciones de tratamiento menos eficientes o sin ellas, etc.). Con respecto a los flujos de los residuos electrónicos, hay margen para mejorar y garantizar, mediante una mayor regulación, una monitorización y un seguimiento más profundos de los residuos electrónicos. Para la UE, no se trata solo de rastrear y reciclar los residuos electrónicos de la manera más eficiente posible, sino también de garantizar que los objetivos de reutilización y reciclaje contribuyan a reforzar la posición de la UE en el mercado de las materias primas. Convertir el reciclado de residuos electrónicos en un sector eficiente y maduro no es solo una cuestión medioambiental, sino también geoestratégica (véase nuestro estudio de caso sobre materias primas).

15 Kim SS, Xu X, Zhang Y, et al., *Birth outcomes associated with maternal exposure to metals from informal electronic waste recycling in Guiyu, China*, (2020) Environ Int, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7257595/>

16 Alabi, O.A., Adeoluwa, Y.M. & Bakare, A.A., *Elevated Serum Pb, Ni, Cd, and Cr Levels and DNA Damage in Exfoliated Buccal Cells of Teenage Scavengers at a Major Electronic Waste Dumpsite in Lagos, Nigeria*, (2020) Biol Trace Elem Res 194, 24–33

17 Cong X, Xu X, Xu L, Li M, Xu C, Qin Q, Huo X, *Elevated biomarkers of sympatho-adrenomedullary activity linked to e-waste air pollutant exposure in preschool children*, (2018) Environ Int 115:117–126,

18 AmoabengNti AA, Arko-Mensah J, Botwe PK, Dwomoh D, Kwarteng L, Takyi SA, Acquah AA, Tettey P, Basu N, Batterman S, Robins TG, Fobil JN., *Effect of Particulate Matter Exposure on Respiratory Health of e-Waste Workers at Agbogbloshie, Accra, Ghana*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020

19 Decharat, S., & Kiddee, P., *Health Problems Among Workers Who Recycle Electronic Waste in Southern Thailand, Osong Public Health and Research Perspectives*, 11, 34 – 43, 2020; Seith R, Arain AL, Nambunmee K, Adar SD, Neitzel RL., *Self-Reported Health and Metal Body Burden in an Electronic Waste Recycling Community in Northeastern Thailand*, J Occup Environ Med, 2019

20 Davis JM, Garb Y, *Una fuerte asociación espacial entre los sitios de quema de desechos electrónicos y el linfoma infantil en Cisjordania, Palestina*, Int J Cancer, 2019

21 Haoxing Cai, Xijin Xu, Yu Zhang, Xiaowei Cong, Xueling Lu, Xia Huo., *Los niveles elevados de plomo de la exposición a los desechos electrónicos están relacionados con dificultades de integración sensorial en niños en edad preescolar*, NeuroToxicology, Volumen 71, 2019

22 Forti V, Baldé C.P., Kuehr R., Bel G., *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*, UNU/UNITAR – co-hosted SCYCLE Programme, ITU & ISWA, 2020; Nithya, R., Sivasankari, C. & Thirunavukkarasu, A., *Electronic waste generation, regulation and metal recovery: a review*, Environ Chem Lett 19, 1347–1368, 2021

23 Organización Internacional del Trabajo, *Estimaciones mundiales del trabajo infantil: resultados y tendencias*, 2012-2016, 2017

24 *Children and digital dumpsites: e-waste exposure and child health*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2021. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.



*“Dado que se espera que el legado de los equipos digitales se expanda en los próximos años, existe una necesidad urgente de ser más eficientes en la recogida de desechos electrónicos, así como de aumentar la confianza en los dispositivos reparados y de segunda mano mediante la estructuración y el apoyo al desarrollo de una industria cualificada adecuada”*

Si bien el reciclaje de residuos electrónicos en la UE es un elemento clave para limitar el agotamiento de los recursos, así como la contaminación por residuos electrónicos y los riesgos para la salud, es necesario llevar a cabo el reciclaje de residuos electrónicos al final de la vida útil del equipo. En este sentido, el sistema de economía circular, que permite compartir, reutilizar, reparar o renovar los equipos, sigue siendo muy joven y no está suficientemente explorado y apoyado para

responder a los retos actuales y futuros en materia de clima, medio ambiente, salud y soberanía sobre las materias primas críticas. En este sentido, los indicadores de reparabilidad son un primer paso, al igual que la indexación de la ecotasa a la facilidad de reciclaje.

Dado que se espera que el legado de los equipos digitales se expanda en los próximos años, existe una necesidad urgente de ser más eficientes en la recogida de desechos electrónicos, así como de aumentar la confianza en los dispositivos reparados y de segunda mano mediante la estructuración y el apoyo al desarrollo de una industria cualificada adecuada.

### Recomendaciones para un desarrollo digital compatible con el Acuerdo Verde

En una evolución digital ideal compatible con el Acuerdo Verde, la vida útil de los equipos de TIC se prolonga gracias al diseño ecológico tanto del hardware como del software. El ecodiseño ayuda a reparar y actualizar, posponiendo así el fin de su vida útil. También ayuda al reciclaje, ya que los equipos se diseñan teniendo en cuenta el final de su vida útil.

Cualquier persona que conozca el enfoque y el sistema regulatorio de las 5R, las soluciones de ecodiseño y el flujo circular implementado puede aplicarlas de forma fácil y eficiente a su uso personal o profesional.

La transparencia en cuanto a la capacidad de reparación de un equipo y la trazabilidad de sus componentes y productos químicos está garantizada por un “pasaporte” de producto confiable, un tipo de tarjeta de registro de producto que ayuda a los consumidores a elegir y a los reparadores y recicladores a comprender mejor los componentes del producto.

El tratamiento de los flujos de residuos electrónicos garantiza con altos índices de certeza que la gran mayoría de los residuos electrónicos se recogen, clasifican y desmontan eficazmente y se procesan de la forma más sólida posible. Los mecanismos financieros garantizan la mejora continua para maximizar la recuperación de materias primas críticas y materiales valiosos,

así como para limitar los impactos ambientales de los desechos electrónicos en la medida de lo posible.

Los programas europeos de economía circular y los sistemas de gestión de residuos electrónicos permiten desplegar interesantes instalaciones complementarias dentro de la UE que estimulan el empleo y allanan el camino para la contratación de las codiciadas competencias profesionales que fortalecen las áreas de empleo locales.

Este sistema de economía circular y gestión de residuos ofrece a la UE ventajas en la cooperación internacional, mejora su resiliencia ante las crisis y le permite posicionarse como pionero y líder con grandes ventajas comerciales gracias a la calidad de los equipos reutilizables, reacondicionados o reparados.

La legislación europea establece claramente los flujos de residuos (reciclado) y de equipos (reutilización). Los reglamentos obligan a los Estados miembros a favorecer la reutilización sobre el reciclaje, abordando ambos. Las organizaciones ecologistas tienen la obligación de redirigir los equipos que funcionan o pueden repararse al sector de la reutilización. Cada dispositivo se vende con un indicador de reparabilidad, y el impuesto ecológico se evalúa en función de la facilidad con la que se puede reciclar el producto.

# RECOMENDACIONES

# Introducción

En el segundo capítulo de su informe especial (SR15) que explica los impactos del calentamiento global de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales, el IPCC presenta el presupuesto de carbono restante en GtCO<sub>2</sub>eq.: para limitar el calentamiento global a 1,5°C con un nivel de certeza de dos tercios, el presupuesto de carbono restante para la humanidad se estima en alrededor de 420 GtCO<sub>2</sub>eq. a partir del 01/01/2018.<sup>1</sup>

La UE-28 fue responsable directa del 9% de las emisiones de gases de efecto invernadero en 2019<sup>2</sup> aún más si también tenemos en cuenta las emisiones importadas, es decir, las emisiones de productos fabricados fuera de la UE pero consumidos dentro de sus fronteras.<sup>3</sup>

En 2019, las TIC contribuyeron con 185 Mt de emisiones de CO<sub>2</sub> eq. solo para la UE-28, como muestra nuestro ACV<sup>4</sup>, lo que representa el 4,2 % de las emisiones de la UE-28 en 2019<sup>5</sup>, pero alcanza un 40,7 % del presupuesto de emisiones de GEI de la UE-28 para mantenerse por debajo de 1,5 °C de calentamiento global. Además, durante el mismo período, las TIC utilizaron 5.760 toneladas de recursos equivalentes de antimonio, lo que significa que se produjeron 116 toneladas de residuos para las necesidades de las TIC en la UE - 28, el equivalente al peso de 3,6 personas para un consumo medio de TIC en Europa. Esto demuestra la importancia de considerar no solo los indicadores del cambio climático, sino de adoptar un enfoque multicriterio para comprender los impactos ambientales generales de las TIC y tomar las medidas políticas adecuadas para reducir su contribución al cambio climático sin transferencias de contaminación.

En este capítulo, presentamos nuestras principales recomendaciones para una hoja de ruta digital que reduzca el impacto medioambiental y sea compatible con el Acuerdo de París y el Acuerdo Verde, aunque requerirían más mediciones para estimar hasta qué punto una combinación de ellas podría contribuir eficazmente a mitigar el papel de las TIC en el cambio climático, lo que queda fuera del alcance de este estudio.

Nuestras recomendaciones apuntan a reducir la contribución de las TIC no solo al cambio climático, sino también a otros impactos ambientales concomitantes, como el agotamiento de los recursos, la contaminación por desechos electrónicos y los peligros para la salud.

En 2018, la OIT publicó un estudio que muestra que “una transición justa hacia una economía más sostenible ofrece un gran potencial para la creación de empleo y la promoción del trabajo digno”<sup>6</sup>. La hoja de ruta digital que recomendamos también tiene beneficios económicos y sociales para la UE que se enumeran en la siguiente tabla. Nuestras recomendaciones apuntan a abordar los problemas medioambientales de las TIC a nivel sistémico, lo que es necesario para empoderar a los ciudadanos en sus elecciones como consumidores y garantizar beneficios económicos y estratégicos a nivel europeo, así como a estimular las economías regionales y el empleo. Para ello, nuestras recomendaciones no contraponen la alta tecnología a la baja tecnología, sino que tienen como objetivo cerrar la brecha aprovechando lo mejor de ambas, en una combinación disruptiva y de baja tecnología de eficiencia y sobriedad.

1 Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Ffifit, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférián, and M.V. Vilariño, 2018: *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*, [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, y T. Waterfield (eds.)]. En Prensa;

2 [https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=regions-ABSOLUTE\\_VALUE&end\\_year=2018&regions=EUU%2CGBR%2CWORLD&source=PIK&start\\_year=1850](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=regions-ABSOLUTE_VALUE&end_year=2018&regions=EUU%2CGBR%2CWORLD&source=PIK&start_year=1850) (última consulta: 27/08/2021); Daniel Moran, KGM & Associates, Ali Hasanbeigi and Cecilia Springer, Global Efficiency Intelligence, *THE CARBON LOOPHOLE IN CLIMATE POLICY Quantifying the Embodied Carbon in Traded Products*, agosto 2018

3 <https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-largest-co2-importers-exporters> (última consulta: 14/06/2021)

4 Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E., GreenIT.fr. 2021. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*.

5 Nota: Las comparaciones a escala de la UE-28 tienen por objeto proporcionar una escala de los impactos relacionados y no deben entenderse como resultados absolutos. Los alcances son diferentes: algunas emisiones relacionadas con los servicios digitales en la UE-28 se producen fuera de sus fronteras y se consideran parte del alcance del estudio (fabricación de los dispositivos); mientras que las emisiones totales consideradas para la UE por la AIE son sólo las emisiones que se producen dentro de las fronteras de la UE. Para saber más sobre emisiones importadas: <https://www.idhsustainabletrade.com/news/hidden-co2-emissions-europes-imported-responsibility/>

6 Organización Internacional del Trabajo-Ginebra: OIT, *World Employment and Social Outlook 2018: Greening with jobs*, 2018



