



Trazabilidad en las cadenas de suministro de smartphones. IoT y Blockchain aplicados a la economía circular

Juan López Parra
Javier Carrillo-Hermosilla

Trazabilidad en las cadenas de suministro de smartphones. IoT y Blockchain aplicados a la economía circular*

RESUMEN

Este documento examina los retos que plantea la aplicación de un modelo de economía circular en la industria de los teléfonos inteligentes, centrándose en las ineficiencias y la falta de transparencia de las cadenas de suministro. La investigación explora el potencial de las tecnologías IoT y Blockchain para mejorar la trazabilidad y la gestión de materiales de los smartphones, contribuyendo a un modelo de producción más sostenible y eficiente. La metodología incluye una revisión bibliográfica de la economía circular, IoT y Blockchain, seguida de un análisis de las prácticas existentes y las aplicaciones potenciales. El estudio destaca la importancia de abordar estos retos para promover una economía más sostenible y eficiente, especialmente en industrias con cadenas de suministro complejas y alto impacto ambiental. Los resultados muestran el potencial de las tecnologías IoT y Blockchain para mejorar la trazabilidad y la gestión de materiales, permitiendo una economía más circular en la industria de los smartphones. Sin embargo, el estudio también identifica limitaciones y áreas para futuras investigaciones, haciendo hincapié en la necesidad de continuar la exploración y la innovación para aprovechar plenamente el potencial de estas tecnologías en la promoción de una economía más sostenible y eficiente.

Palabras clave: Economía circular, IoT (Internet de las cosas), *Blockchain*, Trazabilidad, Eco-innovación, *Marketplace*.

ABSTRACT

This paper examines the challenges in implementing a circular economy model in the smartphone industry, focusing on the inefficiencies and lack of transparency in supply chains. The research explores the potential of IoT and Blockchain technologies to enhance traceability and material management for smartphones, contributing to a more sustainable and efficient production model. The methodology includes a literature review of the circular economy, IoT, and Blockchain, followed by an analysis of existing practices and potential applications. The study highlights the importance of addressing these challenges to promote a more sustainable and efficient economy, particularly in industries with complex supply chains and high environmental impact. The results demonstrate the potential of IoT and Blockchain technologies to improve traceability and material management, enabling a more circular economy in the smartphone industry. However, the study also identifies limitations and areas for further research, emphasizing the need for continued exploration and innovation to fully realize the potential of these technologies in promoting a more sustainable and efficient economy.

Key words: Circular Economy, IoT (Internet of Things), Blockchain, Trazability, Eco-innovation, Marketplace

AUTORÍA

JUAN LÓPEZ PARRA. Universidad de Alcalá (UAH).

CARRILLO-HERMOSILLA, JAVIER. Universidad de Alcalá (UAH)

javier.carrillo@uah.es

*Este documento tiene su origen en Trabajo Fin de Grado presentado por Juan López Parra bajo la dirección de Javier Carrillo-Hermosilla para el Grado en Economía y Negocios Internacionales de la Universidad de Alcalá.

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Antecedentes.....	6
2.1. Impacto económico y medioambiental de la producción de smartphones	6
2.2. Sobre la economía circular	9
2.3. Internet of Things	29
2.4. Blockchain.....	32
3. Metodología.....	37
4. Análisis y resultados	42
4.1. Samsung.....	42
4.2. Apple.....	50
4.3. Xiaomi	55
5. Discusión	59
5.1. Desarrollo marco ReSOLVE.....	59
5.2. Implementación de IoT y Blockchain en el sector	68
6. Conclusiones y limitaciones	72
7. Bibliografía	74

1. Introducción

En los últimos años, la búsqueda global de prácticas más sostenibles y el uso eficiente de los recursos ha impulsado la transición hacia modelos económicos innovadores, como la economía circular. Este enfoque minimiza el desperdicio y maximiza la utilización de recursos, desafiando el modelo económico tradicional de "tomar, hacer, desechar". En su lugar, promueve la reutilización, reparación, renovación y reciclaje de materiales y productos a lo largo de todo su ciclo de vida. La industria de los smartphones, conocida por su rápida obsolescencia y el alto volumen de desechos electrónicos contaminantes que genera, se identifica como un sector crítico donde la adopción de la economía circular puede mitigar significativamente los efectos ambientales negativos.

Este trabajo de fin de grado explora cómo las tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) y la tecnología Blockchain pueden catalizar la implementación de la economía circular en las cadenas de suministro de smartphones. La IoT facilita la conexión y comunicación eficiente en toda la cadena de suministro, permitiendo una trazabilidad precisa y una gestión eficiente de los recursos. Simultáneamente, Blockchain ofrece un registro transparente y seguro de todas las transacciones, actuando como un libro mayor inmutable. Esto garantiza la accesibilidad y verificación de la información sobre el origen, tratamiento y destino final de los materiales, fortaleciendo la confianza y colaboración entre los diferentes actores involucrados.

El objetivo de este estudio es investigar cómo la combinación de IoT y Blockchain puede mejorar la trazabilidad y gestión de las cadenas de suministro en la industria de los smartphones, facilitando la transición hacia prácticas más circulares y sostenibles. Se han analizado tecnologías potenciales para abordar desafíos específicos del sector, como la ineficiencia en el uso de recursos y la gestión de residuos electrónicos.

Esta investigación exploratoria busca establecer las bases para un análisis comprensivo y crítico sobre la interacción entre tecnologías avanzadas y modelos económicos sostenibles. Subraya la importancia de la innovación en las cadenas de suministro para lograr un impacto ambiental positivo en la industria de los smartphones. Analizar estos conceptos de manera conjunta es esencial, ya que la sinergia entre la economía circular, IoT y Blockchain puede ofrecer soluciones integradas y efectivas para los complejos problemas de sostenibilidad que enfrenta este sector, potenciando una transformación significativa hacia prácticas más responsables y ecoeficientes.

El documento se estructura en varias secciones: primero, una revisión exhaustiva del marco teórico, definiendo los conceptos clave y examinando la literatura existente sobre economía

circular, IoT y Blockchain. Luego, se describe la metodología utilizada para el análisis de casos y la evaluación de datos. Los resultados se discuten en detalle, ilustrando los avances y las limitaciones actuales, culminando con recomendaciones y conclusiones sobre cómo integrar efectivamente estas tecnologías para promover un modelo de producción y consumo más sostenible.

2. Antecedentes

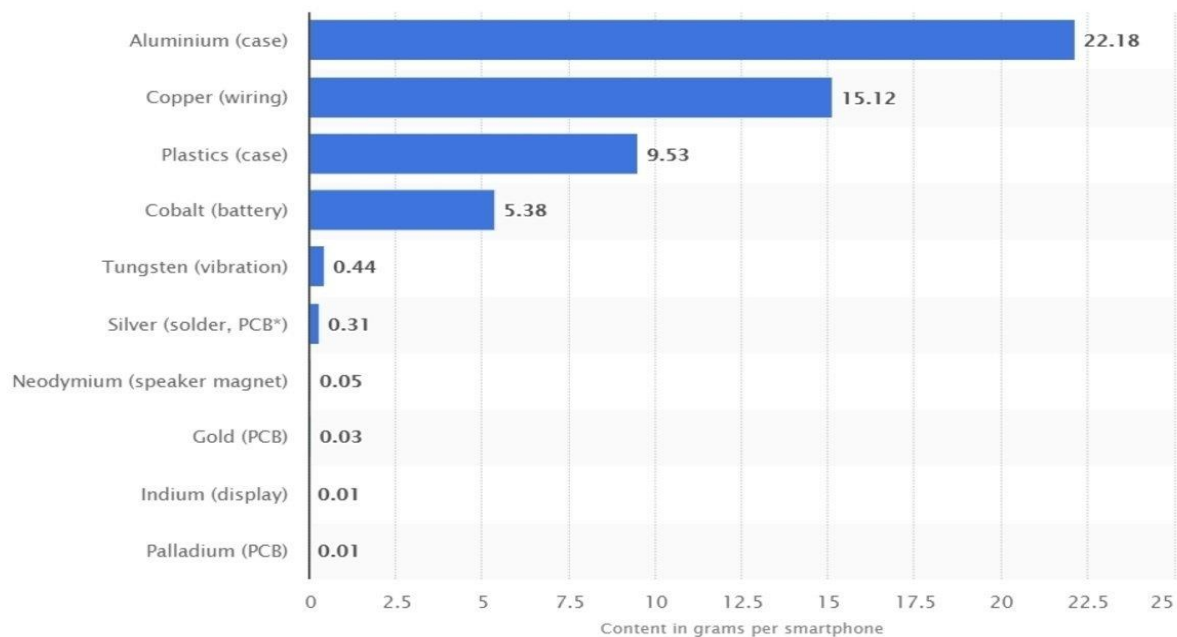
2.1. Impacto económico y medioambiental de la producción de smartphones

El impacto medioambiental de la industria de los teléfonos móviles es significativo y varía a lo largo de las diferentes fases de su ciclo de vida. A continuación, se desglosa este impacto en cuatro fases principales: extracción de materias primas, fabricación y ensamblaje, transporte y distribución, uso, y desecho y reciclaje.