| Prioridad | #  | Objetivos medioambientales                                                                                                                                          | Principales partes interesadas                                                               | Beneficios económicos                                                                                                                                                             | Beneficios sociales                                                                                                |
|-----------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | 1  | Reducir los impactos medioambientales reduciendo el número de dispositivos<br>Reducir la cantidad de dispositivos necesarios<br>Agrupación de recursos<br>Ecodiseño | Responsables políticos<br>+ Expertos<br>+ Actores económicos*                                | Estimular la innovación, atraer y retener talentos, menor dependencia de las importaciones, reducir los costes de mantenimiento y reducir los costes de los residuos electrónicos | Reducir la brecha digital (ecodiseño/puesta en común)                                                              |
| 1         | 2  | Luchar contra todas las formas de obsolescencia: aumentar la vida útil                                                                                              | Responsables políticos<br>+ Expertos<br>+ Ciudadanos<br>+ Actores económicos                 | Reducir la dependencia de las importaciones, reducir los costes de los residuos electrónicos                                                                                      | Aumentar la igualdad de oportunidades, reducir la brecha digital                                                   |
| 1         | 3  | Reutilización masiva                                                                                                                                                | Responsables políticos<br>+ Expertos<br>+ Actores económicos                                 | Estimular las economías regionales, estimular la economía circular                                                                                                                | Estimular el empleo en sectores emergentes, reducir la brecha digital                                              |
| 1         | 4  | Facilitar datos fiables sobre responsabilidad digital a la ciudadanía europea:                                                                                      | Expertos<br>+ Responsables políticos<br>+ Ciudadanos                                         | Crear vocaciones y oportunidades de innovación disruptiva                                                                                                                         | Llevar a cabo la cohesión social, estimular el empoderamiento ciudadano                                            |
| 1         | 5  | Generalizar el diagnóstico medioambiental: un producto puede ser verde solo si se ha demostrado que lo es                                                           | Expertos<br>+ Actores económicos<br>+ Responsables políticos<br>+ Ciudadanos                 | Estimular la posición europea como precursora y líder en experiencia ambiental                                                                                                    | Estimular el empoderamiento ciudadano                                                                              |
| 1         | 6  | Apoyar la innovación mixta de baja y alta tecnología para el clima                                                                                                  | Responsables políticos<br>+ Actores económicos                                               | Estimular innovaciones que puedan dividir con precisión las emisiones de GEI, estimular las economías regionales                                                                  | Estimular el empleo, reducir la brecha digital, aumentar la igualdad de oportunidades, fomentar la cohesión social |
| 2         | 7  | Contratación verde para instituciones públicas                                                                                                                      | Responsables políticos<br>+ Expertos                                                         | Estimular la economía circular y la industria de la reutilización, reducir costes                                                                                                 | Reducir la brecha digital, aumentar la igualdad de oportunidades, fomentar la cohesión social                      |
| 2         | 8  | Regular el IdC                                                                                                                                                      | Responsables políticos<br>+ Expertos<br>+ Actores económicos                                 | Estimular la aparición de API competidoras originarias de la UE                                                                                                                   | Estimular el empoderamiento ciudadano                                                                              |
| 2         | 9  | Avanzar hacia redes complementarias en lugar de superponer redes                                                                                                    | Responsables políticos + Expertos + Actores económicos<br>+ Ciudadanos                       | Ventajas por reducción de costes, menos mantenimiento                                                                                                                             | Reducir la exposición a ondas electromagnéticas, aumentar la igualdad de oportunidades, reducir la brecha digital  |
| 2         | 10 | Llevar la nube a la madurez de la gestión sostenible                                                                                                                | Responsables políticos<br>+ Expertos<br>+ Actores económicos                                 | Ahorro de costes, menos mantenimiento, mejoras en la seguridad de la nube                                                                                                         | Empoderar a los usuarios en sus elecciones                                                                         |
| 3         | 11 | IA: participar en oportunidades de soberanía y frugalidad digital                                                                                                   | Responsables políticos<br>+ Expertos<br>+ Actores económicos                                 | Garantizar la soberanía de los datos de Europa, estimular la posición de Europa como precursora y líder en frugalidad digital                                                     | Abordar las preocupaciones de los europeos sobre cuestiones de confidencialidad de datos                           |
| 3         | 12 | Establecer requisitos ambientales obligatorios de acceso al mercado europeo para vehículos autónomos                                                                | Responsables de toma de decisiones + Expertos en movilidad + Ciudadanos + Actores económicos | Estimular los intercambios económicos dentro de la UE con una estrategia de ecomovilidad compartida y planificada                                                                 | Prevenir el aumento de desigualdades regionales de movilidad                                                       |

\* Entre los actores económicos se pueden incluir, por ejemplo, fabricantes en el sector digital, proveedores de servicios o productos digitales. Esta categoría abarca tanto a los grandes actores multinacionales como a los actores locales más pequeños.



### Cómo definir dos conceptos clave: sobriedad digital y baja tecnología

**Sobriedad digital** consiste en diseñar voluntariamente servicios y productos digitales que tengan menores impactos ambientales (recursos, emisiones de GEI, consumo, producción de residuos, ecotoxicidad, etc.) y moderar el uso diario de la tecnología digital.

**Baja tecnología** se refiere a tecnologías y una lógica orientada a la sobriedad en el uso de la energía y los materiales, la alta sostenibilidad y la resiliencia colectiva. Es un enfoque que fomenta el tecnodiscernimiento. El objetivo es establecer un nivel logístico óptimo (el nivel más bajo para garantizar las funciones esenciales). El enfoque de baja tecnología se basa en tres principios:

1. Pensar en cómo reducir al máximo la extracción de recursos en origen y la contaminación que esto genera.
2. Pensar en qué se produce para aumentar la vida útil de los productos.
3. Pensar en métodos de producción que hagan más resilientes nuestros estilos de vida.\*

\* Esta definición de baja tecnología se basa en la siguiente nota de un grupo de trabajo de La Fabrique Écologique: Philippe Bihouix, Emilie Baume de Brosse, Geneviève Besse, Fabrice Bonnifet, Marc Darras, Thomas Désaunay, Jean-Marc Gancille, Amandine Garnier, Thierry Groussin, Thomas Guillerrou, Arthur Keller, Catherine Lapierre, Dominique Py, Sandrine Roudaut, Agnès Sinaï, Mathilde Soyer, Bruno Tassin, Arnaud Vanhove, Dominique Viel, *Vers des technologies sobres et résilientes – Pourquoi et comment développer l'innovation "low-tech"?*, Abril 2019

# Nuestra prioridad #1

## Recomendaciones

### Reducir los impactos medioambientales reduciendo el número de dispositivos

#### Reducir la cantidad de dispositivos necesarios

Nuestra recomendación más importante es reducir el número de dispositivos a nivel profesional, corporativo y de consumidor. Cada adquisición o cambio potencial de dispositivo debe evaluarse en términos del equilibrio entre ganancia (por ejemplo, eficiencia energética) y costo (por ejemplo, renovación de equipos).

La mayor parte de los impactos ambientales relacionados con los recursos, en el ciclo de vida de un dispositivo de usuario, se producen durante la fase de fabricación. El cambio de un dispositivo de TIC en aras de una mayor eficiencia energética tiene efectos adversos sobre los recursos no renovables, que son limitados (**véanse los resultados de nuestro estudio sobre recursos, minerales y metales, los resultados normalizados y ponderados, y nuestro estudio de caso sobre materias primas**). Cada vez que reemplazamos un dispositivo por otro, recurrimos a un capital limitado, ya que los recursos utilizados para fabricar equipos de TIC no son renovables.

Para reducir el número de dispositivos necesarios a escala económica, también es crucial considerar el impacto de la implementación de cualquier nueva tecnología en términos de coherencia y el riesgo de una renovación masiva de los equipos de usuario actuales. También debemos tener cuidado con las ganancias de eficiencia, que a menudo van de la mano con un aumento en el consumo (**vea nuestro estudio de caso sobre los efectos de rebote**).

Cuando pensamos en renovar un elemento de hardware como una pantalla, es importante recordar lo exigente que es un televisor en términos de energía y recursos y, por lo tanto, optar por no reemplazarlo o reemplazarlo por una pantalla más pequeña. En lugar de comprar un televisor nuevo y más grande, elegir una compra de segunda mano y un tamaño diagonal más pequeño.

#### Agrupación de recursos

##### ➤ A todos los niveles de economía

Siempre que sea posible, optar por soluciones conjuntas en lugar de soluciones individuales para reducir el impacto ambiental. Por ejemplo, equipar un edificio con un router inalámbrico en lugar de uno por cada hogar.

Otros casos de puesta en común a nivel económico deben ser analizados por las evaluaciones del ciclo de vida. Deben fomentarse e incentivarse las empresas y las iniciativas sin ánimo de lucro que ofrezcan a los usuarios los beneficios de la agrupación de equipos TIC que puedan compartirse o reutilizarse, ya que estimularán una economía circular y resiliencia a nivel europeo.

En la UE-28, hay alrededor de 202.030.000 routers de DSL o fibra instalados en los hogares<sup>7</sup>. Para los hogares que se encuentran en edificios de zonas densamente pobladas, los routers podrían agruparse, como ya sucede en hoteles, empresas, hospitales y algunas residencias de estudiantes. La agrupación también daría como resultado una exposición menos intensa a las ondas electromagnéticas. Sin embargo, habría que tener en cuenta los picos de consumo por la noche, ya que esto puede restar beneficios a la agrupación de routers.

7 90% de los hogares equipados en 2019, fuente: [https://ec.europa.eu/eurostat/product?code=isoc\\_ci\\_in\\_h&mode=view&language=EN](https://ec.europa.eu/eurostat/product?code=isoc_ci_in_h&mode=view&language=EN) ; 224.478.700 hogares en la UE28 en 2019, fuente: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tfst\\_hhnhtych/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tfst_hhnhtych/default/table?lang=en)



### ► Equipos

La unificación de funcionalidades puede aportar mayores beneficios. Por ejemplo, tener un dispositivo multifuncional, como un smartphone, en lugar de varios dispositivos conectados que ofrezcan funcionalidades idénticas o similares: podómetro, GPS, reloj conectado, módems autónomos de banda ancha móvil.

De manera similar, el uso de un monitor más pequeño para múltiples usos en lugar de tener diferentes tipos de monitores para diferentes usos, incluido un televisor grande, reducirá la huella ambiental.

Producir y usar un dispositivo multifuncional tiene un impacto ambiental menor que producir y usar múltiples dispositivos de varios tipos (véanse los resultados de nuestro estudio sobre los impactos ambientales de los equipos de usuario final, especialmente los impactos ambientales por tipo de dispositivo).

### ► Basar el desarrollo tecnológico en los equipos existentes

Fomentar la actualización de los equipos existentes para reducir el impacto ambiental.

Fomentar la modularidad a través de la estandarización.

Se debe investigar la viabilidad de desarrollar nuevas tecnologías basadas en equipos existentes y, por lo tanto, incentivarlas para reducir el impacto ambiental.

A corto plazo, esto ayudaría a salvar la brecha digital al garantizar la igualdad de trato de los usuarios. A medio plazo, esto permitirá que los residuos electrónicos se reacondicionen y reciclen más fácilmente. A largo plazo, contribuirá a la resiliencia y la soberanía europeas sobre las materias primas críticas.

## Ecodiseño

El ecodiseño es una herramienta para la resiliencia, la independencia y la autonomía geopolítica. Tres factores permitirán a Europa ser autónoma en materia de TIC: en primer lugar, el conjunto de equipos actualmente en stock<sup>8</sup>, en segundo lugar, los residuos electrónicos de equipos anteriores; en tercer lugar, los recursos humanos cualificados. La UE tiene la oportunidad de diferenciarse de China y Estados Unidos **confiando en el capital inmaterial**, que es más resistente y depende menos de los mercados externos. Como la UE no tiene los recursos para ser independiente extrayendo sus propios metales preciosos y críticos<sup>9</sup>, el ecodiseño combinado con una economía circular es una solución económica que contamina menos<sup>10</sup>, puede requerir menos inversión y puede ser más rápida de implementar.<sup>11</sup>

### ► Ecodiseño de equipos

Hacer obligatorio el ecodiseño de los equipos mediante un ACV multicriterio, conforme a la norma ISO 14040-44, antes y después del ecodiseño, y cumpliendo la norma ISO 14062 para el ecodiseño.

8 En cuanto a los recursos, minerales y metales, los equipos existentes ya han causado la mayor parte de su impacto ambiental durante la fase de fabricación (véase los resultados de nuestro ACV multicriterio para equipos de usuario final)

9 Véase nuestro estudio de caso sobre el agotamiento de materias primas

10 Véase nuestro estudio de caso sobre el agotamiento de materias primas

11 Véanse los comentarios de Greenconcept en <http://www.greenconcept-innovation.fr/temoignages/> así como ELA INNOVATION: [http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/ELA\\_INNOVATION\\_fiche\\_Ademe\\_GreenConcept2409.pdf](http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/ELA_INNOVATION_fiche_Ademe_GreenConcept2409.pdf) PriceComparator: [http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/PriceComparator\\_fiche\\_Ademe\\_GreenConcept2108.pdf](http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/PriceComparator_fiche_Ademe_GreenConcept2108.pdf)

## ➤ **Ecodiseño servicios digitales**

Dado que se reconoce que la innovación restringida es un estímulo eficaz para la innovación disruptiva, recomendamos:

Hacer obligatorio el ecodiseño de los servicios digitales centrándose en las funcionalidades clave y las necesidades de los usuarios, teniendo en cuenta los límites globales y utilizando el ACV multicriterio según la norma ISO 14040-44 antes y después del ecodiseño, y siguiendo la norma ISO 14062 para el ecodiseño.

Fomentar el pleno aprovechamiento del potencial de las tecnologías existentes y generalizadas antes de desplegar otra, por ejemplo, premiando los servicios innovadores que utilicen tecnologías existentes y generalizadas en un enfoque de diseño ecológico de la cadena de valor de los servicios.

Centrarse en las principales funcionalidades significa optimizar los sitios web, las aplicaciones y el software que provocan la congestión de la infraestructura y ralentizan los tiempos de respuesta. Los beneficios inmediatos son servicios más rápidos que funcionan en una mayor cantidad de dispositivos, incluidos los más antiguos, y menos información, lo que también ayuda a los usuarios a encontrar la información clave que buscan.

El ecodiseño de servicios digitales es un medio para desarrollar infraestructuras frugales y resilientes y optimizar la transmisión de datos y la computación. El ecodiseño es un enfoque global que incluye un código “más ligero”, pero no es solo eso. Puede ser una herramienta para reducir el tráfico de datos e, incluso, el número de servidores necesarios. La optimización de la solución tecnológica ayuda a aumentar la vida útil de los equipos y, en menor medida, también reduce los requisitos de energía.

# **Luchar contra todas las formas de obsolescencia: aumentar la vida útil**

## **Reducir la obsolescencia funcional**

Reforzar la legislación contra la obsolescencia programada:

Fomentar altas tasas de reciclabilidad y reutilización, garantizar la compatibilidad entre generaciones (de tecnologías de red, hardware, software), accesorios, fomentar la disponibilidad de piezas de repuesto. Implicar a las partes interesadas en el reciclaje en la definición de criterios y objetivos de reciclabilidad basados en evaluaciones del ciclo de vida multicriterio.

Fomentar el desarrollo de actividades en favor del mercado de segunda mano: establecer objetivos y un calendario para el desarrollo de una industria de reparación de equipos TIC, con pasos iniciales clave como un pasaporte de producto.

El pasaporte del producto sería un primer y fundamental paso para hacer que las reparaciones de productos sean más fiables y aumentar la confianza en los dispositivos de segunda mano. Ayudaría a estructurar la industria de la reparación en Europa para garantizar la fiabilidad y la madurez.



### Reducir la obsolescencia indirecta: obsolescencia psicológica y de incompatibilidad

Más allá de los problemas mecánicos y de recursos de un dispositivo que pueden resolverse reparándolo, el conocimiento público de los impactos ambientales de las TIC, así como el ecodiseño de los servicios digitales, también tienen un papel que desempeñar.

#### ► Comunicación pública general

Sensibilizar a todas las generaciones sobre los repercusiones de la tecnología digital mediante la comunicación pública sobre los impactos medioambientales de los equipos de usuario final y las TIC en general.

Prohibir la publicidad a favor de la renovación de equipos.

garantizar esfuerzos comunes de compatibilidad con versiones anteriores. La aplicación de las mejores prácticas de ecodiseño para los sistemas operativos, el software y las aplicaciones garantizará la compatibilidad con versiones anteriores, con ventajas complementarias en términos de rapidez y capacidad de respuesta de los servicios, y un menor uso de memoria y consumo de datos ([véase nuestra recomendación sobre servicios digitales de ecodiseño](#)). Los servicios digitales de diseño ecológico también pueden extender la vida útil de los dispositivos: dado que el diseño es más liviano y deliberadamente compatible con equipos más antiguos, los dispositivos más antiguos pueden seguir usándose.

#### ► A nivel de ecodiseño

Se puede hacer una distinción entre dos tipos de obsolescencia por incompatibilidad: uno es entre software nuevo y equipos y sistemas operativos más antiguos, y otro es entre nuevas versiones de un sistema operativo y software más antiguo.

Hacer obligatoria la compatibilidad del software con equipos y sistemas operativos (SO) más antiguos.

Hacer obligatoria la compatibilidad del sistema operativo (SO) con software antiguo.

En el primer caso, por ejemplo, las principales funcionalidades de las aplicaciones para teléfonos inteligentes o el software de los ordenadores aún deberían ser compatibles y accesibles en sistemas operativos (SO) anteriores. En el segundo caso, cuando se instala una nueva versión del sistema operativo en el dispositivo, las funciones principales del software anterior aún deberían estar accesibles.

La incompatibilidad con versiones anteriores es el resultado de un fallo en el ecodiseño (debido a la falta de incentivos). La incompatibilidad con versiones anteriores se puede incentivar al principio. Los desarrolladores de la industria deben trabajar juntos para

## Reutilización masiva

Recomendamos tres herramientas para masificar la reutilización:

Introducir una directiva europea de reutilización. Esta directiva debe tener como objetivo medir los flujos de reutilización, aumentar los vínculos entre las organizaciones de responsabilidad de los productores de residuos electrónicos (ORP) y el sector de la reutilización, y limitar las fugas de residuos electrónicos fuera de Europa. También debe ayudar a promover la reutilización en la economía circular y establecer objetivos.

Europa tiene un parque de equipos activos e inactivos que son un gasto a fondo perdido. Esta directiva de reutilización obligará a posponer el momento en que los dispositivos se conviertan inevitablemente en residuos. La Directiva europea sobre reutilización debe ser coherente con la directiva sobre residuos electrónicos existente para garantizar que no haya contradicción entre fomentar la recogida de residuos electrónicos y fomentar la recogida de equipos reutilizables, y establecer objetivos coherentes para ambos.

Introducir un pasaporte de producto similar a las matrículas de los vehículos para garantizar la trazabilidad de los productos y sus componentes y, sobre todo, para proporcionar un marco más estricto para el reacondicionamiento.

Este pasaporte de producto es un primer paso para definir el término reacondicionamiento y desarrollar un marco regulatorio para el sector.

Establecer especificaciones estrictas para los restauradores y establecer pruebas técnicas obligatorias y estandarizadas para dispositivos electrónicos con una garantía de producto que debe situarse entre el 100% y el 50% de la garantía de un producto nuevo.

Al igual que se hace con las inspecciones técnicas de vehículos, las pruebas técnicas para dispositivos electrónicos ayudarían a generar confianza en los dispositivos de segunda mano de los clientes. La ausencia de ese tipo de pruebas daña la credibilidad de todo el sector: la gente desconfía de los dispositivos reparados. Las pruebas ayudarían a construir una industria de reparación y economía circular activa, fiable y próspera en Europa.

## Facilitar datos fiables sobre responsabilidad digital a la ciudadanía europea

Crear y ejecutar una plataforma de información con datos fiables, consensuados y multicriterio sobre los impactos ambientales de las TIC para detener el ecoblanqueo.

A nivel europeo, contar con un conjunto de expertos independientes que garanticen la calidad del contenido y validen la información publicada en la plataforma mediante revisión por pares para garantizar la fiabilidad y exhaustividad de los datos a los que tendrán acceso los responsables de la toma de decisiones, así como los profesores de toda la UE y del extranjero.

Incentivar a la industria para que utilice las herramientas disponibles en esta plataforma y la alimente con los datos más recientes con miras a su apertura y transparencia.

Los datos de impacto ambiental de esta plataforma podrían extraerse, por ejemplo, de los ACV sobre los usos digitales frecuentes de los europeos y las medidas clave que deben aplicarse (por ejemplo, promover la reutilización de teléfonos inteligentes) para demostrar su eficacia. La plataforma también podría ayudar a desacreditar las falsas buenas ideas.

## Generalizar el diagnóstico medioambiental: un producto solo puede ser ecológico si se ha demostrado que lo es

En lo que respecta a la comunicación medioambiental o a la financiación de productos o servicios innovadores para la preservación del clima o de los recursos, hay que basarse sistemáticamente en una evaluación del ciclo de vida (ACV) conforme a la norma ISO 14040/44 que tenga en cuenta y distinga entre 1) los impactos positivos y negativos, y 2) los impactos directos e indirectos.

El análisis también debe distinguir entre los efectos en el mercado y los efectos en el ecosistema del producto o servicio, como el tipo y el número de accesorios relacionados con el producto o servicio.

Dado que las evaluaciones del ciclo de vida conformes con la norma ISO 14040/44 son el medio más fiable para medir el impacto medioambiental de un producto o servicio, un producto solo podrá considerarse “verde” si se ha demostrado que lo es, y su desarrollo deberá financiarse con fondos europeos para el clima solo si los estudios preliminares así lo demuestran.

## Apoyar la innovación mixta de baja y alta tecnología para el clima

La mayoría de las innovaciones que rompen esquemas no siempre son de alta tecnología: puede tratarse de una innovación de modelo. Las innovaciones que recomendamos para lograr un futuro más sostenible son innovaciones orientadas al progreso. La baja tecnología es un facilitador de nuevos modelos organizativos y modelos de negocio progresivos que deben considerarse al mismo nivel que la alta tecnología.<sup>12</sup>

Considerar la posibilidad de financiar una combinación de innovaciones de baja y alta tecnología como tecnologías de vanguardia prioritarias, en el marco del Fondo de Innovación para “pioneros del clima y los recursos”.

Hay una distinción semántica entre innovación y progreso: la innovación es un medio; el progreso es un objetivo. Recomendamos buscar el progreso como objetivo y luego elegir las herramientas apropiadas en línea con ese fin. El medio para lograr este objetivo puede ser la innovación, tanto a través de la baja tecnología como a través de la alta tecnología, y las dos pueden combinarse para obtener lo mejor de ambas.<sup>13</sup>

12 Véase definición de baja tecnología.

13 Algunos ejemplos:

1. Weather Force es la editora del servicio digital de previsión de lluvias para agricultores, Last Mile Agriculture. La aplicación de teléfono inteligente Last Mile Agriculture 4G le permite ver pronósticos detallados de lluvia para el mismo día y para el siguiente. Por lo tanto, permite a los agricultores optimizar los rendimientos de los cultivos. La unidad funcional elegida es: “Consultar el indicador de previsión de lluvias para hoy y mañana”. En una operación financiada por la ADEME, y llevada a cabo por GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, Neutreo por APL, los impactos ambientales (PED, GWP, WD, ADP) se dividieron por un factor de 2 a 5 a través de un enfoque de ecodiseño que combina baja y alta tecnología. Fuente: Greenconcept v3, 2019

2. La empresa Makina Corpus publica el servicio digital Geotrek que permite la creación de rutas de senderismo que luego están disponibles en línea (web) y en documentos PDF. La unidad funcional retenida es: “Construir y usar un itinerario”. En una operación financiada por la ADEME, y llevada a cabo por GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, Neutreo por APL, los impactos ambientales (PED, GWP, WD, ADP) se redujeron de -23% a -65% a través de un enfoque de ecodiseño que combina baja y alta tecnología. Fuente: Greenconcept v3, 2019

3. La empresa BS We opera el servicio de Comparación de Precios digital, que monitorea el precio de los productos vendidos en línea. La unidad funcional retenida es: “Monitorear el precio de 200 productos de 5 competidores una vez a la semana durante 1 año”. En una operación financiada por la ADEME, y llevada a cabo por GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, Neutreo por APL, los impactos ambientales (PED, GWP, WD, ADP) se dividieron por cuatro a través de un enfoque de ecodiseño (reemplazo de la interfaz de la aplicación por una alerta por correo electrónico). Fuente: Greenconcept v1, 2017

Véanse más ejemplos de comentarios sobre innovaciones que mezclan combinaciones de alta y baja tecnología en <http://www.greenconcept-innovation.fr/temoignages/>

# Nuestra prioridad #2

## recomendaciones

### Contratación verde para instituciones públicas

Anticipar el final de la vida útil y reutilizar todos los nuevos dispositivos adquiridos para las instituciones públicas. Para ello, hay que prever la segunda vida del dispositivo en las licitaciones.

Esto ayudará a aumentar la oferta de dispositivos de segunda mano y a construir el mercado de la reutilización.

### Regular el IdC

El crecimiento del IdC debe ser cuestionado dado que la tecnología digital está sujeta a restricciones y recursos limitados, no renovables y no biodegradables. La regulación del IdC también dará a Europa margen para planificar y anticipar su estrategia de resiliencia en un mundo donde la presión sobre los metales y, por lo tanto, sobre la tecnología digital está aumentando.

#### ➤ Diseño

Hacer obligatoria la apertura de la interfaz de comunicación de los objetos conectados (API) para que los usuarios puedan seguir utilizando sus objetos conectados incluso si el servicio ya no es compatible con el fabricante original. Dar competencia a los reguladores públicos en este tema.

Hoy en día, nos vemos obligados a comprar dispositivos patentados, como si fuera imposible vender un dispositivo con múltiples canales, como es el caso de los televisores. Esta limitación tiene enormes consecuencias en términos de obsolescencia: si un consumidor no está satisfecho con el servicio, o si la API ya no se mantiene, todo el dispositivo se descarta y, en la mayoría de los casos, no se reutiliza.

Como ningún regulador concebiría tener un televisor para un solo canal, la obligatoriedad de abrir la interfaz

de comunicación (API) de los objetos conectados permitiría a los usuarios seguir utilizando sus objetos conectados.

#### ➤ Uso y reutilización

Promover un modelo de negocio para el IdC basado en la funcionalidad, incluida la instalación temporal y la supervisión de sensores que puedan agruparse y reinstalarse en otro lugar después de cada secuencia de supervisión.

En muchos casos, los sensores de IoT se pueden instalar y supervisar durante un período determinado y luego reinstalarse en otro lugar, ya que no es necesario mantenerlos una vez que se hayan implementado las buenas prácticas y los reflejos. Esto limita por un lado el consumo de energía de los dispositivos IdC, ya que se agrupan y utilizan durante un tiempo limitado y, por otro, el consumo de recursos y la generación de residuos resultantes de la producción de dispositivos.

Por otro lado, no tiene sentido comprar dispositivos con IdC deshabilitado en lugar del mismo dispositivo diseñado sin componentes integrados del IdC.

## ► Fin de vida

Limitar el número de aparatos y promover la recogida de residuos electrónicos en las ciudades para limitar la contaminación al final de su vida útil.

En valores absolutos, las cantidades de recursos materiales en bruto, y en muchos casos críticos, diseminados por todo el mundo son enormes, pero la cantidad en cada dispositivo electrónico es pequeña<sup>14</sup>. A medida que los recursos se distribuyen en más y más miles de millones de dispositivos pequeños como resultado del IdC, el desafío de recoger y reciclar estos componentes es cada vez mayor. Pero reciclar estos componentes sigue siendo extremadamente difícil, más aún cuando los componentes forman aleaciones entre ellos. Por lo tanto, se deben hacer propuestas para regular y limitar el número de dispositivos y, en última instancia, el fenómeno de la entropía desde los componentes más concentrados hasta numerosos componentes más pequeños, como las etiquetas RFID (en textiles, libros y muchos otros productos).<sup>15</sup>

## Avanzar hacia redes complementarias en lugar de redes superpuestas

Nuestras redes se encuentran en una etapa de desarrollo en la que más del 97% de los hogares de la UE tienen cobertura de banda ancha fija y la cobertura media de 4G es superior al 96%<sup>16</sup>. Desde un punto de vista medioambiental, debe abordarse la cuestión de la superposición de redes de muy alta velocidad. La superposición del 5G a la banda ancha por fibra y satélite tiene un triple coste medioambiental.

El problema para las políticas públicas es cómo complementar estas redes en lugar de superponerlas, por ejemplo, imaginando zonas públicas de Wi-Fi en las ciudades a las que los teléfonos inteligentes se conectan preferentemente en lugar de a la red móvil. Esto es para evitar incurrir innecesariamente en los costos de tres redes diferentes solapándose unas con otras con el triple de impacto medioambiental, más el efecto rebote de la sustitución masiva de los termi-

nales para acceder a ellos cuando hay un cambio de generación (lo que también reduce la vida útil de las cajas de acceso entre redes y los teléfonos inteligentes).

Mientras tanto, es necesario asegurar que las redes de baja tecnología, como la 2G, se mantengan para garantizar un acceso mínimo asequible para todos, incluidas las personas que utilizan un teléfono con funciones, y evitar así aumentar la brecha digital en lo que respecta al uso.