1. Extracción de materias primas

La fabricación de teléfonos móviles implica la extracción de diversas materias primas esenciales, las cuales incluyen metales raros y preciosos como el oro, la plata, el cobalto y el coltán. Para la producción de un teléfono móvil típico, se requiere la extracción de hasta 50 elementos distintos. Esto significa que, para ensamblar un solo dispositivo, se pueden llegar a utilizar aproximadamente el 80% de los elementos estables presentes en la tabla periódica. Estos elementos son fundamentales para diversas funciones del teléfono, desde la conducción eléctrica hasta la creación de colores en las pantallas (Venditti, 2021).

Figura 1: Desglose de composición por materiales de un teléfono móvil



Fuente: Collado, 2021

La extracción de estos materiales para la fabricación de teléfonos móviles no solo requiere un consumo elevado de energía, sino que también tiene un impacto significativo en los ecosistemas locales. Esta actividad minera conduce a la degradación de suelos y a la contaminación de fuentes de agua con metales pesados y otros contaminantes. Estos efectos adversos pueden alterar la biodiversidad local y afectar la salud y la sostenibilidad de las comunidades cercanas a las operaciones mineras.

2. Fabricación y ensamblaje

La fase de producción de teléfonos móviles es altamente intensiva en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero. Se estima que un smartphone nuevo es responsable de aproximadamente 65 kilogramos de emisiones de CO₂ durante su primer año de vida. Notablemente, el 77% de estas emisiones provienen directamente de su fabricación (Telefónica, 2021). Este elevado nivel de emisiones se debe principalmente al consumo energético necesario para la producción de circuitos integrados y otros componentes electrónicos críticos.

Teniendo en cuenta estos datos, podemos comprender que reducir las emisiones asociadas a la producción de teléfonos móviles depende en gran medida de avances tecnológicos en los procesos de fabricación.

3. Transporte y distribución

Una evaluación completa del ciclo de vida de un teléfono inteligente revela que el transporte contribuye aproximadamente al 10% del impacto total del producto en términos de potencial de calentamiento global (Lee et al., 2022). Este porcentaje se relaciona principalmente con el uso de combustibles fósiles durante las fases de distribución y entrega de los dispositivos. Según un estudio de Ericsson en 2020, las emisiones generadas en estas etapas se deben al transporte aéreo, marítimo y terrestre necesario para mover los componentes y productos terminados a través de las cadenas de suministro (Ericsson, 2020).

4. Uso del dispositivo

Durante la vida útil de un teléfono móvil, el dispositivo consume energía de manera constante, principalmente a través de la carga de la batería. La eficiencia energética del dispositivo y la fuente de electricidad utilizada, juegan un papel crucial en este proceso. El estudio llevado a cabo en 2022 por Deloitte, mencionado en anteriores apartados, sugiere que los smartphones emiten alrededor de 8 kg de CO₂ al año debido al uso del dispositivo (Lee et al., 2022).

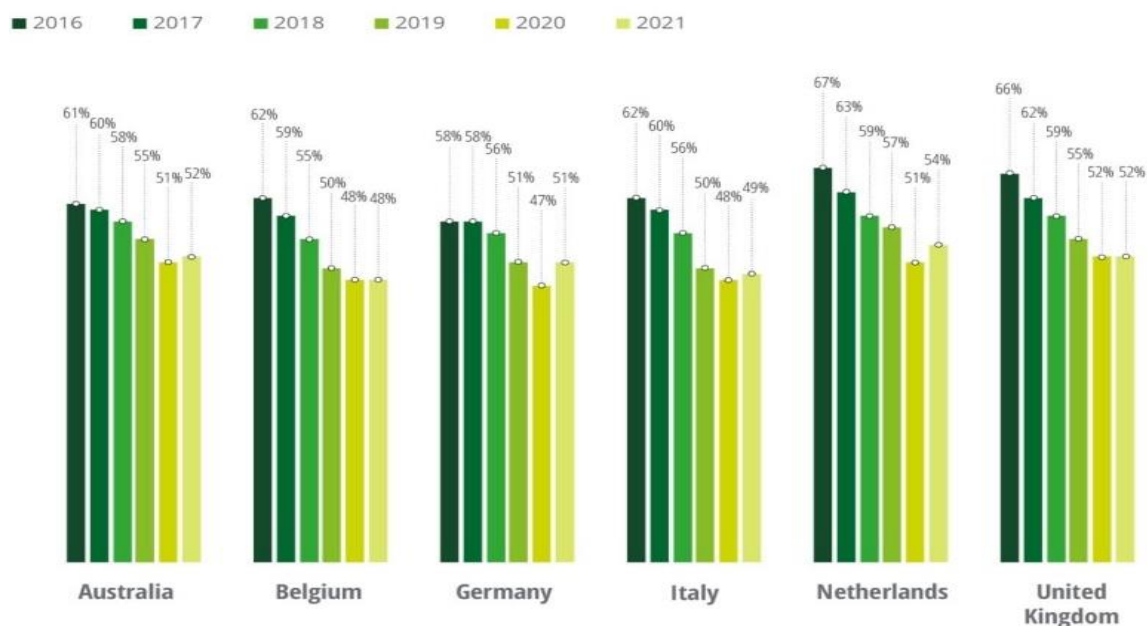
Además, la conectividad y la transmisión de datos a través de redes móviles y Wi-Fi también contribuyen significativamente a la degradación medioambiental, ya que requiere una infraestructura energética considerable. Un estudio de Ericsson sugiere que, al incluir el impacto de las redes y centros de datos, las emisiones anuales de un smartphone pueden llegar hasta 62 kg de CO₂ (Ericsson, s. f.).

Sin embargo, los propios consumidores también juegan un papel crucial al optar por compras responsables. Un estudio de Deloitte en 2022 indica que cada vez más usuarios de teléfonos móviles están manteniendo sus dispositivos durante periodos más prolongados, contribuyendo así a disminuir la demanda de nuevos aparatos y, en consecuencia, el impacto ambiental (Lee et al., 2022).

Figura 2: Proporción de usuarios de teléfono móvil que compraron el dispositivo en los 18 meses previos

Consumers are keeping their smartphones for longer

Proportion of smartphone owners who had purchased their phone in the prior 18 months, 2016–2021



Source: Deloitte Digital Consumer Trends, May–June 2016, May–June 2017, June 2018, May–June 2019, May 2020, June–August 2021.

Fuente: (Lee et al., 2022)

5. Desecho y reciclaje

La etapa final en la vida de un teléfono móvil es su disposición o reciclaje. Desafortunadamente, menos del 15% de los smartphones son reciclados adecuadamente en los países desarrollados, lo que contribuye a la contaminación del agua y el suelo cuando estos dispositivos terminan en vertederos (BBVA OpenMind, 2020). Se debe tener en cuenta que estos dispositivos a menudo contienen sustancias tóxicas como plomo y mercurio, lo que representa un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente.

2.2. Sobre la economía circular

2.2.1. Definición

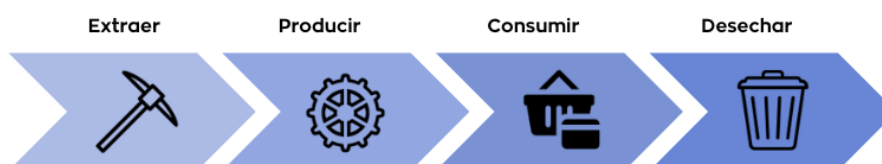
El desarrollo económico acontecido en el último siglo debe su magnitud, entre otros factores, a dos eventos histórico-científicos: La segunda y tercera revolución industrial. La combinación

de las innovaciones implantadas en ambas revoluciones trajo consigo un aumento del PIB global entre el año 1870 y el 2021 de 132 billones de dólares¹ (The World Bank, 2023).

La segunda revolución industrial cumplió un papel clave en el crecimiento socioeconómico del siglo XIX por las implicaciones que el nuevo modelo de producción fordista y la implementación del petróleo como fuente de energía tuvieron en la expansión de las limitaciones productivas (Universidad de Cantabria, s/f).

El modelo productivo que condujo este desarrollo es el conocido como *take-make-waste* por su significado en inglés: extraer, producir y desperdiciar (Fundación Ellen MacArthur, s/f). En el ámbito académico se define como el modelo de economía lineal, componiéndose de las fases mostradas a continuación.

Figura 3: Modelo de economía lineal



Fuente: Elaboración propia

Aunque este modelo favorezca el crecimiento económico acelerado, es estructuralmente insostenible, destacando tres aspectos:

- Insostenibilidad económica

El modelo de economía lineal, basado en el ciclo de "tomar, hacer y desechar", se fundamenta en la explotación constante de recursos naturales. Esta dependencia tiene varias implicaciones críticas (Ellen MacArthur Foundation, s. f.-c).

En primer lugar, los recursos naturales son finitos y su disponibilidad disminuye con el tiempo. A medida que se agotan los suministros más accesibles, la extracción y procesamiento de nuevos materiales se vuelve más costosa. Esto incrementa los costes de producción y afecta negativamente la competitividad de las empresas a largo plazo.

¹ Medido en dólares estadounidenses a precios constantes del año 2017

La economía lineal también genera una gran volatilidad en los precios de los recursos naturales. Factores como la geopolítica, desastres naturales y fluctuaciones en la demanda global pueden causar grandes variaciones en los precios de las materias primas. Esta inestabilidad dificulta la planificación y las inversiones a largo plazo, limitando el crecimiento económico sostenido. Para comprender esto último, debemos tener en cuenta que, por lo general, las empresas que dependen de un suministro inestable y costoso de recursos naturales enfrentan mayores riesgos, dado que la volatilidad de los precios puede llevar a interrupciones en la producción y pérdidas económicas significativas.

Para ilustrar estos puntos, es crucial examinar la evolución de los precios de los principales metales de tierras raras, esenciales para la industria tecnológica. A continuación, se presentan datos sobre la evolución de los precios de estos metales (Varela, 2023):

1. Disproso (Dy): Utilizado en imanes y sistemas de iluminación de alta eficiencia.
2. Neodimio (Nd): Fundamental para la fabricación de imanes permanentes en motores eléctricos y generadores de energía eólica.
3. Praseodimio (Pr): Empleado en aleaciones para crear imanes de alta resistencia.
4. Terbio (Tb): Utilizado en dispositivos electrónicos y luminiscentes.

Figura 4: Incremento en el precio de metales de tierras raras entre el 2017 y 2021

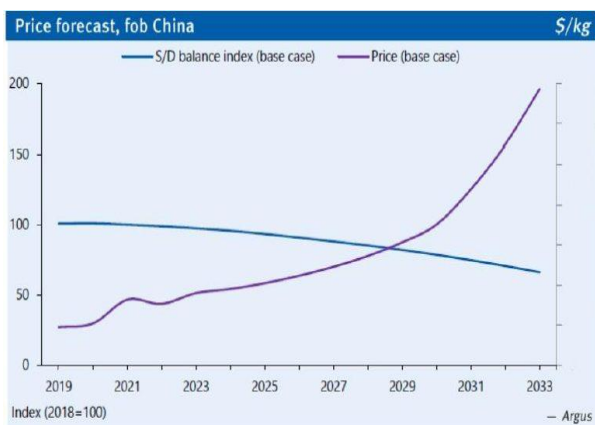


Fuente Strategic Metals Invest, 2024

Los metales mostrados en esta gráfica abarcan múltiples utilidades, desde la fabricación de circuitos e imanes hasta la creación de tecnologías para la generación de energías renovables. El Terbio, en particular, se destaca por su uso en estas últimas y ha experimentado el mayor incremento de precio en el periodo seleccionado.

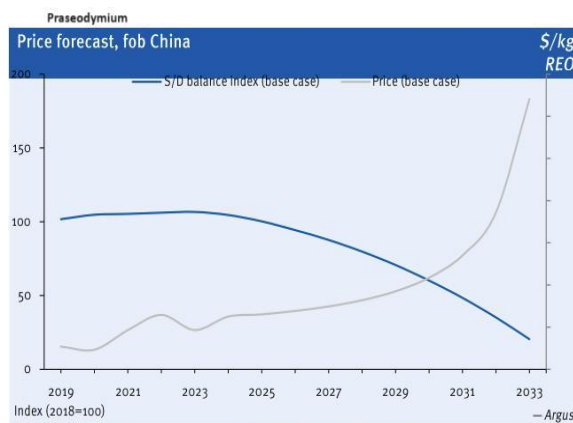
Aunque el crecimiento en los últimos años ha sido considerable, el principal problema radica en la transición de la economía global hacia un modelo dominado por la industria tecnológica. Las estimaciones actuales prevén un aumento aún mayor en los precios, lo que resalta la urgencia de adoptar modelos económicos más sostenibles.

Figura 5: Estimación de los precios del Disproseo en los próximos diez años



Fuente Strategic Metals Invest, 2024

Figura 7: Estimación de los precios del Praseodimio en los próximos diez años



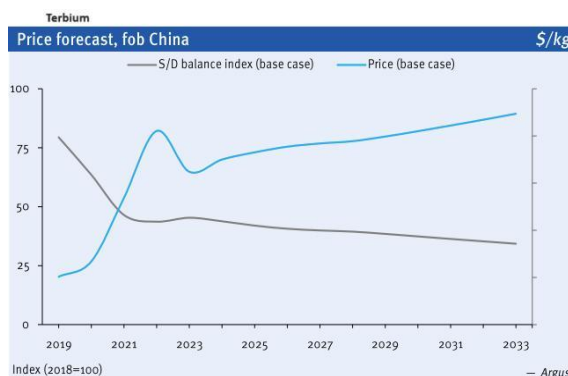
Fuente Strategic Metals Invest, 2024

Figura 6: Estimación de los precios del Neodimio en los próximos diez años



Fuente Strategic Metals Invest, 2024

Figura 8: Estimación de los precios del Terbio en los próximos diez años

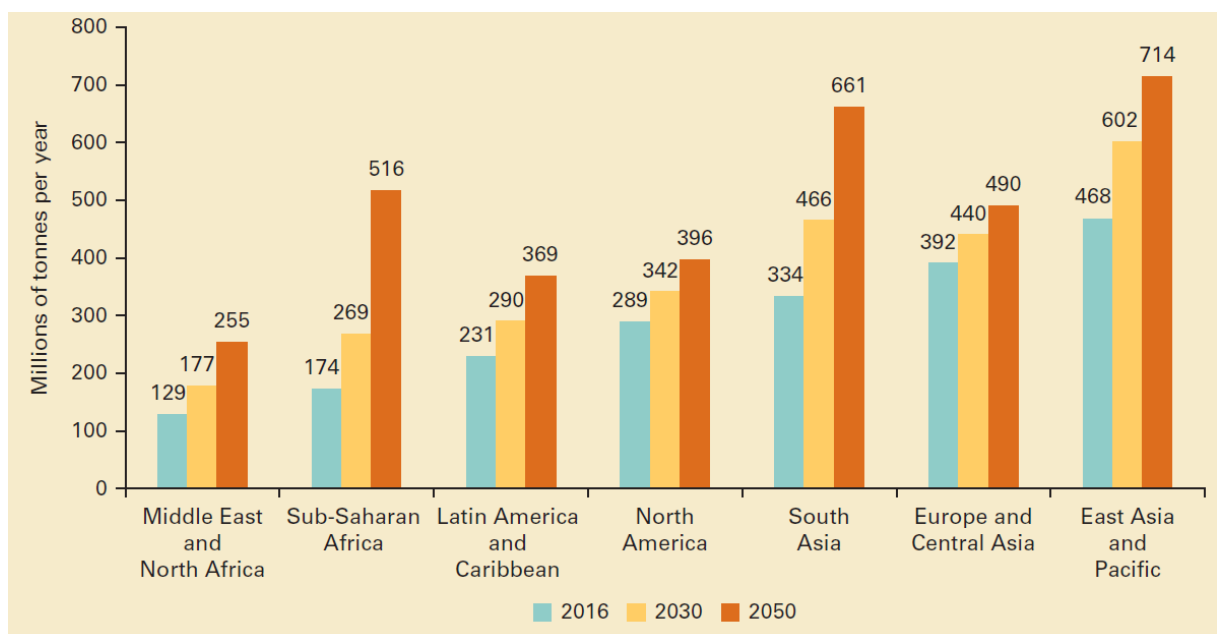


Fuente Strategic Metals Invest, 2024

- Insostenibilidad ambiental

Por otra parte, la generación masiva de residuos es una característica inherente de la economía lineal, un modelo donde los productos se diseñan con una vida útil limitada. Una vez desechados, estos productos a menudo terminan en vertederos o son incinerados, contribuyendo significativamente a la contaminación del suelo, el agua y el aire. Este enfoque de gestión de residuos no solo es ineficiente, sino que también tiene graves consecuencias para la salud pública y el medio ambiente.