Los beneficios de complementar las redes en lugar de superponerlas son múltiples: recordemos que los equipos de fabricación representan aproximadamente el 40% de los impactos ambientales de la tecnología digital en la UE - 28.<sup>17</sup> La reducción del número de dispositivos necesarios para las redes ayuda a reducir el coste medioambiental global de fabricación de esos dispositivos y el consumo global por parte de la red, y a garantizar que los usuarios estén menos expuestos a las ondas electromagnéticas. También reduce los costes de mantenimiento y renovación.

## Llevar la nube a la madurez de la gestión sostenible

### ► Servidores de centros de datos

Identificar y reducir los servidores zombis a menos del 8%.

En la actualidad, la nube genera un efecto rebote porque elimina antiguas fricciones: permite un acceso más fácil al recurso informático. Los responsables de TI pueden ampliar sus capacidades informáticas con unos pocos clics, mientras que en el otro extremo sigue siendo necesario el hardware. Como los recursos de TI son de fácil acceso, olvidamos para qué sirve nuestra máquina virtual (VM) y la dejamos funcionando para nada: actualmente, alrededor del 30% de los servidores no se utilizan<sup>18</sup>. Se ha demostrado que estos servicios zombie se pueden reducir de manera eficiente del 30% al 8% en un año si las empresas toman medidas al presentarles evidencias de la magnitud del problema. La eliminación de servidores zombis puede conllevar

14 Véanse nuestros estudios de caso sobre IdC y objetos conectados, sobre Materias primas, y sobre Residuos electrónicos y economía circular

15 Véase nuestro estudio de caso sobre IdC y objetos conectados

16 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/broadband-coverage-europe-2019> (última consulta: 10/06/2021)

17 Véanse los resultados de nuestro estudio de ACV

18 Jonathan Koomey y Jon Taylor, Servidores Zombis/Comatosos Redux, 2017; <https://www.koomey.com/post/159279936533> (última consulta: 10/06/2021)



ahorros considerables de capital y operativos (energía, hardware, mantenimiento de licencias, personal y espacio en el piso). También puede mejorar la seguridad del centro de datos, ya que es mucho menos probable que los servidores zombies tengan actualizaciones de seguridad.

### ► Informática de borde (Edge computing)

Cuestionar la necesidad de confiar en la informática de borde y regularla para garantizar que no contribuya a aumentar los impactos medioambientales de las TIC.

Hoy en día, la informática de borde se destaca cada vez más a menudo para ganar unos pocos milisegundos de ping. Sin embargo, aunque marca la diferencia en sectores específicos (medicina, finanzas, automóviles autónomos), ¿la informática de vanguardia genera mayores o menores impactos ambientales? Dado que la informática de borde es contraria al principio de agrupación, el mismo principio que actualmente permite que los centros de datos más grandes sean más eficientes energéticamente que los más pequeños, se requiere una mayor investigación en cuanto a sus impactos ambientales.

¿Cuándo deberían preferirse los centros de datos, que comparten capacidad informática, a la informática de borde, y cuándo al revés? ¿Cuáles son los impactos ambientales de la fabricación, instalación y mantenimiento de numerosas unidades de computación perimetral en todo el país o en todo el continente? ¿Cuáles son los costos ambientales y los posibles efectos de rebote de la superposición de la capacidad existente del centro de datos, y para qué beneficios? Como este tema apenas se estaba planteando en el momento en que se redactó este informe, sugerimos investigar más a fondo este asunto en futuras evaluaciones del ciclo de vida.

### ► Usos inducidos por el marketing

De manera similar al GDPR, obligatoriedad de configurar un modo “eco” en las plataformas (sitios web y aplicaciones). El objetivo es promover la libertad de elección de los usuarios sobre sus patrones de consumo.

Este modo “eco” debe ser accesible para todos los usuarios sin compra, tanto en las versiones web como en las versiones app de las plataformas. El modo “eco” debe incluir: prevención del lanzamiento automático de vídeos, desactivación del desplazamiento infinito, desactivación del seguimiento de datos y, en las plataformas de transmisión de vídeo y audio, la capacidad de reproducir música y vídeos sin conexión con una opción de carga local.

El objetivo del modo “eco” es limitar los efectos de rebote asociados al consumo de Internet. De hecho, el lanzamiento automático de vídeos, el desplazamiento infinito, los rastreadores de datos y la música y el vídeo en línea **se utilizan para aumentar el tiempo que los usuarios pasan en el servicio**. Y esto se hace a costa de la salud del usuario (mental y física) y juega con los resortes adictivos. Como resultado, el uso de la televisión y la pantalla está aumentando, lo que lleva a un mayor consumo energético. Por otro lado, el aumento del consumo de datos se traduce en un consumo de energía constante o mayor por parte de los centros de datos (incluso si se tienen en cuenta las ganancias de eficiencia energética, por enormes que sean)<sup>19</sup>, cuando el consumo debería reducirse para cumplir con el Acuerdo de París y el objetivo de limitación de 1,5°C. Adicionalmente, se incita a la gente a renovar sus dispositivos con más frecuencia para tener las iteraciones más recientes y potentes, lo que va en contra de nuestra primera recomendación.

# Nuestra prioridad #3

## recomendaciones

### IA: participar en oportunidades de soberanía y frugalidad digital

Actualmente, la IA se utiliza principalmente para aumentar el uso digital (recomendaciones de venta cruzada, propuestas de artículos y productos). Los efectos ambientales de las aplicaciones de IA están lejos de ser neutros en carbono: la IA a menudo se combina con Big Data para el aprendizaje automático, y el aprendizaje profundo consume grandes cantidades de datos.<sup>20</sup>

Sin embargo, como sucede con las estadísticas, si la calidad de los datos es alta, se necesitan menos datos para entrenar a la IA (aprendizaje automático). Para lograr una precisión de IA muy alta, se necesitan grandes cantidades de datos para la capacitación, lo que los científicos de Google llaman “la efectividad excesiva de los datos”.<sup>21</sup>

Por lo tanto, tenemos que abordar la cuestión de si hay que regular el uso de la IA con vistas a limitar el consumo de recursos y la futura escasez de recursos críticos necesarios para la fabricación de hardware.

Dar prioridad a las inversiones en frugalidad y soberanía digital para garantizar la resiliencia a largo plazo de Europa.

Restringir el despliegue de la IA a los proyectos en los que se demuestre que el beneficio medioambiental global es mayor que el coste medioambiental, mediante una evaluación del ciclo de vida multicriterio independiente y conforme a la norma ISO 14040-44.

Baja tecnología<sup>22</sup> por lo tanto, debe considerarse una prioridad, no en el sentido de baja tecnología versus alta tecnología, sino combinar ambas para obtener lo mejor de las dos<sup>23</sup> en beneficio de la sociedad y dentro

de los límites planetarios, en un enfoque que aprovecha la sobriedad y la eficiencia.

### Establecer condiciones ambientales de acceso obligatorias al mercado europeo de vehículos autónomos

En el marco de un amplio plan de movilidad que se evaluará a escala europea, incluida una comparación de todos los modos de transporte actualmente posibles, se establecerán condiciones medioambientales obligatorias de acceso al mercado europeo de vehículos autónomos que garanticen evitar los efectos rebote y promover los modos de transporte más respetuosos con el medio ambiente.

El coche autónomo aún no está listo para generalizarse, por lo que ahora es una oportunidad única para preguntarnos cómo podemos asegurarnos de que no se desarrolle a expensas del clima, los recursos planetarios y, en consecuencia, las generaciones futuras. La principal preocupación con los coches autónomos en este momento es que las TIC deberían ayudar a usar los vehículos a su máxima capacidad de carga para optimizar el coste ambiental del transporte, en lugar de que los vehículos vayan vacíos, y limitar los posibles efectos rebote haciendo que esta cuestión forme parte de un debate a gran escala para regular la transición hacia la movilidad del futuro. Este asunto se encuentra en la encrucijada de la tecnología digital y la movilidad. A la luz de los conocimientos actuales, por cada beneficio medioambiental que puedan conseguir los coches autónomos, los trenes o el transporte público consiguen más.<sup>24</sup>

20 Véase nuestro estudio de caso sobre inteligencia artificial

21 Alon Halevy y Peter Norvig y Fernando Pereira, *The Unreasonable Effectiveness of Data*, 2009

22 Véase la definición de baja tecnología

23 Véase el ejemplo de uso de detecciones de cáncer con y sin IA en nuestro estudio de caso sobre inteligencia artificial

24 Véase nuestro estudio de caso sobre efectos rebote



Esta área se encuentra en la frontera de nuestra experiencia y plantea cuestiones de política de movilidad, incentivos de transporte público y comportamientos sociales. Recomendamos considerar los automóviles autónomos no como un reemplazo de los automóviles actuales, sino como parte de una reflexión más amplia sobre la movilidad del mañana a escala europea, y garantizar que siempre se promuevan y prioricen modos de transporte más resilientes, eficientes y ampliamente accesibles.

# BIBLIOGRAFÍA

# Estudio de caso: IdC y objetos conectados

Accenture, 2017. *Digital Industrial Transformation with the Internet of Things*. [en línea] Disponible en: <[https://www.accenture.com/\\_acnmedia/pdf-49/accenture-digital-industrial-transformation-with-the-internet-of-things.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-49/accenture-digital-industrial-transformation-with-the-internet-of-things.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

IoT Analytics, 2020. *State of the IoT 2020: 12 billion IoT connections, surpassing non-IoT for the first time*. [en línea] Disponible en: <<https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

McKinsey Global Institute, 2020. *Connected world: An evolution in connectivity beyond the 5G revolution*. [en línea] Disponible en: <[https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology\\_Media\\_andTelecommunications/Telecommunications/Our\\_Insights/Connected\\_world\\_An\\_evolution\\_in\\_connectivity\\_beyond\\_the\\_5G\\_revolution/MGI\\_Connected-World\\_Discussion-paper\\_February-2020.pdf](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology_Media_andTelecommunications/Telecommunications/Our_Insights/Connected_world_An_evolution_in_connectivity_beyond_the_5G_revolution/MGI_Connected-World_Discussion-paper_February-2020.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

ITU. n.d. *Internet of Things Global Standards Initiative*. [en línea] Disponible en: <<https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Harvard Business Review. 2014. *How Smart, Connected Products Are Transforming Competition*. [en línea] Disponible en: <<https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Castorani et al., V., 2018. *Life cycle assessment of home smart objects: kitchen hood cases*. [en línea] Disponible en: <[https://www.researchgate.net/publication/324624605\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_of\\_Home\\_Smart\\_Objects\\_Kitchen\\_Hood\\_Cases](https://www.researchgate.net/publication/324624605_Life_Cycle_Assessment_of_Home_Smart_Objects_Kitchen_Hood_Cases)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Lelah, A., Mathieux, F. y Brissaud, D., 2011. *Contributions to eco-design of machine-to-machine product service systems: the example of waste glass collection*. [en línea] Doi.org. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.02.003>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Bonvoisin, J., Lelah, A., Mathieux, F. y Brissaud, D., 2014. *An integrated method for environmental assessment and ecodesign of ICT-based optimization services*. [en línea] Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.003>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Ingemarsdotter, E., Diener, D., Andersson, S. et al., 2021. *Quantifying the Net Environmental Impact of Using IoT to Support Circular Strategies—The Case of Heavy-Duty Truck Tires in Sweden*. [en línea] Disponible en: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-021-00009-0>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

H. Vo, J. Kattleus, S. Karki, S. Shopneel, 2020. *Life Cycle Assessment Summary Samsung Galaxy Watch*. [en línea] Disponible en: <[https://www.researchgate.net/publication/338801291\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_Summary\\_Samsung\\_Galaxy\\_Watch](https://www.researchgate.net/publication/338801291_Life_Cycle_Assessment_Summary_Samsung_Galaxy_Watch)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Xiuyan Li, K. Lu, 2019. *Improving sustainability with simpler alloys*. [en línea] Disponible en: <<https://science.sciencemag.org/content/364/6442/733>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Bordage, F., de Monteny, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E., GreenIT.fr. 2021. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*.

Pirson, T. y Bol, D., 2021. *Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach*. [en línea] Disponible en: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-the-embodied-carbon-footprint-of-IoT-edge-Pirson-Bol/49ac45f5d59ac-2047548fd168eff62393dfdd2ed>> [Consultado el 30 de septiembre de 2021].