Figura 9: Generación de residuos estimada por región (millones de toneladas por año)



Fuente: The World Bank, s. f.-a

Según datos de The World Bank, en menos de treinta años, las principales regiones extractoras y productoras de materiales tecnológicos podrían duplicar su generación de residuos sólidos (The World Bank, s. f.-a). Estos residuos, a menudo no reciclados correctamente, son altamente contaminantes y representan una amenaza creciente para la sostenibilidad ambiental. Esta situación resalta la necesidad urgente de cambiar hacia modelos de economía circular que promuevan el reciclaje y la reutilización de materiales para mitigar el impacto ambiental.

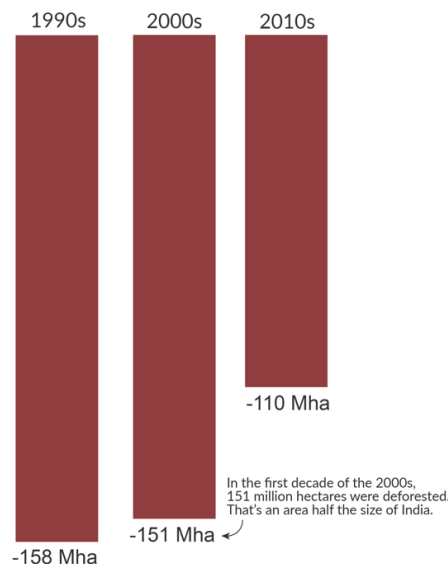
Además, la economía lineal es un gran contribuyente al cambio climático. La producción y el consumo en masa resultan en altas emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente CO₂. Estas emisiones provienen de la quema de combustibles fósiles para la extracción, producción y transporte de materiales. Este proceso está estrechamente vinculado al calentamiento global y al cambio climático, que tienen efectos devastadores en los ecosistemas y en la vida humana (Universidad Europea, 2023). Las emisiones de gases de efecto invernadero no solo contribuyen al aumento de las temperaturas globales, sino que también afectan patrones climáticos, incrementando la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos.

Otro problema grave asociado con la economía lineal es la pérdida de biodiversidad. La destrucción de hábitats naturales para obtener recursos y expandir áreas urbanas, junto con la contaminación, lleva a la extinción de especies y a la degradación de ecosistemas. Esta pérdida de biodiversidad no solo afecta la riqueza biológica del planeta, sino que también reduce la capacidad del planeta para proporcionar servicios ecosistémicos vitales, como la polinización de cultivos y la regulación del clima. La biodiversidad es esencial para el funcionamiento de los ecosistemas y la supervivencia humana, y su disminución tiene repercusiones negativas a largo plazo.

Figura 10: Tasa de deforestación global por décadas

Global deforestation rates per decade

Most deforestation occurred in the tropics.



Source: UN Forest Resources Assessment (2020).

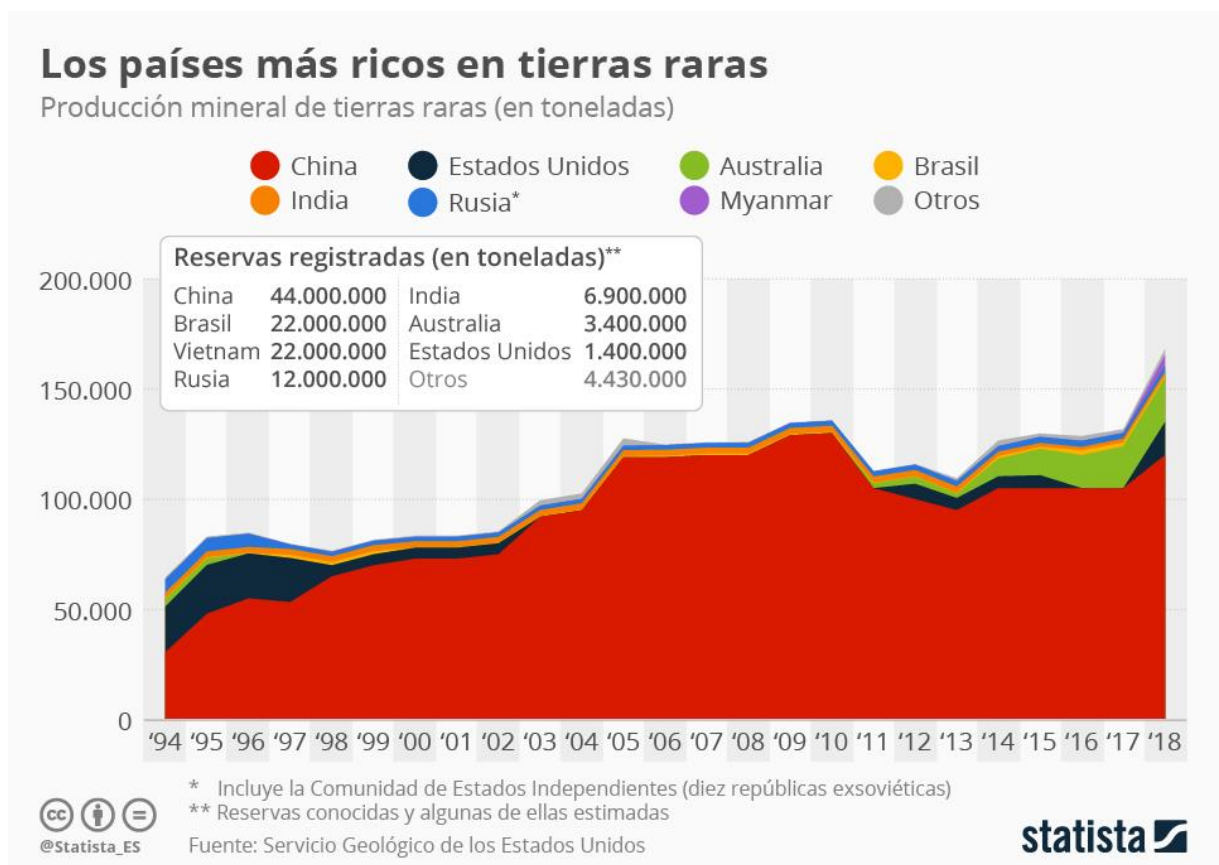
Fuente: Ritchie & Roser, 2023

Tal como se muestra en este gráfico, durante las últimas tres décadas, más de cuatrocientos millones de hectáreas han sido deforestadas. En la década de los 2000, se deforestó un área equivalente a la mitad de la superficie de la India. Esta deforestación masiva contribuye a la pérdida de biodiversidad y exacerba el cambio climático al liberar grandes cantidades de CO2 almacenado en los bosques. La protección y restauración de los bosques son cruciales para combatir estos problemas ambientales y para preservar los servicios ecosistémicos esenciales que proporcionan.

- Insostenibilidad social

Este modelo lineal de producción y consumo perpetúa la explotación de recursos en regiones específicas, generalmente en países en desarrollo, lo que conlleva a desigualdades económicas significativas.

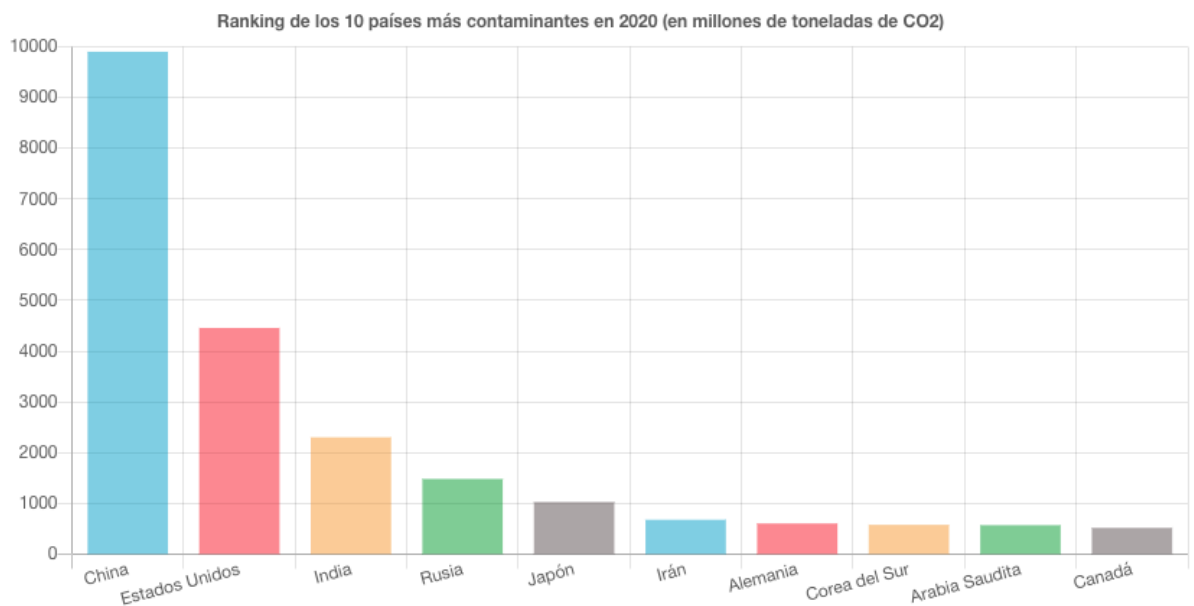
Figura 11: Concentración de tierras raras por países



Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos, s. f.