Freitag C., Berners-Lee M., Widdicks K., Knowles B., Blair G. y Friday A., 2021. *The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations*. [en línea] Disponible en: <<https://arxiv.org/abs/2102.02622>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Anses.fr. 2021. ANSES. [en línea] Disponible en: <<https://www.anses.fr/en/content/presentation-anses>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Gossart, C., 2010. *Les enjeux environnementaux des technologies RFID*. [en línea] Disponible en: <<https://journals.openedition.org/terminal/1801?lang=fr>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

DRAETTA, L. y DELANOË, A., 2012. *RFID, une technologie controversée : ethnographie de la construction sociale du risque* (Collection Mondialisation, Hommes et Sociétés). [en línea] Youscribe.com. Disponible en: <<https://www.youscribe.com/catalogue/ebooks/actualite-et-debat-de-societe/medias/rfid-une-technologie-controversee-ethnographie-de-la-construction-2393274>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Csi.minesparis.psl.eu. 2014. [en línea] Disponible en: <[https://www.csi.minesparis.psl.eu/debatinginnovation/wp-content/uploads/2020/11/Resplnnov\\_RFID\\_ConferenceProgram\\_2014.pdf](https://www.csi.minesparis.psl.eu/debatinginnovation/wp-content/uploads/2020/11/Resplnnov_RFID_ConferenceProgram_2014.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

DRAETTA, L. y DELANOË, A., 2012. *RFID, une technologie controversée : ethnographie de la construction sociale du risque* (Collection Mondialisation, Hommes et Sociétés). [ebook] Disponible en: <[https://www.csi.minesparis.psl.eu/debatinginnovation/wp-content/uploads/2019/05/DI\\_2014\\_04-01\\_009-015.pdf](https://www.csi.minesparis.psl.eu/debatinginnovation/wp-content/uploads/2019/05/DI_2014_04-01_009-015.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Bucchi M. & Neresini F., 2002. *Biotech remains unloved by the more informed*. [en línea] Nature, 416: 261. Disponible en: <<https://www.nature.com/articles/416261a>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Raimi K. & Carrico A., 2016. *Understanding and beliefs about smart energy technology*. [en línea] Energy Research & Social Science, 12: 68-74. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629615301018>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Environnement-magazine.fr. 2015. *Quelle fin de vie pour les puces RFID ?*. [en línea] Disponible en: <<https://www.environnement-magazine.fr/recyclage/article/2015/12/01/46697/quelle-fin-vie-pour-les-puces-rfid>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Higginbotham, S., 2020. *Sustainability is the elephant in the IoT room*. [en línea] Disponible en: <<https://staceyoniote.com/sustainability-is-the-elephant-in-the-iot-room/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

French SME use case of ELA Innovation, from the GreenConcept ADEME Operation, between 2017 and 2019: [http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/ELA\\_INNOVATION\\_fiche\\_Ademe\\_GreenConcept2409.pdf](http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/ELA_INNOVATION_fiche_Ademe_GreenConcept2409.pdf)

## Estudio de caso: Inteligencia Artificial

Gartner, 2019. *Gartner Survey Shows 37 Percent of Organizations Have Implemented AI in Some Form*. [en línea] Disponible en: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-01-21-gartner-survey-shows-37-percent-of-organizations-have>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Roland Berger y Asgard, 2018. *Inteligencia Artificial – A strategy for European startups Recommendations for policymakers*. [en línea] Disponible en: <<https://asgard.vc/wp-content/uploads/2018/05/Artificial-Intelligence-Strategy-for-Europe-2018.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

McKinsey & Company, 2018. *Artificial-intelligence hardware: New opportunities for semiconductor companies*. [en línea] Disponible en: <<https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/artificial-intelligence-hardware-new-opportunities-for-semiconductor-companies>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Comisión Europea. 2018. *Artificial Intelligence – A European Perspective*. [en línea] Joint Research Centre. Disponible en: <<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113826>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Russell, S. y Norvig, P., 1995. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. [en línea] Disponible en: <[https://web.archive.org/web/20140505045226/http://stpk.cs.rtu.lv/sites/all/files/stpk/materiali/MI/Artificial Intelligence](https://web.archive.org/web/20140505045226/http://stpk.cs.rtu.lv/sites/all/files/stpk/materiali/MI/Artificial%20Intelligence)>

[A Modern Approach.pdf](#)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Bosch ConnectedWorld Blog. n.d. *Industry 4.0: Predictive maintenance use cases in detail*. [en línea] Disponible en: <<https://blog.bosch-si.com/industry40/industry-4-0-predictive-maintenance-use-cases-in-detail/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

AIMultiple. 2021. *Predictive vs Preventive: In-depth Maintenance Guide* [actualización de 2021]. [en línea] Disponible en: <<https://research.aimultiple.com/predictive-maintenance-vs-preventive-maintenance/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Deepmind. 2016. *DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%*. [en línea] Disponible en: <<https://deepmind.com/blog/article/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N. y Koomey, J., 2020. *Recalibrating global data center energy-use estimates*. [en línea] Science. Disponible en: <<https://doi.org/10.1126/science.aba3758>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Ellen MacArthur Foundation, 2019. *Artificial intelligence and the circular economy - AI as a tool to accelerate the transition*. [en línea] Disponible en: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

IRENA International Renewable Energy Agency, 2019. *Innovation landscape brief: Artificial intelligence and big data*. [en línea] Disponible en: <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA\\_AI\\_Big\\_Data\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_AI_Big_Data_2019.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

McKinsey & Company, 2018. *Artificial-intelligence hardware: New opportunities for semiconductor companies*. [en línea] Disponible en: <<https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/artificial-intelligence-hardware-new-opportunities-for-semiconductor-companies>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Norvig, Peter et al., 2009. *The Unreasonable Effectiveness of Data*. [en línea] Disponible en: <[https://www.researchgate.net/publication/224396640\\_The\\_Unreasonable\\_Effectiveness\\_of\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/224396640_The_Unreasonable_Effectiveness_of_Data)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Sun, Chen et al., 2017. *Revisiting Unreasonable Effectiveness of Data in Deep Learning Era*. [en línea] Disponible en: <<https://arxiv.org/abs/1707.02968>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Data, R., 2017. *Revisiting the Unreasonable Effectiveness of Data*. [en línea] Google AI Blog. Disponible en: <<https://ai.googleblog.com/2017/07/revisiting-unreasonable-effectiveness.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Emma Strubell y al., 2019. *Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP*, University of Massachusetts Amherst. [en línea] Disponible en: <<https://arxiv.org/abs/1906.02243>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

MIT Technology Review. 2019. *Training a single AI model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes*. [en línea] Disponible en: <<https://www.technologyreview.com/2019/06/06/239031/training-a-single-ai-model-can-emit-as-much-carbon-as-five-cars-in-their-lifetimes/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

## Estudio de caso: Informática en la nube

Cisco, 2018. *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2016-2021*: White Paper. [en línea] Disponible en: <[https://virtualization.network/Resources/Whitepapers/0b75cf2e-0c53-4891-918e-b542a5d364c5\\_white-paper-c11-738085.pdf](https://virtualization.network/Resources/Whitepapers/0b75cf2e-0c53-4891-918e-b542a5d364c5_white-paper-c11-738085.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Eurostat. 2021. *Cloud computing - statistics on the use by enterprises - Statistics Explained*. [en línea] Disponible en: <[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Cloud\\_computing\\_-\\_statistics\\_on\\_the\\_use\\_by\\_enterprises](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Cloud_computing_-_statistics_on_the_use_by_enterprises)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Gartner, 2020. *Gartner says worldwide IaaS Public Cloud services market grew 37.3% in 2019*. [en línea] Disponible en: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/>>



[press-releases/2020-08-10-gartner-says-worldwide-iaas-public-cloud-services-market-grew-37-point-3-per-cent-in-2019](#)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Judge, P., 2021. *Europe's FLAP markets have 2,000MW of data center capacity*. [en línea] DatacenterDynamics.com. Disponible en: <<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/europes-flap-markets-have-2000mw-of-data-center-capacity/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Judge, P., 2020. *Informe: Dublín reemplaza a París en los cuatro primeros, a medida que los centros europeos se aceleran*. [en línea] DatacenterDynamics.com. Disponible en: <<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/report-dublin-replaces-paris-top-four-european-hubs-accelerate/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

DC Byte. 2021. *Global market data and analytics for the data centre sector - DC Byte*. [en línea] Disponible en: <<https://dcbyte.com/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Mell, P. y Grance, T., 2011. *The NIST Definition of Cloud Computing: Recomendaciones del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología*. [en línea] NIST: Instituto Nacional de Estándares y Tecnología del Departamento de Comercio de los Estados Unidos. Disponible en: <<http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecial-publication800-145.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

IDC. 2021. *El mercado mundial de servicios en la nube pública alcanzará un total de 312.000 millones de dólares en 2020, con Amazon Web Services y Microsoft compitiendo por la primera posición general, según el IDC*. [en línea] Disponible en: <<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS47685521>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Cisco, 2015. *Cisco Global Cloud Index 2014–2019: 2015. Actualización*. [en línea] Disponible en: <[https://www.cisco.com/c/dam/m/en\\_us/service-provider/ciscoknowledgenetwork/files/547\\_11\\_10-15-Documents-Cisco\\_GCI\\_Deck\\_2014-2019\\_for\\_CKN\\_10NOV2015\\_.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/service-provider/ciscoknowledgenetwork/files/547_11_10-15-Documents-Cisco_GCI_Deck_2014-2019_for_CKN_10NOV2015_.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Eurostat. 2019. [en línea] Disponible en: <<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tin00127/default/table?lang=fr>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Perspectives, E. and Report, C., 2020. *Informe anual de internet Cisco- Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*. [en línea] Cisco. Disponible en: <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Eurostat, 2018. *Les services de cloud computing sont utilisés par plus d'une entreprise sur quatre dans l'UE*. [en línea] Disponible en: <[https://ec.europa.eu/eurostat/documents/portlet\\_file\\_entry/2995521/9-13122018-BP-FR.pdf/a21954b5-3d96-415b-8319-77a24fac10b3](https://ec.europa.eu/eurostat/documents/portlet_file_entry/2995521/9-13122018-BP-FR.pdf/a21954b5-3d96-415b-8319-77a24fac10b3)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Yu, L., 2011. *Coevolution of information ecosystems: a study of the statistical relations among the growth rates of hardware, system software, and application software*. [en línea] Association for Computing Machinery. Disponible en: <<https://doi.org/10.1145/2047414.2047435>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

VMware. n.d. *Server Virtualization | Server Consolidation | VMware*. [en línea] Disponible en: <<https://www.vmware.com/solutions/consolidation.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

IDC. 2020. *IDC's Global DataSphere Forecast Shows Continued Steady Growth in the Creation and Consumption of Data*. [en línea] Disponible en: <<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46286020>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Linthicum, D., 2020. *Cloud adoption in a post-COVID world*. [en línea] InfoWorld. Disponible en: <<https://www.infoworld.com/article/3586597/cloud-adoption-in-a-post-covid-world.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Koomey, J. y Taylor, J., 2017. *Zombie/Comatose Servers Redux*. [en línea] Disponible en: <<https://www.anthesis-group.com/report-zombie-and-comatose-servers-redux-jon-taylor-and-jonathan-koomey/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Jonathan G. Koomey, Ph.D. 2017. *Our newest work on comatose/zombie servers, out this week*. [en línea] Disponible en: <<https://www.koomey.com/post/159279936533>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

2020. Etude sur la caractérisation des effets rebond induits par le télétravail. [en línea] ADEME. Disponible en: <<https://bibliothèque.ademe.fr/mobilite-et-transport/3776-caracterisation-des-effets-rebond-induits-par-le-teletravail.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

2020. *Estudio de impacto de las TIC preparado por VHK y Viegand Maagøe para la Comisión Europea, Asistencia a la Comisión Europea-Estudio de impacto de las TIC-INFORME FINAL*. [en línea] Comisión Europea-Energía. Disponible en: <<https://circabc.europa.eu/sd/a/8b7319ba-ce4f-49ea-a6e6-b28df00b20d1/ICT%20impact%20study%20final.pdf>> [Consultado el 30 de septiembre de 2021].

Google Data Centers. 2021. *Eficiencia-Centros de Datos – Google*. [en línea] Disponible en: <<https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Hintemann, R. y Hinterholzer, S., 2019. *Energy consumption of data centers worldwide: How will the internet become green?*. [en línea] CEUR Workshop Proc. Disponible en: <[https://www.researchgate.net/publication/341427004\\_Energy\\_consumption\\_of\\_data\\_centers\\_worldwide\\_How\\_will\\_the\\_Internet\\_become\\_green](https://www.researchgate.net/publication/341427004_Energy_consumption_of_data_centers_worldwide_How_will_the_Internet_become_green)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Shalf, J., 2020. *The future of computing beyond Moore's Law*. [en línea] Royal Society. Disponible en: <<https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0061>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Koot, M. y Wijnhoven, F., 2021. *Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model*. [en línea] Applied Energy, Volume 291. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116798>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

2021. *CRU proposed Direction to the System Operators related to Data Centre grid connection*. Documento de Consulta. [en línea] Commission for Regulation of Utilities. Disponible en: <<https://www.cru.ie/wp-content/uploads/2021/06/CRU21060-CRU-consultation-on-Data-Centre-measures.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

LeBigData.fr. 2021. *Irlande : les Data Centers principaux responsables des pannes électriques* - LeBigData.fr. [en línea] Disponible en: <<https://www.lebigdata.fr/irlande->

[data-centers-pannes-electriques](#)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

MasterDC. 2015. *How Data Center Free Cooling Works and Why it is Brilliant*. [en línea] Disponible en: <<https://www.masterdc.com/blog/what-is-data-center-free-cooling-how-does-it-work/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Gelas, J., 2014. *Free Cooling: the Server Side of the Story*. [en línea] Anandtech.com. Disponible en: <<https://www.anandtech.com/show/7723/free-cooling-the-server-side-of-the-story>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Tc0909.ashraetcs.org. 2021. Index | *ASHRAE 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces and Electronic Equipment*. [en línea] Disponible en: <<http://tc0909.ashraetcs.org/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Acton, M., Bertoldi, P., Booth, J., Flucker, S., Newcombe, L., Royer, A. y Tozer, R., 2018. 2019 *Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency*. [en línea] European Commission, Ispra, JRC. Disponible en: <[https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc114148\\_best\\_practice\\_guide\\_2019\\_final.pdf](https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc114148_best_practice_guide_2019_final.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Hainan Zhang, Shuangquan Shao, Hongbo Xu, Huiming Zou, Changqing Tian, 2014. *Free cooling of data centers: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 35.* [en línea] pp.Pages 171-182. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114002445>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Wilson, A., 2021. *Immersion Cooling - The Future of Data Center Technology* - Predictive Technology, Inc.. [en línea] Predictive Technology, Inc. Disponible en: <<https://www.ptisolutions.com/immersion-cooling-the-future-of-data-center-technology/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Branscombe, M., 2021. *Data Center Firm Expects to Halve Energy Cost by Recycling Heat*. [en línea] Data Center Knowledge. Disponible en: <<https://www.datacenter-knowledge.com/design/data-center-firm-expects-halve-energy-cost-recycling-heat>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

DatacenterDynamics.com. 2016. *Yandex data center heats Finnish city*. [en línea] Disponible en: <<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/yandex-data-center-heats-finnish-city/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Judge, P., 2017. *Facebook's Denmark data center will supply heat to city*. [en línea] DatacenterDynamics.com. Disponible en: <<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/facebook-denmark-data-center-will-supply-heat-to-city/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Green IT. 2017. *Stimergy chauffe une piscine parisienne*. [en línea] Disponible en: <<https://www.greenit.fr/2017/07/25/stimergy-chauffe-piscine-parisienne/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

EU Science Hub - European Commission. n.d. *Código de Conducta para la Eficiencia Energética en los Centros de Datos-UE Science Hub - European Commission*. [en línea] Disponible en: <<https://ec.europa.eu/jrc/en/energy-efficiency/code-conduct/datacentres>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

## Estudio de caso:

# 5G

Roland Berger y Asgard, 2018. *Inteligencia Artificial – A strategy for European startups Recommendations for policymakers*. [en línea] Disponible en: <<https://asgard.vc/wp-content/uploads/2018/05/Artificial-Intelligence-Strategy-for-Europe-2018.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

GSMA, 2018. *The Mobile Economy 2018*. [en línea] Disponible en: <<https://www.gsma.com/northamerica/wp-content/uploads/2018/08/The-Mobile-Economy-2018.pdf>> [Consultado el 30 De septiembre de 2021].