Estas regiones, ricas en recursos naturales como minerales, madera y combustibles fósiles, a menudo participan en la extracción intensiva y exportación de materias primas sin recibir una adecuada compensación económica. La extracción de estos recursos naturales se realiza frecuentemente sin considerar el bienestar a largo plazo de las poblaciones locales (United Nations, 2024).

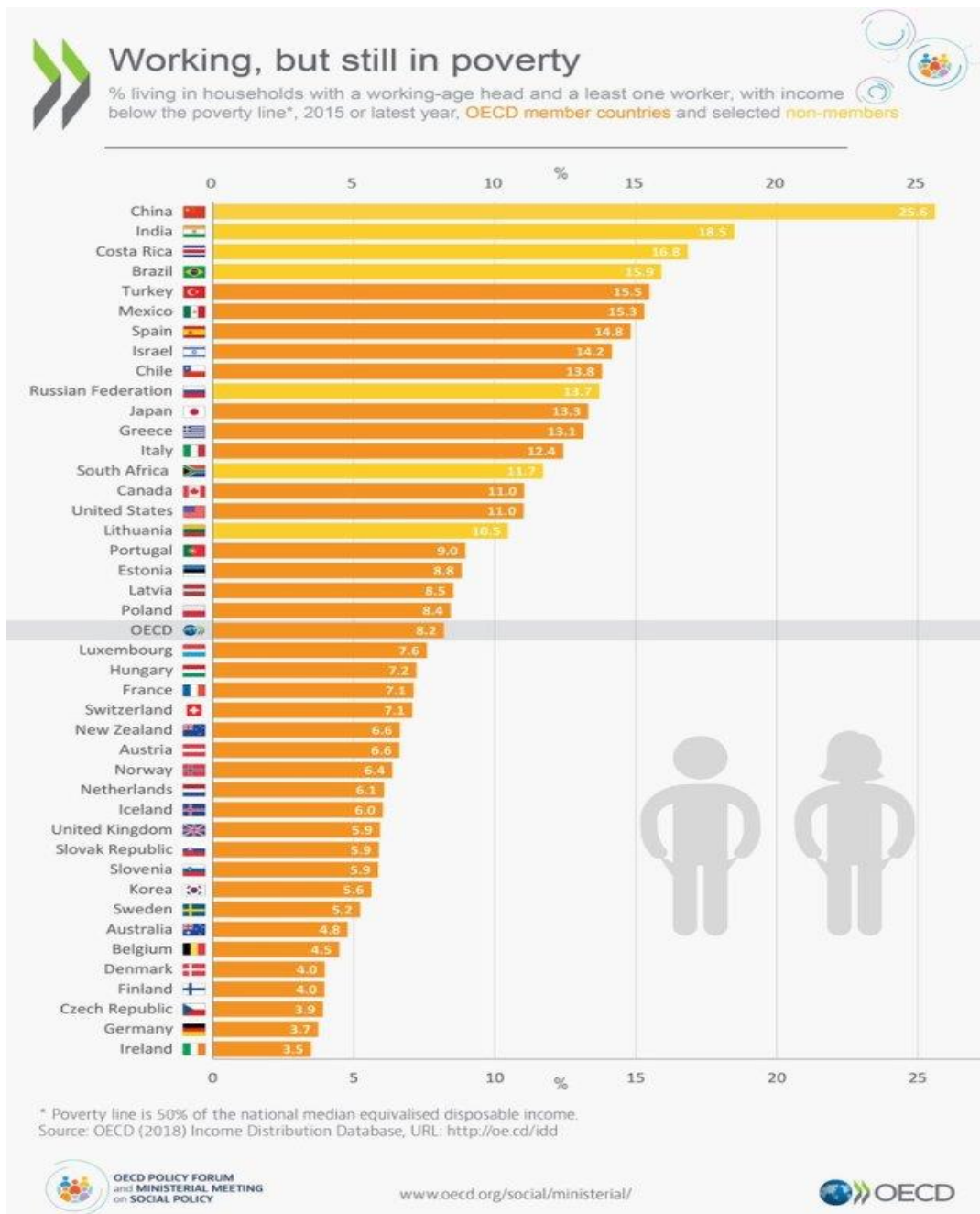
Figura 12: Emisiones de CO2 por país en 2020 (millones de toneladas)



Fuente: BP, 2021

En segundo lugar, fomenta condiciones laborales precarias. La presión para producir bienes de consumo rápidamente y a bajo costo se traduce en la explotación laboral y en condiciones de trabajo inseguras. Los trabajadores, enfrentan bajos salarios, largas jornadas laborales y entornos de trabajo peligrosos. Estas condiciones dificultan el acceso a derechos fundamentales como la salud, la educación y condiciones laborales dignas, impactando significativamente en sus vidas y en las de sus familias (United Nations, 2024).

Figura 13: Precariedad laboral por país (medido por % de familias por debajo del umbral de la pobreza con al menos un miembro empleado)



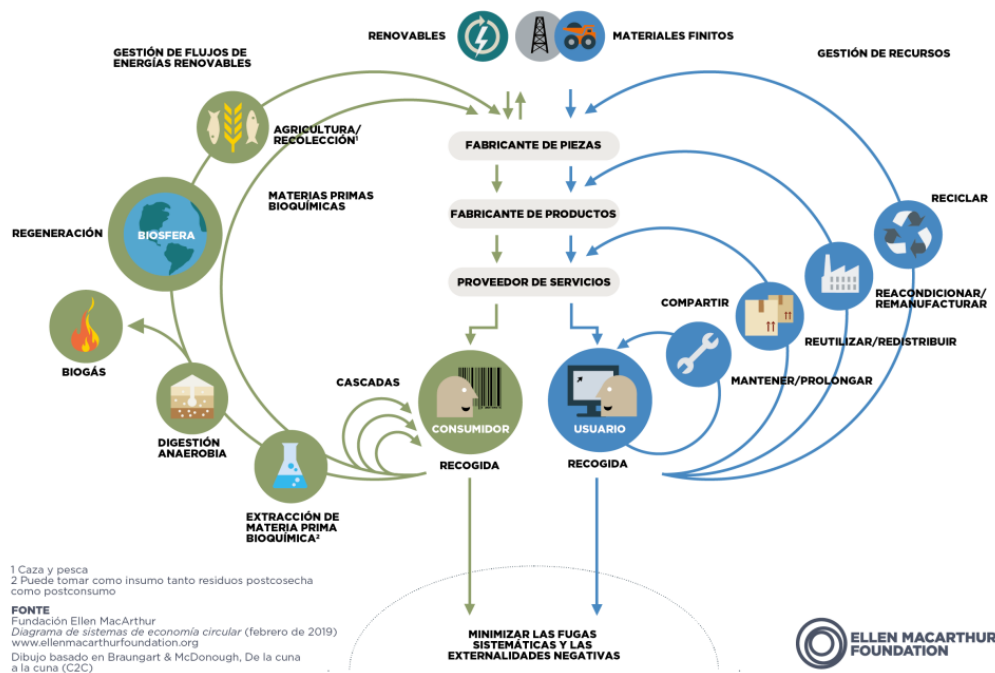
Fuente: OECD, 2018

Además, este modelo económico genera vulnerabilidades sociales significativas. La dependencia de industrias extractivas y de manufactura intensiva en recursos crea economías frágiles y poco diversificadas, altamente susceptibles a las fluctuaciones de

precios y demandas globales. Cuando los recursos se agotan o los mercados globales experimentan cambios, estas economías enfrentan crisis económicas severas. Estas crisis pueden resultar en desempleo masivo, pérdida de ingresos y un aumento de la pobreza, lo que contribuye a la inestabilidad social y económica (Sirisha, 2023).

Teniendo en cuenta los factores que hacen insostenible la economía lineal y por oposición al anterior paradigma, surge la economía circular (EC de ahora en adelante). En palabras de la Fundación Ellen MacArthur, referente en este campo, es *“un sistema industrial que es restaurador o regenerativo por intención y diseño. Reemplaza el concepto de “fin de vida útil” con la restauración, se orienta hacia el uso de energía renovable, elimina el uso de productos químicos tóxicos que dificultan la reutilización y busca la eliminación de residuos a través del diseño superior de materiales, productos, sistemas y, dentro de esto, modelos de negocios”* (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Figura 14: Diagrama de sistemas de economía circular



Fuente: Fundación Ellen MacArthur (Basado en Braungart & McDonough)

2.2.2. Origen

La finalización de la Segunda Guerra Mundial el 8 de mayo de 1945, propició un contexto económico internacional que apuntaba hacia la cooperación. La llegada del Marshall Plan en 1948 aceleró la unificación europea y permitió que las grandes potencias pudieran centrar sus esfuerzos en detectar y solucionar problemas que hasta entonces permanecían en un segundo plano (Office of the Historian, US Government, s/f).

La recuperación económica trajo consigo otras preocupaciones como el impacto medioambiental del desarrollo de la industria. Este hecho cobró especial importancia en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, del 5 al 16 de junio de 1972 en Estocolmo, conocida más comúnmente como la Conferencia de Estocolmo, que culminó en la firma de la Declaración y el Plan de acción de Estocolmo para el medio humano y estableció los primeros 26 principios de una economía más sostenible (United Nations, 1972). Este fue un punto de inflexión en el desarrollo de políticas medioambientales y puso el foco en la transición a un modelo sostenible. A pesar de ello, no fue hasta más de una década después que el término “Economía Circular” apareció por primera vez. Esta aparición tuvo lugar en el capítulo 2 del libro de 1989 “Economía de los recursos naturales y del medio ambiente” escrito por David W. Pearce and R. Kerry Turner, académicos y pioneros en la investigación de la economía ambiental (Cerdá & Khalilova, s/f). Mencionar que, si bien esta fue la primera aparición del término usado para describir el modelo, las bases del mismo comenzaban a establecerse en una publicación anterior del mismo año en la que Robert Frosh y Nicholas Gallopoulos comentaban: "El modelo tradicional de la actividad industrial, en el que cada uno de los procesos de fabricación de materias primas genera productos que se venden y los desechos puedan ser eliminados - debería ser transformado en un modelo más integrado: un ecosistema industrial." (Frosh & Gallopoulos, 1989)

Paralelamente, pasados pocos años tras la publicación de este libro que establecía las bases de un modelo económico sostenible, tuvo lugar el segundo evento internacional de cooperación medioambiental, la conferencia de Río de Janeiro de 1992, que reunió científicos, diplomáticos y empresarios de más de 179 países para conversar y establecer un marco de actuación que minimizara el impacto socioeconómico del ser humano en el medioambiente. Los resultados de esta conferencia fueron diversos,

incluyendo la Declaración de Río, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y la creación de la Comisión de Desarrollo Sostenible, es decir, el germen del desarrollo sostenible (United Nations, s/f).

2.2.3. Desarrollo de las “3R’s”

Una de las primeras apariciones de la economía circular en el día a día del consumidor surgió con la iniciativa de las 3R’s (reducir, reusar, reciclar), impulsada por las Naciones Unidas en la conferencia ministerial de 2009 en Tokio. Este acuerdo supuso un gran paso en el desarrollo de un modelo de producción y consumo más sostenible e implicó a gran parte de los actores económicos, entre ellos empresas, gobiernos, agencias interestatales y fundaciones (Ministerio de Medioambiente de Japón, 2009).

Si bien es cierto que las 3R’s supusieron un punto de partida, la EC es un sistema complejo que involucra causas y efectos más allá de la actuación directa del consumidor, así como aspectos que hasta hace pocos años habían sido obviados. Esta complejidad, hizo necesario el desarrollo de un sistema más completo: Las 10R’s. Este es uno de los sistemas más completos para el análisis de las relaciones entre los diferentes actores de la EC, pero es habitual que sea recomendadas las 5R’s, para estudios simplificados, compuestas por (Vermeulen, Reike & Witjes, 2019):

- Reducir: Consiste en la reducción de la utilización de recursos naturales y la generación de desperdicios. Esto se logra mediante el diseño de productos más eficientes, la optimización de los procesos de producción y la promoción del consumo responsable.
- Reutilizar: Es poner en circulación un material o producto nuevamente antes de desecharlo. Incluye el reprocesamiento, reparación o redirección de los materiales de desecho de una manera diferente. La reutilización aumenta la vida útil de los productos y disminuye la cantidad de productos nuevos.
- Reciclar: Es el proceso de producción de nuevos productos o materiales a partir de los desechos. El reciclaje es la recolección y tratamiento de materiales reciclables, como papel, vidrio, plástico y metales, para que luego se puedan volver a usar en la producción. Se utiliza para reducir la extracción de material de la tierra y la cantidad de desechos que van a vertederos.

- Recuperar: Se refiere a la extracción de materiales o energía de los desechos. Esto incluiría la recuperación de metales preciosos de productos electrónicos, la producción de compost o biogás a partir de residuos orgánicos, y la generación de energía a partir de residuos no reciclables utilizando, por ejemplo, la incineración con recuperación de energía.
- Repensar: Esto implicaría la reorganización de producimos y consumimos. Esto faculta a la innovación y la creatividad a desarrollar productos, servicios y modelos de negocios mucho más sostenibles. Ejemplos de repensamiento incluyen: diseño de productos modulares y fáciles de reparar, el uso de modelos de economía compartida, y el desplazamiento de paradigmas hacia el consumo sostenible y consciente.

2.2.4. Promotores destacados

2.2.4.1. Iniciativas públicas

La transición hacia una economía más sostenible y circular no es solo tarea de las empresas privadas; las políticas y regulaciones públicas juegan un rol clave para impulsar y mantener este cambio en todo el mundo (Del Río et al., 2023). Las iniciativas gubernamentales pueden crear una regulación y una infraestructura sólidas que apoyen los principios de la economía circular, motivando tanto a empresas como a consumidores a adoptar prácticas más verdes. Aquí se muestran algunos ejemplos destacados de estas políticas:

A) Estrategia de Economía Circular de la Unión Europea:

Actualizada en 2020, esta estrategia (Comisión Europea, 2020) es un componente clave del Pacto Verde Europeo (Consejo Europeo, 2024) y se centra en crear una economía sostenible, competitiva y climáticamente neutra. La estrategia incluye las siguientes medidas y objetivos principales:

- **Diseño de Productos Sostenibles:** La Comisión Europea propondrá una legislación sobre la política de productos sostenibles, con el objetivo de que estos se conviertan en la norma dentro de la UE. Esto incluye mejorar la durabilidad, reutilización, reparabilidad y reciclabilidad de los productos, reduciendo así el impacto ambiental desde la fase de diseño (European Commission, 2020) (Publications Office of the European Union, 2020).
- **Empoderamiento del Consumidor:** Se implementarán medidas para proporcionar a los consumidores información clara sobre la sostenibilidad de los productos y fomentar el derecho a la reparación. Esto incluye propuestas para acabar con el "greenwashing" y asegurar que las afirmaciones ecológicas de los productos sean verificables y transparentes (European Commission, s. f.).
- **Focalización en Sectores Clave:** La estrategia se centra en sectores que utilizan la mayor cantidad de recursos y tienen un alto potencial para la circularidad, tales como la electrónica, baterías, vehículos, envases, plásticos, textiles, construcción y edificios, y alimentos, agua y nutrientes. Para cada uno de estos sectores, se han definido iniciativas específicas para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de los recursos (Publications Office of the European Union, 2020).
- **Reducción de Residuos:** La Comisión Europea planea revisar la legislación sobre residuos para asegurar una gestión más eficiente y reducir la generación de desechos. Esto incluye propuestas para mejorar la recogida selectiva y el tratamiento de residuos, así como la promoción de mercados para materias primas secundarias (European Commission, 2020).
- **Apoyo a la Innovación y la Digitalización:** La estrategia también promueve el uso de tecnologías digitales como el Internet de las Cosas (IoT), big data, blockchain e inteligencia artificial para optimizar procesos y promover modelos de negocio innovadores como la economía colaborativa y los servicios de producto (European Commission, 2020).

B) Políticas nacionales y regionales en Europa:

Diversos países de la UE han desarrollado políticas nacionales de economía circular que se alinean con la estrategia europea, pero están adaptadas a sus contextos específicos. Un ejemplo claro de estas prácticas es el caso de España, que

recientemente publicó en un documento llamado “Estrategia Española de Economía Circular”, su plan de acción para lograr alcanzar una economía más sostenible para el año 2030 (MITECO, 2023).