Perspectives, E. and Report, C., 2020. *Cisco Annual Internet Report - Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*. [en línea] Cisco. Disponible en: <[https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-](https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html)

[paper-c11-741490.html](https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Gartner, 2019. *Gartner Predicts Outdoor Surveillance Cameras Will Be Largest Market for 5G Internet of Things Solutions Over Next Three Year*. [en línea] Disponible en: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-10-17-gartner-predicts-outdoor-surveillance-cameras-will-be>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

IDATE DigiWorld. 2018. *state of LTE & 5G markets*. [en línea] Disponible en: <<https://5gobservatory.eu/about/what-is-5g/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Deloitte, 2017. *Communications infrastructure upgrade: The need for deep fiber*. [en línea] Disponible en: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-tmt-5GReady-the-need-for-deep-fiber-pov.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Deloitte. n.d. *5G and Edge Computing Use Cases*. [en línea] Disponible en: <<https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/articles/what-is-5g-edge-computing.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Consejo Europeo, 2020. *Reunión del Consejo Europeo (10 y 11 de diciembre de 2020) - Conclusiones EUCO 22/20 CO EUR 17 CONCL 8*. Bruselas: Secretaría General del Consejo, capítulo III, págs. 5-9. [en línea] Disponible en: <<https://www.consilium.europa.eu/media/47296/1011-12-20-euco-conclusiones-es.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Khesghi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, y M.V. Vilarino, 2018: *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, y T. Waterfield (eds.)]. In Press; [en línea] Disponible en: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15\\_](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_)

[Chapter2\\_Low\\_Res.pdf](#)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Commissariat général au développement durable, 2020. *L'empreinte carbone des Français reste stable*. [en línea] Disponible en: <<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-essentiel-204-l-empreinte-carbone-des-francais-reste-stable-janvier2020.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Gauthier Roussilhe, 2020. *Évolution des smartphones 4G vers 5G : Comment évaluer la situation et l'empreinte environnementale*, (in English: *Evolution of 4G smartphones to 5G: How to assess the situation and the environmental footprint*). [en línea] Disponible en: <<http://gauthierroussilhe.com/pdf/Smartphones4G5G-Septembre2020.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Perspectives, E. and Report, C., 2020. *Cisco Annual Internet Report - Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*. [en línea] Cisco. Disponible en: <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Gartner, 2019. *Gartner Predicts Outdoor Surveillance Cameras Will Be Largest Market for 5G Internet of Things Solutions Over Next Three Years*. [en línea] Disponible en: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-10-17-gartner-predicts-outdoor-surveillance-cameras-will-be>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Industrial Health & Safety Review. 2018. *5G implications for security - video surveillance & safe cities* | Industrial Health & Safety Review. [en línea] Disponible en: <<https://www.isrmag.com/5g-implications-security-video-surveillance-safe-cities/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Florinda F. Martins, Hélio Castro, 2019. *Raw material depletion and scenario assessment in European Union – A circular economy approach*. [en línea] Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.082>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

2019. *5G and FTTH: The Value of Convergence* Raf Meersman, CEO Comsof. Conferencia FTTH 13 de marzo de 2019. [en línea] Amsterdam: FTTH Consejo de

Europa, p. 5. Disponible en: <<https://web.archive.org/web/20201230150852/https://www.ftthcouncil.eu/documents/COM-190313-FibreFor5G-ConvergenceStudy-Presentation-RafMeersman%20-%20v4%20-%20publish.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Corning.com. 2018. *5G Fiber Optic Networks | How 5G will Impact Optical Fiber Cabling Requirements and Infrastructure* | Corning. [en línea] Disponible en: <<https://www.corning.com/in-building-networks/worldwide/en/home/knowledge-center/5g-networks-impact-on-fiber-optic-cabling-requirements.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

ISEMAG. 2020. *5G Requires New Power and Fiber Strategies* - ISEMAG. [en línea] Disponible en: <<https://isemag.com/2020/11/telecom-5g-fiber-power-small-cells-partnerships/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Duffy, C., 2021. *Verizon delaying shutdown of its 3G wireless network*. [en línea] CNN. Disponible en: <<https://edition.cnn.com/2021/01/07/tech/verizon-3g-shutdown-paused/index.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

AT&T. 2021. *Act NOW - 3G is Going Away in 2022*. [en línea] Disponible en: <<https://www.att.com/support/article/wireless/KM1324171>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Tactis.fr. 2021. *Vers une couverture 5G inférieure à la 4G ?*. [en línea] Disponible en: <<https://www.tactis.fr/simulation-couverture-5g/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

2019. *A technical look at 5G energy consumption and performance*. [en línea] Disponible en: <<https://www.ericsson.com/en/blog/2019/9/energy-consumption-5g-nr>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Huawei. 2019. *5G Power Whitepaper*. [en línea] Disponible en: <[https://www.huawei.com/minisite/5g-ultra-lean-site-2019/pdf\\_v1.0/5G-Power-White-Paper-en.pdf](https://www.huawei.com/minisite/5g-ultra-lean-site-2019/pdf_v1.0/5G-Power-White-Paper-en.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Future Networks. 2019. *Energy Efficiency: An Overview*. [en línea] Disponible en: <<https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/energy-efficiency-2/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

FierceWireless. 2020. *5G base stations use a lot more energy than 4G base stations: MTN*. [en línea] Disponible en: <<https://www.fiercewireless.com/tech/5g-base-stations-use-a-lot-more-energy-than-4g-base-stations-sa-ys-mtn>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Mtnconsulting.biz. 2020. *Operators facing power cost crunch – MTN Consulting*. [en línea] Disponible en: <<https://www.mtnconsulting.biz/product/operators-facing-power-cost-crunch/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

UIT. 2020. *Trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero para el sector de las tecnologías de la información y la comunicación compatibles con el Acuerdo de París de la CMNUCC*. [en línea] Disponible en: <[https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e & id=T-REC-L-1470-202001-1!!PDF-E & type=articulos](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e & id=T-REC-L-1470-202001-1!!PDF-E & type=articulos)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Comisión Europea. n. d. *Materias primas críticas: Mercado interior, Industria, Emprendimiento y PYME - Comisión Europea*. [en línea] Disponible en: <<https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical-en>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

## Estudio de caso: Vehículos autónomos

2019. *Digital Auto Report*. [en línea] PwC Strategy&. Disponible en: <<https://www.strategyand.pwc.com/de/de/studie/2019/digital-auto-report.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

BCG, CLEPA y Wolk, 2021. BCG, CLEPA y Wolk. [en línea] Disponible en: <<https://web-assets.bcg.com/36/39/e80d073a4067bfe89c7482d6db69/the-european-after-market-in-2030.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

STARS (Shared mobility opportunities and challenges for European cities), 2017. *Car sharing in Europe: a multidimensional classification and inventory*. [en línea] Disponible en: <<http://stars-h2020.eu/wp-content/>

<uploads/2019/06/STARS-D2.1.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

2021. *Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)*. [en línea] Disponible en: <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

SAE. 2019. *SAE J3016 automated-driving graphic*. [en línea] Disponible en: <<https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

SAE. 2014. *J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems - SAE International*. [en línea] Disponible en: <[https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_201401/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

McKinsey & Company. n.d. *Autonomous Driving*. [en línea] Disponible en: <<https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/overview/autonomous-driving>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

UCSUSA, 2020. *Ride-Hailing's Climate Risks Steering a Growing Industry toward a Clean Transportation Future*. [en línea] Disponible en: <[https://www.ucsusa.org/sites/default/files/2020-02/Ride-Hailings-Climate-Risks-Methodology\\_0.pdf](https://www.ucsusa.org/sites/default/files/2020-02/Ride-Hailings-Climate-Risks-Methodology_0.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

de Bortolli, A., 2021. *Environmental performance of shared micromobility and personal alternatives using integrated modal LCA*. [en línea] Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136192092100047X?dgcid=author>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Aggelos Soteropoulos, Martin Berger & Francesco Ciari, 2018. *Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: an international review of modelling studies*. [en línea] Disponible en: <<https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1523253>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

CORDIS / Comisión Europea. 2012. *Safe Road Trains for the Environment; developing strategies and technologies to allow vehicle platoons to operate on normal*

public highways with significant environmental, safety and comfort benefits. [en línea] Disponible en: <<https://cordis.europa.eu/project/id/233683/reporting>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Deloitte, 2021. *Car sharing in Europe: Business Models, National Variations and Upcoming Disruptions*. Monitor Deloitte. [en línea] Disponible en: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/CIP-Automotive-Car-Sharing-in-Europe.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Francesco Del Pero, Massimo Delogu, Marco Pierini, 2018. *Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car*. [en línea] Disponible en: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2452321618301690?token=54ABE050E03B0AC57E1F1D2F920B95E549B5C1434DB3BDBFACB7D4D0D264178A266210D801D1F8E433845ED4DB329E2B&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210414084035>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

James H. Gawron, Gregory A. Keoleian, Robert D. De Kleine, et al, 2018. *Life Cycle Assessment of Connected and Automated Vehicles: Sensing and Computing Subsystem and Vehicle Level Effects*. [en línea] American Chemical Society - Copyright © 2018. Disponible en: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b04576>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

## Estudio de caso: Efectos rebote

Koomey J., Naffziger S., 2015. *Efficiency's brief reprieve: Moore's Law slowdown hits performance more than energy efficiency*. [en línea] IEEE Spectrum. Disponible en: <<http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/moores-law-might-be-slowing-down-but-not-energy-efficiency>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

GreenIT.fr, 2019. *Environmental Footprint of the digital world*. [en línea] Disponible en: <<https://www.greenit.fr/environmental-footprint-of-the-digital-world/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Gossart, C., 2014. *Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature*. [en línea] Disponible en: <[https://gossart.wp.imt.fr/files/2014/10/Rebound\\_Effects\\_and\\_ICT.pdf](https://gossart.wp.imt.fr/files/2014/10/Rebound_Effects_and_ICT.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

GreenIT.fr. 2014. *L'effet rebond dans le numérique est-il évitable ?* - Green IT. [en línea] Disponible en: <<https://www.greenit.fr/2014/02/19/l-effet-rebond-dans-le-numerique-est-il-evitable>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Maxwell, D., Owen, P., McAndrew, L., Muehmel, K., Neubauer, A., 2011. *Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment*. [en línea] Disponible en: <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/416089fa-1a08-4772-97fc-c9258d2349c5/language-en/format-PDF/source-203469145>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Sorrell, S., 2009. *Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency*. *Energy Policy* Volumen 37, Número 4. [en línea] pp. 1456-1469. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421508007428>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Faist Emmenegger, M., Frischknecht, R., Stutz, M. et al., 2006. *Life Cycle Assessment of the Mobile Communication System UMTS: Towards Eco-efficient Systems*. [en línea] *Int J Life Cycle Assessment* 11, pp.265-276. Disponible en: <<https://doi.org/10.1065/lca2004.12.193>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Grübler, A., 1990. *The Rise and Fall of Infrastructures*. [en línea] Disponible en: <[http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/TNT/WEB/Publications/The\\_Rise\\_and\\_Fall\\_of\\_Infrastru/the\\_rise\\_and\\_fall\\_of\\_infrastru.html](http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/TNT/WEB/Publications/The_Rise_and_Fall_of_Infrastru/the_rise_and_fall_of_infrastru.html)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Lange S., Pohl J., Santarius T., 2020. *Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?*. [en línea] Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800919320622>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Coroama V.C., Hilty L.M., Birtel M., 2012. *Effects of Internet-based multiple-site conferences on greenhouse gas emissions*. [en línea] *Telemat. Inform*, pp.362-374. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tele.2011.11.006>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