En el año 2018, tras la publicación del marco de seguimiento para la economía circular (Comisión Europea, 2018), la agencia Eurostat publicó un informe con índices de desarrollo sostenible que permitía clasificar a los países más desarrollados de la Unión Europea en términos de transición ecológica, basándose en los principales indicadores de dicho marco (Eurostat, 2018). El resultado de este estudio destacaba a Reino Unido, Alemania y Francia como los tres países más avanzados. España se encontraba en la posición número 10 de 28, mostrando un notable progreso especialmente en términos de inversión privada. Algunas de las políticas anteriormente mencionadas incluyen:

- Apoyo Financiero: Programas de financiación y subsidios para empresas que adopten prácticas de economía circular. Por ejemplo, en los Países Bajos, existen subsidios específicos para proyectos de reciclaje y reutilización de materiales (European Commission, 2020).
- Digitalización en la Gestión de Residuos: Uso de tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia en la gestión de residuos, como sistemas de seguimiento de residuos y plataformas digitales para el intercambio de materiales reciclables (Publications Office of the European Union, 2020).
- Cambios en los Patrones de Consumo: Iniciativas para promover el consumo responsable y reducir el desperdicio, como campañas educativas y regulaciones que incentivan la compra de productos reutilizables y reciclables (European Commission, 2020).

C) Instrumentos Regulatorios y Financiación

La OCDE proporciona un marco para que ciudades y regiones impulsen la economía circular mediante [\(OCDE, 2020\)](#):

- Instrumentos Regulatorios: Identificación y promoción de regulaciones que faciliten la adopción de prácticas circulares, como normativas sobre la eficiencia de recursos y la gestión de residuos.

- **Movilización de Recursos Financieros:** Estrategias para movilizar recursos financieros y apoyar a los negocios sostenibles, incluyendo la creación de fondos verdes y la colaboración con instituciones financieras para ofrecer créditos a proyectos de economía circular.

Estas políticas no solo establecen un marco legal para la economía circular, sino que también facilitan la innovación y la adopción de nuevas tecnologías y procesos. Promueven una cultura de sostenibilidad, incrementando la conciencia y la transparencia entre los ciudadanos y las empresas, aspectos cruciales para una transformación efectiva hacia prácticas sostenibles.

Tal como se ha argumentado en literatura previa de diversos autores, (ver, por ejemplo, Del Río et al., 2023), el soporte gubernamental es vital para asegurar que la economía circular se implemente eficazmente tanto a nivel local como global, adaptándose a las necesidades específicas de cada región y fomentando la cooperación internacional para encontrar soluciones sostenibles.

2.2.4.2. Fundación Ellen MacArthur

Ellen MacArthur es una navegante y aventurera británica que, en el año 2005, saltó a la fama por hacer la vuelta al mundo navegando en solitario más rápida hasta la fecha. Además de batir un récord, Ellen "regresó con nuevos conocimientos sobre la forma en que funciona el mundo, como un lugar de ciclos entrelazados y recursos finitos, donde las decisiones que tomamos hoy afectan lo que queda para el mañana" (MacArthur, s/f-a)

Hoy en día la fundación centra sus esfuerzos en tres pilares: Promover la idea del modelo de EC, generar una red de instituciones involucradas y conducir I+D en diversas áreas que componen el sistema. Además de lo anterior, son la entidad referente en EC por su esfuerzo divulgativo, poniendo a disposición del público estudios, marcos conceptuales y demás recursos (MacArthur, s/f-b).

2.2.4.3. Circle Economy Foundation

La fundación Circle Economy es un *think tank*² neerlandés financiado por múltiples organizaciones internacionales, tales como la UNIDO, el Banco Europeo de Inversión y la Unesco (*Circle Economy Foundation, s/f*), cuyo objetivo es la incubación y desarrollo de propuestas que fomenten la creación de un modelo sostenible de EC en empresas, ciudades y naciones. Estas propuestas se desarrollan desde un enfoque altamente tecnológico, tratando de superar las barreras que están ralentizando el desarrollo de la EC en determinados ecosistemas (*Circle Economy Foundation, s/f, secs. 1 y 3*).

Gracias a esta inversión en I+D y el desarrollo de estudios y marcos conceptuales que facilitan la investigación en materia de EC, en los últimos 10 años han impactado en 124 empresas y 27 naciones, lo que ha posicionado a esta organización como referente de la aplicación tecnológica de la EC. (*Circle Economy Foundation, s/f, sec. 4*)

2.2.4.4. Circular Economy Club:

El Circular Economy Club (CEC) es una organización internacional sin ánimo de lucro, perteneciente al Circular Economy Institute, presente en la promoción de la economía circular. Fundada en Londres en 2012 por Anna Tari, la CEC fue creada para superar las barreras que enfrentaban las iniciativas de economía circular en términos de visibilidad, herramientas, financiación y conexiones intersectoriales (*Circular Economy Club, s. f.*).

El CEC opera como una red que reúne a profesionales y organizaciones implicadas en la economía circular, contando con más de 280 clubes en 140 países (*Circular Economy Connect, s. f.*). Estos clubes desempeñan un papel vital al organizar eventos, talleres y otras actividades para promover prácticas de economía circular a nivel comunitario.

Además, desde su fundación, el CEC ha colaborado con instituciones prominentes como la Fundación Ellen MacArthur (*Circular Economy Club, s. f.*). Ha sido reconocido

² Institución que se dedica a la producción de ideas, investigaciones y que produce evidencia en determinados temas o campos (*Institución Faro, 2022*).

por múltiples premios internacionales que destacan su contribución al avance de la economía circular (Circular Economy Club, s. f.).

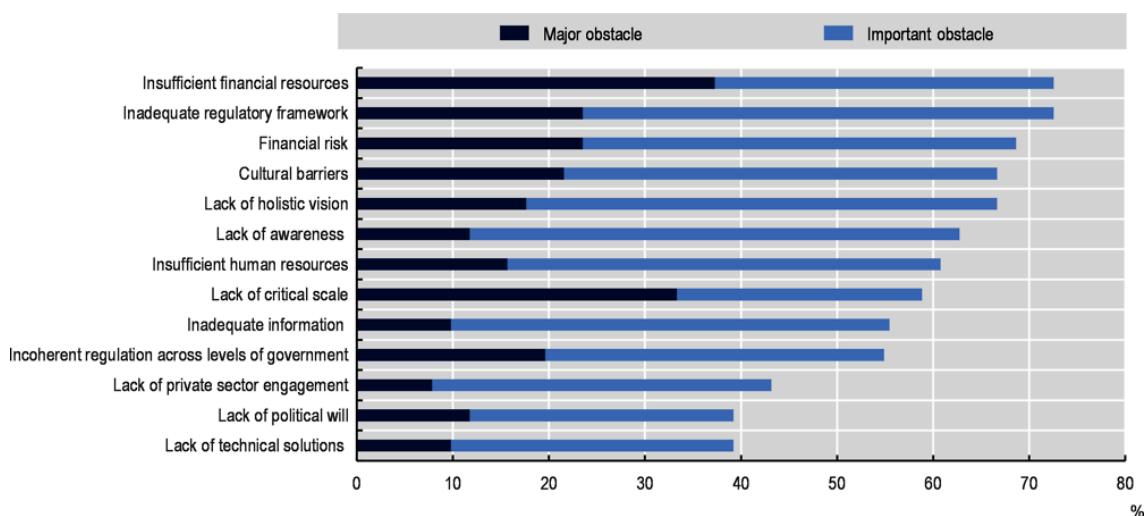
El CEC no solo actúa globalmente, sino que también impulsa la implementación local de iniciativas de economía circular, fomentando así una red de acción que permite un cambio tangible hacia modelos de negocio y estilos de vida más sostenibles (Circular Economy Club, s. f.-a).

2.2.5. Retos

Es razonable considerar que la transformación a gran escala de cualquier sistema implica enfrentarse a desafíos significativos. En el contexto de la implementación de políticas de sostenibilidad de largo alcance, se torna imprescindible llevar a cabo un análisis exhaustivo y cuantificar estos desafíos para comprender su magnitud y naturaleza.

Con la finalidad de profundizar en el entendimiento de cómo estas barreras afectan la puesta en marcha de estrategias y políticas públicas orientadas hacia la sostenibilidad, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) llevó a cabo una investigación meticulosa en 2020. Este estudio consistió en una encuesta aplicada a 51 regiones y ciudades, diseñada para recopilar datos e *insights* relevantes sobre las complicaciones y obstáculos que enfrentan las autoridades locales y regionales en el camino hacia la adopción de prácticas más sostenibles.

Figura 15: Percepción del sector público de las barreras para la transición a la EC



3

Fuente: OCDE, 2020.