- Santarius T., Pohl J. y Lange S., 2020. *Digitalization and the Decoupling Debate: Can ICT Help to Reduce Environmental Impacts While the Economy Keeps Growing?*. [en línea] Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/su12187496>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Hilty L.M., 2008. *Information technology and sustainability: Essays on the relationships between information technology and sustainable development*. [en línea] Books on Demand, Norderstedt. Disponible en: <[https://books.google.fr/books/about/Information\\_Technology\\_and\\_Sustainability.html?id=2vLVVfFS\\_2YC&redir\\_esc=y](https://books.google.fr/books/about/Information_Technology_and_Sustainability.html?id=2vLVVfFS_2YC&redir_esc=y)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N. y Koomey, J., 2020. *Re-calibrating global data center energy-use estimates*. [en línea] Science. Disponible en: <<https://doi.org/10.1126/science.aba3758>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- GreenIT.fr. 2020. *Data center : seulement 6% de hausse en 8 ans* - Green IT. [en línea] Disponible en: <<https://www.greenit.fr/2020/03/04/data-center-seulement-6-de-hausse-en-8-ans>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E., GreenIT.fr. 2021. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*.
- Zenith Media, 2019. *Media Consumption Forecasts*. [en línea] Disponible en: <<https://www.zenithmedia.com/product/media-consumption-forecasts-2019/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Android Authority. 2015. *How far we've come: a look at smartphone performance over the past 7 years*. [en línea] Disponible en: <<https://www.androidauthority.com/smartphone-performance-improvements-time-line-626109/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Empirica and TÜV Rheinland for the European Commission DG Communications Networks, Content & Technology, 2019. *Mobile broadband prices in Europe 2019. Digital Single Market*. [en línea] Disponible en: <<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/mobile-broadband-prices-europe-2019>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Vora L. J., 2015. *Evolution of mobile generation technology: 1g to 5g and review of upcoming wireless technology 5G*. [en línea] Disponible en: <<https://ijmter.com/papers/volume-2/issue-10/evolution-of-mobile-generation-technology-1g-to-5g-and-review-of-5g.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Techcrunch.com. 2021. *TechCrunch is now a part of Verizon Media*. [en línea] Disponible en: <<https://techcrunch.com/2021/01/13/app-stores-saw-record-218-billion-downloads-in-2020-consumer-spend-of-143-billion/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- The Social Dilemma*. 2020. [documental] <https://www.imdb.com/title/tt11464826/>.
- Andrew, O., 2018. *The History and Evolution of the Smartphone: 1992-2018*. [en línea] Textrequest.com. Disponible en: <<https://www.textrequest.com/blog/history-evolution-smartphone/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- IFA, 2019. *IFA Global Press Conference 2019*. [en línea] p.13. Disponible en: <[https://www.gfu.de/fileadmin/media/downloads/190427\\_GPC\\_Kamp\\_Praesentation.pdf](https://www.gfu.de/fileadmin/media/downloads/190427_GPC_Kamp_Praesentation.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- GeSI, 2008. *Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age*. [en línea] Disponible en: <<https://gesi.org/research/download/7>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Hilty, L., 2008. *Information Technology and Sustainability. Essays on the Relationship between ICT and Sustainable Development*. [en línea] p.41. Disponible en: <[https://www.researchgate.net/publication/301660679\\_2008\\_Hilty ICT\\_and\\_Sustainability\\_Chapters\\_1\\_2](https://www.researchgate.net/publication/301660679_2008_Hilty ICT_and_Sustainability_Chapters_1_2)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Herring, H., Roy, R., 2002. *Sustainable services, electronic education and the rebound effect. Environmental Impact Assessment Review*. [en línea] Disponible en: <[http://dx.doi.org/doi:10.1016/S0195-9255\(02\)00026-4](http://dx.doi.org/doi:10.1016/S0195-9255(02)00026-4)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Kitou E., Horvath A., 2003. *Energy-related emissions from Telework*. [en línea] Disponible en: <<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es025849p>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
2020. *Etude sur la caractérisation des effets rebond induits par le télétravail*. [en línea] ADEME. Disponible en: <<https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/3776->



[caracterisation-des-effets-rebond-induits-par-le-teletravail.html](#)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Eurostat. 2020. *E-commerce statistics for individuals - Statistics Explained*. [en línea] Disponible en: <[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-commerce\\_statistics\\_for\\_individuals#Most\\_popular\\_en\\_línea\\_purchases](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-commerce_statistics_for_individuals#Most_popular_en_línea_purchases)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Khurana A., Pal R., 2013. *Impact of e-commerce on environment*.

Kaft, E., 2020. 'Last mile' delivery push will worsen commutes, hurt the environment, World Economic Forum says. [en línea] CNBC.com. Disponible en: <<https://www.cnbc.com/2020/01/14/last-mile-delivery-push-will-worsen-commutes-hurt-the-environment-world-economic-forum-says.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Charlene Li, Miranda Miroso and Phil Bremer, 2020. *Review of En línea Food Delivery Platforms and their Impacts on Sustainability*. [en línea] Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.3390/su12145528>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Flipo, F., 2020. *L'impératif de la sobriété numérique, L'enjeu des modes de vies*. Editions Matériologiques. [en línea] <<https://materielogiques.com/fr/essais-2427-4933/315-limperatif-de-la-sobriete-numerique-lenjeu-des-modes-de-vie-9782373612585.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Fondation de l'Ecologie Politique. 2020. *Note de la FEP #23 - La face cachée du numérique*. [en línea] Disponible en: <<http://www.fondationecolo.org/blog/Note-de-la-FEP-23-La-face-cachee-du-numerique>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Fabrice Flipo, François Deltour, Michelle Dobré, Marion Michot, 2012. *Peut-on croire aux TIC vertes ?* [en línea] Disponible en: <<https://www.cairn.info/revue-responsabilite-et-environnement-2017-3-page-105.htm>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Organización Internacional del Trabajo-Ginebra: OIT, 2018. *World Employment and Social Outlook 2018: Greening with jobs*. [en línea] Disponible en: <[http://oit.org/global/publications/books/WCMS\\_628654/lang--en/index.htm](http://oit.org/global/publications/books/WCMS_628654/lang--en/index.htm)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

## Estudio de caso: Materias primas en las TIC

Comisión Europea, 2020. *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Resiliencia de las materias primas fundamentales: trazando el camino hacia un mayor grado de seguridad y sostenibilidad*. [en línea] Disponible en: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

OCDE, 2019. *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers And Environmental Consequences*. [en línea] Disponible en: <<https://www.oecd.org/environment/global-material-resources-outlook-to-2060-9789264307452-en.htm>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Comisión Europea, 2020. *Estudio sobre la lista de materias primas fundamentales de la UE, informe final*. [en línea] Disponible en: <<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42883/attachments/1/translations/en/renditions/native>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Wheeler, A., 2018. *What Raw Materials Are Used to Make Hardware in Computing Devices?* [en línea] Engineering.com. Disponible en: <<https://www.engineering.com/story/what-raw-materials-are-used-to-make-hardware-in-computing-devices>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Guillaume Pitron (trad. Bianca Jacobsohn), 2021. *The rare metals war: the dark side of clean energy and digital technologies*. [en línea] Disponible en: <<https://scribepublications.co.uk/books-authors/books/the-rare-metals-war>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Ideal Magnet Solutions. n.d. *Extract Rare Earth Elements from Acid Mine Drainage*. [en línea] Disponible en: <<https://idealmagnetsolutions.com/knowledge-base/extract-rare-earth-elements-from-acid-mine-drainage/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].



- CCI, 2018. *Cobalt, demand-supply balances in the transition to electric mobility*. [en línea] Centro Conjunto de Investigación de la Comisión Europea. Disponible en: <<https://ec.europa.eu/jrc/en/news/cobalt-potential-bottleneck-transition-electric-mobility>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Fraser, Jake; Anderson, Jack; Lazuen, Jose; Lu, Ying; Heathman, Oliver; Brewster, Neal; Bedder, Jack; Masson, Oliver, 2021. *Study on future demand and supply security of nickel for electric vehicle batteries*. [en línea] Luxemburgo: Oficina de publicaciones de la Unión Europea. Disponible en: <[https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC123439/roskill-jrc\\_classi\\_ni\\_market\\_study\\_identifiers\\_final.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC123439/roskill-jrc_classi_ni_market_study_identifiers_final.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2020. *Mineral Commodity Summaries*. [en línea] Disponible en: <<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Systext.org. 2021. *ISF SystExt - Smartphone 2017*. [en línea] Disponible en: <<https://www.systext.org/sites/all/animationreveal/mtxsmmp/#/7>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- IEA. 2021. *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis* - IEA. [en línea] Disponible en: <<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Belkaid, 2020. *La face honteuse du «>métal bleu>»*. [en línea] Le Monde diplomatique. Disponible en: <<https://www.monde-diplomatique.fr/2020/07/BELKAID/61982>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- International Rights Advocates. 2019. *IRAdvocates Files Forced Child Labor Case Against Tech Giants Apple, Alphabet, Dell, Microsoft and Tesla for Aiding and Abetting Extreme Abuse of Children Mining Cobalt in DRC*. [en línea] Disponible en: <<http://www.iradvocates.org/press-release/iradvocates-files-forced-child-labor-case-against-tech-giants-apple-alphabet-dell>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Cadot, J., 2017. *Minerais et conflits au Congo : quelles sont les entreprises de la tech les plus responsables ?*. [en línea] Numerama. Disponible en: <<https://www.numerama.com/tech/307318-minerais-et-conflits-au-congo-queelles-sont-les-entreprises-de-la-tech-les-plus-responsables.html>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Consejo de Seguridad de la ONU, 2016. “Informe final del Grupo de Expertos (2016)”, S / 2016 / 166. [en línea] Disponible en: <[http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=S/2016/466](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/2016/466)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Consejo de Seguridad de la ONU, 2010. “Interim report of the Group of Experts on the DRC”, S/2010/252. [en línea] Disponible en: <[http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=S/2010/252](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/2010/252)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Youtube.com. 2010. “Blood in the Mobile” película documental. [en línea] Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=Tv-hE4Yx0LU>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Worstpolluted.org. 2016. WorstPolluted.org: Informes. [en línea] Disponible en: <<http://www.worstpolluted.org/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Laura J. Sonter, Saleem H. Aliand James E. M. Watson, 2018. *Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science*. [en línea] Disponible en: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2018.1926>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Pablo Fernandez-Navarro, et al., 2012. *Proximity to mining industry and cancer mortality*. [en línea] Disponible en: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22846765/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Kader, M., 2020. *The toxic risks of mining rare earths*. [en línea] MalaysiaNow. Disponible en: <<https://www.malaysianow.com/opinion/2020/12/08/the-toxic-risks-of-mining-rare-earth/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Pubs.usgs.gov. 2007. *Global Nonfuel Mineral Resources and Sustainability*. [en línea] Disponible en: <<https://pubs.usgs.gov/circ/2007/1294/paper1.html#table2>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Albert K. Mensah, Ishmail O. Mahiri, Obed Owusu, Okoree D. Mireku, Ishmael Wireko, Evans A. Kissi, 2015. *Environmental Impacts of Mining: A Study of Mining Communities in Ghana*. [en línea] Disponible en: <<https://ir-library>>



[ku.ac.ke/bitstream/handle/123456789/13131/ Environmental Impacts of Mining A Study of Mining Communities in Ghana.pdf;sequence=1](http://ku.ac.ke/bitstream/handle/123456789/13131/Environmental%20Impacts%20of%20Mining%20A%20Study%20of%20Mining%20Communities%20in%20Ghana.pdf;sequence=1) [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Bridge G., 2004. *Contested terrain: mining and the environment*. [en línea] Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.energy.28.011503.163434> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Peelman, S., Kooijman, D., Sietsma, J. et al., 2018. *Hydrometallurgical Recovery of Rare Earth Elements from Mine Tailings and WEEE*. *J. Sustain. Metal* 4. [en línea] pp. 367-377. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40831-018-0178-0> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

X. Jin Yang, Aijun Lin, Xiao-Liang Li, Yiding Wu, Wenbin Zhou, Zhanheng Chen, 2013. *China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation*. [en línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211464513000316> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Data.worldbank.org. 2018. *Arable land (hectares) - China* Data. [en línea] Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.ARBL.A?end=2018&locations=C-N&start=1961&view=chart> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Maughan, T., 2015. *The dystopian lake filled by the world's tech lust*. [en línea] Bbc.com. Disponible en: <https://www.bbc.com/future/article/20150402-the-worst-place-on-earth> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Yang, S., 2021. *The Chip Shortage Is Bad. Taiwan's Drought Threatens to Make It Worse*. [en línea] Wall Street Journal. Disponible en: <https://www.wsj.com/articles/the-chip-shortage-is-bad-taiwans-drought-threatens-to-make-it-worse-11618565400> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Csiro.au. n.d. *Understanding water use in mining and mineral processing - CSIRO*. [en línea] Disponible en: <https://www.csiro.au/en/work-with-us/industries/mining-resources/Processing/Water-footprint> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Mining-technology.com. 2013. *Managing water consumption in mining*. [en línea] Disponible en:

<https://www.mining-technology.com/features/feature-managing-water-consumption-mining-global-shortage/> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Michael Tost, Benjamin Bayer, Michael Hitch, Stephan Lutter, Peter Moser, y Susanne Feiel, 2018. *Metal Mining's Environmental Pressures: A Review and Updated Estimates on CO2 Emissions, Water Use, and Land Requirements*. [en línea] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/su10082881> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Azadi, M., Northey, S.A., Ali, S.H. et al., 2020. *Transparency on greenhouse gas emissions from mining to enable climate change mitigation*. *Nat. Geosci.*

13. [en línea] pp. 100-104. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0531-3> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Mudd, G M., 2009. *The Sustainability of Mining in Australia: Key production trends and Environmental Implications*. [en línea] Research Report No RR5, Department of Civil Engineering, Monash University and Mineral Policy Institute. Disponible en: <https://users.monash.edu.au/~gmudd/files/SustMining-Aust-Report-2009-Master.pdf> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

van der Voet, E.; Salminen, R.; Eckelman, M.; Mudd, G.; Norgate, T.; Hirschier, R for the UNEP, 2013. *Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel*. [en línea] Disponible en: <https://www.wrforum.org/wp-content/uploads/2015/03/Environmental-risks-and-challenges-of-anthropogenic-metals-flows-and-cycles-20138-Environmental-Risks-and-Challenges-of-Anthropogenic-Metals-Flows-and-Cycles-1.pdf> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Bihouix P., de Guillebon B., 2010. *Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux :: un nouveau défi pour la société*. [en línea] Disponible en: <https://laboutique.edpsciences.fr/produit/9782759805495> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Delamarche, M., 2017. [Infographie] *De sorprendentes matières critiques*. [en línea] usinenouvelle.com. Disponible en: <https://www.usinenouvelle.com/article/infographie-de-surprenantes-matieres-critiques.N563822> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Delamarche, M., 2018. *Les nouvelles matières critiques*. [en línea] usinenouvelle.com. Disponible en: <<https://www.usinenouvelle.com/article/les-nouvelles-matieres-critiques.N712199>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Ellsworth, D., 2017. *LITHIUM TRIANGLE – Resource World Magazine*. [en línea] Resourceworld.com. Disponible en: <<https://resourceworld.com/lithium-triangle/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Mckellop, M., 2021. *Materials shortage is the latest setback for components industry*. [en línea] Sourcengine.com. Disponible en: <<https://www.sourcengine.com/blog/components-industry-raw-material-shortage-latest-2021-01-20>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

CRM\_InnoNet, 2015. *Critical Raw Materials Substitution Profiles*. [en línea] Disponible en: <<http://www.critical-rawmaterials.eu/wp-content/uploads/D3.3- Raw-Materials-Profiles-final-submitted-document.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Xiuyan Li, K. Lu, 2019. *Improving sustainability with simpler alloys*. [en línea] Disponible en: <<https://science.sciencemag.org/content/364/6442/733>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Burns, S., 2021. *Rare earths are the next geopolitical chess game*. [en línea] Steel, Aluminum, Copper, Stainless, Rare Earth, Metal Prices, Forecasting | MetalMiner. Disponible en: <<https://agmetalmminer.com/2021/02/16/rare-earths-are-the-next-geopolitical-chess-game/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

2020. *Rare Earths sector a challenge: can anyone stand up to the Chinese?* – Resource World Magazine. [en línea] Resourceworld.com. Disponible en: <<https://resourceworld.com/rare-earths-sector-a-challenge-can-anyone-stand-up-to-the-chinese/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Sourcengine.com. 2021. *Global chip shortage sparks demand for older tools* | Sourcengine. [en línea] Disponible en: <<https://www.sourcengine.com/blog/global-semiconductor-shortage-drives-interest-older-chip-making-equipment-2021-03-10>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Vie publique.fr. 2021. *Loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire*.

[en línea] Disponible en: <<https://www.vie-publique.fr/loi/268681-loi-lutte-contre-le-gaspillage-et-economie-circulaire>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

## Estudio de caso: Economía circular y de residuos

Parajuly, K.; Kuehr, R.; Awasthi, A. K.; Fitzpatrick, C.; Lepawsky, J.; Smith E.; Widmer, R.; Zeng, X., 2019. *Future E-waste Scenarios*. [en línea] Bonn: StEP, UNU ViE-SCYCLE & UNEP IETC. Disponible en: <[https://step-initiative.org/files/\\_documents/publications/FUTURE-E-WASTE-SCENARIOS\\_UNU\\_190829\\_low\\_screen.pdf](https://step-initiative.org/files/_documents/publications/FUTURE-E-WASTE-SCENARIOS_UNU_190829_low_screen.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G., 2020. *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. [en línea] UNU/ UNITAR – co-hosted SCYCLE Programme, ITU & ISWA. Disponible en: <[https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM\\_2020\\_def.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM_2020_def.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Comisión Europea, n. d. *Plan de Acción de Economía Circular: Por una Europa más limpia y competitiva*. [en línea] Disponible en: <[https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Data.europa.eu. n.d. data.europa.eu. [en línea] Disponible en: <<https://data.europa.eu/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

StEP Initiative, 2014. *Solving the E-Waste Problem (Step) White Paper: One Global Definition of E-waste*. [en línea] Disponible en: <[https://step-initiative.org/files/\\_documents/whitepapers/StEP\\_WP\\_One](https://step-initiative.org/files/_documents/whitepapers/StEP_WP_One)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Comisión Europea. n. d. *Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*. [en línea] Disponible en: <[https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

- Urbanmineplatform.eu. 2021. *Urban Mine Platform*. [en línea] Disponible en: <<http://www.urbanmineplatform.eu/urbanmine/eee/weightpercolcat>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Urbanmineplatform.eu. 2021. *Urban Mine Platform*. [en línea] Disponible en: <<http://www.urbanmineplatform.eu/wasteflows/eee/percentage>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- CEWASTE, 2021. *A contribution to future Critical Raw Materials Recycling*. [en línea] Disponible en: <<https://cewaste.eu/wp-content/uploads/2021/04/CEWASTE-Final-Public-Raport.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Lukas Messmann, Christoph Helbig, Andrea Thorenz, Axel Tuma, 2019. *Economic and environmental benefits of recovery networks for WEEE in Europe*. [en línea] Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619306493>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- N. Unger, P. Beigl, G. Höggerl, S. Salhofer, 2017. *The greenhouse gas benefit of recycling waste electrical and electronic equipment above the legal minimum requirement: An Austrian LCA case study*. [en línea] Journal of Cleaner Production, Volume 164, pp.1635-1644. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261731394X>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Charu Gangwar, Ranjana Choudhari, Anju Chauhan, Atul Kumar, Aprajita Singh, Anamika Tripathi, 2019. *Assessment of air pollution caused by illegal e-waste burning to evaluate the human health risk*. [en línea] Environment International, Volume 125, pp.191-199. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018312662#f0005>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Orlandorecycles.com. 2021. *5 Effects of E-Waste On the Environment | Orlando Recycles*. [en línea] Disponible en: <<https://orlandorecycles.com/2021/01/5-effects-of-e-waste-on-the-environment/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Electronicstakeback.com. 2013. *E-Waste In Landfills*. [en línea] Disponible en: <<http://www.electronicstakeback.com/designed-for-the-dump/e-waste-in-landfills/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Kim SS, Xu X, Zhang Y, et al., 2020. *Birth outcomes associated with maternal exposure to metals from informal electronic waste recycling in Guiyu, China*. [en línea] Disponible en: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7257595/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Alabi, O.A., Adeoluwa, Y.M. & Bakare, A.A., 2020. *Elevated Serum Pb, Ni, Cd, and Cr Levels and DNA Damage in Exfoliated Buccal Cells of Teenage Scavengers at a Major Electronic Waste Dumpsite in Lagos, Nigeria*. [en línea] Disponible en: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-019-01745-z#citeas>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- AmoabengNti AA, Arko-Mensah J, Botwe PK, Dwomoh D, Kwarteng L, Takyi SA, Acquah AA, Tettey P, Basu N, Batterman S, Robins TG, Fobil JN., 2020. *Effect of Particulate Matter Exposure on Respiratory Health of e-Waste Workers at Agbogbloshie, Accra, Ghana*. [en línea] International Journal of Environmental Research and Public Health. Disponible en: <<https://www.mdpi.com/1660-4601/17/9/3042#cite>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Decharat, S., & Kiddee, P., 2020. *Health Problems Among Workers Who Recycle Electronic Waste in Southern Thailand*. [en línea] Osong Public Health and Research Perspectives, 11, pp.34 – 43. Disponible en: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Health-Problems-Among-Workers-Who-Recycle-Waste-in-Decharat-Kiddee/2e-c000ef544ccb19edfb051accdb0829f9732588>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Seith R, Arain AL, Nambunmee K, Adar SD, Neitzel RL., 2019. *Self-Reported Health and Metal Body Burden in an Electronic Waste Recycling Community in Northeastern Thailand*. [en línea] J Occup Environ Med. Disponible en: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31464817/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Davis JM, Garb Y, 2019. *A strong spatial association between e-waste burn sites and childhood lymphoma in the West Bank, Palestine*. [en línea] Int J Cancer. Disponible en: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30259977/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].
- Haoxing Cai, Xijin Xu, Yu Zhang, Xiaowei Cong, Xueling Lu, Xia Huo, 2019. *Elevated lead levels from e-waste exposure are linked to sensory integration difficulties in preschool children*. [en línea] NeuroToxicology, Volumen

71. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0161813X18303905>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Nithya, R., Sivasankari, C. & Thirunavukkarasu, A., 2021. *Electronic waste generation, regulation and metal recovery: a review*. [en línea] *Environ Chem Lett* 19, pp.1347–1368. Disponible en: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01111-9#citeas>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Organización Internacional del Trabajo-OIT, 2017. *Global estimates of child labour: results and trends, 2012–2016*. [en línea] Disponible en: <[https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS\\_575499/lang-en/index.htm](https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_575499/lang-en/index.htm)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Rediscoverycentre.ie. n.d. *Qualifying and Quantifying the Reuse Sector* | Rediscovery Centre. [en línea] Disponible en: <<http://www.rediscoverycentre.ie/research/q2reuse/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Ina Rüdenauer, Siddharth Prakash, 2020. *Ökonomische und ökologische Auswirkungen einer Verlängerung der Nutzungsdauer von elektrischen und elektronischen Geräten*. [en línea] Öko-Institut und VZBV. Available at: <[https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/2020/11/25/vzbv\\_verlaengerung\\_nutzungs-dauer\\_20201218\\_mit\\_engl.pdf](https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/2020/11/25/vzbv_verlaengerung_nutzungs-dauer_20201218_mit_engl.pdf)> [Último acceso, octubre de 2021].

## Recomendaciones

Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Ffytche, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférián, y M.V. Vilariño, 2018: *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, y T. Waterfield (eds.)]. En Prensa; Disponible en: <<https://www.ipcc.ch/>

[site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter2\\_Low\\_Res.pdf](https://www.climatewatchdata.org/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021]

Climatewatchdata.org. 2021. | *Greenhouse Gas (GHG) Emissions* | Climate Watch. [en línea] Available at: <[https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=regions-ABSOLUTE\\_VAL-UE&end\\_year=2018&regions=EUU%2CGBR%2CWORLD&-source=PIK&start\\_year=1850](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=regions-ABSOLUTE_VAL-UE&end_year=2018&regions=EUU%2CGBR%2CWORLD&-source=PIK&start_year=1850)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Daniel Moran, KGM & Associates, Ali Hasanbeigi y Cecilia Springer, Global Efficiency Intelligence, 2018. *THE CARBON LOOPHOLE IN CLIMATE POLICY Quantifying the Embodied Carbon in Traded Products*. [en línea] Disponible en: <<https://www.climateworks.org/wp-content/uploads/2018/09/Carbon-Loophole-in-Climate-Policy-Final.pdf>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Carbon Brief. 2017. *Mapped: The world's largest CO2 importers and exporters* - Carbon Brief. [en línea] Disponible en: <<https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-largest-co2-importers-exporters>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. y Lees Perasso, E., GreenIT.fr. 2021. *Tecnologías digitales en Europa: un enfoque medioambiental de ciclo de vida*.

IDH - the sustainable trade initiative. 2020. *Hidden CO2 emissions: Europe's imported responsibility* – IDH - the sustainable trade initiative. [en línea] Disponible en: <<https://www.idhsustainabletrade.com/news/hidden-co2-emissions-europes-imported-responsibility/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Organización Internacional del Trabajo-Ginebra: OIT, 2018. *World Employment and Social Outlook 2018: Greening with jobs*. [en línea] Disponible en: <[http://oit.org/global/publications/books/WCMS\\_628654/lang-en/index.htm](http://oit.org/global/publications/books/WCMS_628654/lang-en/index.htm)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Philippe Bihouix, Emiline Baume de Brosses, Geneviève Besse, Fabrice Bonnifet, Marc Darras, Thomas Désaunay, Jean-Marc Gancille, Amandine Garnier, Thierry Groussin, Thomas Guillerrou, Arthur Keller, Catherine Lapierre, Dominique Py, Sandrine Roudaut, Agnès Sinaï, Mathilde Soyer, Bruno Tassin, Arnaud Vanhove, Dominique Viel, 2019. *Vers des technologies sobres et résilientes – Pourquoi et comment développer l'innovation « low-tech » ?*.

[en línea] Disponible en: <<https://www.lafabriqueecologique.fr/vers-des-technologies-sobres-et-resilientes-pour-quoi-et-comment-developper-linnovation-low-tech/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Eurostat. 2021. [en línea] Disponible en: <[https://ec.europa.eu/eurostat/product?code=isoc\\_ci\\_in\\_h&mode=view&language=EN](https://ec.europa.eu/eurostat/product?code=isoc_ci_in_h&mode=view&language=EN)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Eurostat. 2021. [en línea] Disponible en: <[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/lfst\\_hhnhtych/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/lfst_hhnhtych/default/table?lang=en)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

GreenConcept Innovation. n.d. *Témoignages - GreenConcept Innovation*. [en línea] Disponible en: <<http://www.greenconcept-innovation.fr/temoignages/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Greenconcept-innovation.fr. 2021. *ELA INNOVATION : RÉDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX D'UN SERVICE NUMÉRIQUE (OPÉRATION GreenConcept) - MONTPELLIER (34)*. [en línea] Disponible en: <[http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/ELA\\_INNOVATION\\_fiche\\_Ademe\\_GreenConcept2409.pdf](http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/ELA_INNOVATION_fiche_Ademe_GreenConcept2409.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Greenconcept-innovation.fr. 2021. *REDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX D'UN SERVICE NUMÉRIQUE DANS LE CADRE DE L'OPERATION GREENCONCEPT*. [en línea] Disponible en: <[http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/PriceComparator\\_fiche\\_Ademe\\_GreenConcept2108.pdf](http://www.greenconcept-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/02/PriceComparator_fiche_Ademe_GreenConcept2108.pdf)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Comisión Europea. 2020. *Shaping Europe's digital future - Broadband Coverage in Europe 2019*. [en línea] Disponible en: <<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/broadband-coverage-europe-2019>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Koomey, J. y Taylor, J., 2017. *Zombie/Comatose Servers Redux*. [en línea] Disponible en: <<https://www.anthesis-group.com/report-zombie-and-comatose-servers-redux-jon-taylor-and-jonathan-koomey/>> [Consultado el 1 de octubre de 2021].

Norvig, Peter et al., 2009. *The Unreasonable Effectiveness of Data*. [en línea] Disponible en: <[https://www.researchgate.net/publication/224396640\\_The\\_Unreasonable\\_Effectiveness\\_of\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/224396640_The_Unreasonable_Effectiveness_of_Data)> [Consultado el 1 de octubre de 2021].





60 rue Wiertz/Wiertzstraat 60  
1047 Brussels, Belgium  
[www.greens-efa.eu](http://www.greens-efa.eu)  
[contactgreens@ep.europa.eu](mailto:contactgreens@ep.europa.eu)