Al analizar los resultados de la encuesta realizada (OCDE, s/f), se identificaron cinco obstáculos principales percibidos como barreras para el avance hacia la EC en los territorios estudiados:

1. Escasez de financiación y elevado riesgo financiero: Este aspecto destaca la dificultad para obtener los recursos económicos necesarios para proyectos de EC en campos de innovación.
2. Ausencia de un marco regulatorio adecuado y coherente: Señala la necesidad de regulaciones claras y consistentes que respalden el desarrollo y la implementación de prácticas de EC, facilitando así la transición.
3. Carencia de enfoques gubernamentales y políticas integrales: Subraya la falta de una visión unificada y de políticas que abarquen todas las dimensiones relevantes para fomentar la EC de manera efectiva.
4. Barreras culturales y desinformación: Refleja cómo las percepciones culturales y la falta de información adecuada pueden obstaculizar la adopción de prácticas sostenibles por parte de la sociedad.

³ Resultados basados en una muestra de 51 encuestados que indicaron los obstáculos como "Mayores" e "Importantes".

5. Escasez de capital humano: Apunta a la necesidad de más expertos y profesionales capacitados en el campo de la EC para liderar y gestionar la transición hacia prácticas más sostenibles.

Existe una interconexión entre estos factores: la percepción de falta de transparencia en las acciones del sector público afecta negativamente la confianza hacia las inversiones privadas. Esto, a su vez, dificulta el avance hacia un marco que promueva un modelo de consumo más sostenible. Tal situación evidencia la complejidad de los desafíos que enfrenta la transición hacia la EC y la importancia de abordar estos problemas de manera holística, asegurando que las medidas gubernamentales sean transparentes, bien comunicadas y apoyadas por políticas coherentes y bien estructuradas.

Además de los obstáculos identificados, el mal diseño político y la falta de coordinación entre las diferentes escalas de gobierno pueden presentar serias barreras para la implementación de la EC (Del Río et al., 2023). En muchos casos, las políticas se desarrollan de manera fragmentada, sin una visión integradora que considere las diversas dimensiones del problema. Esto puede llevar a la creación de normativas contradictorias que generan incertidumbre entre las empresas e inversores. La falta de coherencia en las políticas puede resultar en obstáculos adicionales para la adopción de prácticas sostenibles (Agyemang et al., 2019; Deloitte, 2017).

Por ejemplo, las políticas de incentivos fiscales o subvenciones para proyectos de EC pueden no alinearse con las regulaciones ambientales locales o nacionales, creando un entorno regulatorio complejo y desalentador para las empresas. Esta inconsistencia puede reducir la efectividad de las políticas de EC y limitar el acceso a los recursos necesarios para su implementación. La fragmentación de las políticas y la falta de coordinación entre los diferentes niveles de gobierno contribuyen significativamente a estas barreras (Deloitte, 2017).

Las empresas, como actores clave en la transición hacia la EC, perciben estas barreras de manera acentuada. La incertidumbre regulatoria y la percepción de riesgo asociado a inversiones en proyectos de EC pueden disuadir a las empresas de comprometerse plenamente con prácticas sostenibles. La falta de un marco político claro y estable

puede hacer que las empresas opten por enfoques tradicionales, considerados menos arriesgados, aunque sean menos sostenibles a largo plazo (Agyemang et al., 2019).

Adicionalmente, la percepción de que las políticas gubernamentales carecen de transparencia y están sujetas a cambios abruptos afecta la confianza empresarial. Las empresas necesitan previsibilidad para planificar sus inversiones a largo plazo, y la ausencia de esta previsibilidad puede ser una barrera significativa. La percepción de burocracia excesiva y procesos administrativos complejos también contribuye a que las empresas vean la transición a la EC como un desafío logístico y financiero más que como una oportunidad de innovación y crecimiento (Deloitte, 2017; Agyemang et al., 2019).

Para superar estas barreras, es esencial que los gobiernos desarrollen políticas integradas y coherentes, y fomenten la colaboración entre todos los niveles de gobierno y las partes interesadas. Además, es crucial mejorar la comunicación y la transparencia en la formulación e implementación de políticas para aumentar la confianza de las empresas y promover una adopción más amplia de prácticas de EC (Deloitte, 2017).

2.3. Internet of Things

2.3.1. Definición

El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se refiere a la amplia red de objetos físicos dotados con sensores, software y otras tecnologías, diseñados para conectarse y compartir información entre dispositivos y sistemas a través de la red (Oracle, s. f.). Esta interconexión digital abre un sinfín de posibilidades para la comunicación en tiempo real, marcando un avance significativo en cómo interactuamos con el mundo físico a través de la tecnología.

La gama de aplicaciones del IoT es vasta, abarcando desde la esfera doméstica, con electrodomésticos inteligentes, dispositivos móviles y sistemas de domótica, hasta aplicaciones industriales a gran escala. En el entorno residencial, el IoT transforma las viviendas en espacios más interactivos y automatizados, mejorando la comodidad y la eficiencia energética. Por otro lado, en el ámbito industrial, el IoT no solo optimiza los procesos de producción mediante la automatización y la eficiencia, sino que también desempeña un papel crucial en la mejora de la recopilación de datos y la trazabilidad.

2.3.2. Origen

El Internet de las Cosas (IoT) se remonta a experimentos iniciales de conectividad y automatización que datan de las décadas de 1980 y 1990. Un ejemplo notable es el proyecto de 1982 en el que un estudiante de Carnegie Mellon conectó una máquina expendedora a Internet para monitorear su estado a distancia, lo que representa un claro precursor del IoT (Braun, 2023).

En 1991, Mark Weiser, un científico de Xerox PARC, introdujo el concepto de "computación ubicua", donde la tecnología se integra de manera transparente en el entorno cotidiano, anticipando algunos principios fundamentales del IoT (Universidad Internacional de Valencia, 2023). Además, el avance de la tecnología de sensores durante la década de 1990 sentó las bases para la conectividad y la recopilación de datos en tiempo real.

Kevin Ashton, en 1999, acuñó el término "Internet de las Cosas" mientras trabajaba en el Auto-ID Labs del MIT, donde enfatizó la importancia de la tecnología RFID en el establecimiento de una red de objetos interconectados (Foote, 2023). El desarrollo del IoT ha sido influido significativamente por la adopción del estándar IPv6 en 1998, que amplió enormemente el número de dispositivos que se podían conectar a Internet (Braun, 2023).

Durante los años 2000, el IoT comenzó a materializarse con desarrollos como el frigorífico conectado a Internet de LG en 2000 y el aumento en el espacio de direcciones de Internet en 2012 gracias a IPv6. Estos avances permitieron conectar y gestionar un número creciente de dispositivos (Braun, 2023) (Foote, 2023).

Para 2008, el IoT había alcanzado una madurez tal que se celebró su primera conferencia internacional en Zúrich, y ese mismo año, la cantidad de dispositivos conectados a Internet superó al número de personas conectadas (Braun, 2023). Este hito marcó un punto de inflexión en la evolución del IoT, destacando su potencial expansión.

Figura 16: Evolución de dispositivos conectados por redes



4

Fuente: Universidad Isabel I

En el ámbito medioambiental, el concepto de "ciudades inteligentes" comenzó a ganar popularidad en 2011, destacando la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) para optimizar la eficiencia energética y la gestión del tráfico en áreas urbanas (Foote, 2023). Iniciativas en ciudades como Barcelona y Singapur demostraron cómo la integración de sensores y sistemas conectados podía mejorar la calidad de vida y la sostenibilidad urbana.

Con el tiempo, el IoT ha penetrado casi todos los aspectos de la vida moderna, integrándose en sectores como la gestión de edificios, la atención médica, la agricultura y la manufactura. Este avance ha sido posible gracias a la combinación de la computación en la nube, el análisis de grandes volúmenes de datos y la inteligencia artificial, permitiendo que los dispositivos no solo se comuniquen entre sí, sino que también analicen y procesen información de forma autónoma (Foote, 2023). En el ámbito de la salud, por ejemplo, dispositivos como los wearables han revolucionado el monitoreo de pacientes y la medicina preventiva, ofreciendo datos en tiempo real que mejoran los diagnósticos y tratamientos.

⁴ Evolución del número de dispositivos conectados a lo largo de los años, en los que se ve el crecimiento de los dispositivos IoT (en rojo) frente al estancamiento de los dispositivos no-IoT (en blanco).

Hoy en día, el IoT continúa expandiéndose, impulsado por tecnologías emergentes como la red 5G, que promete una conectividad más rápida y fiable, y por la creciente tendencia hacia la automatización y la personalización en tiempo real. Este ecosistema en constante evolución sigue transformando cómo interactuamos con el mundo, subrayando la importancia del IoT en el tejido de la vida cotidiana. Además, la proliferación de dispositivos conectados plantea nuevos desafíos en términos de seguridad y privacidad, aspectos que deben ser abordados para asegurar un desarrollo sostenible y seguro de las ciudades inteligentes y otras aplicaciones del IoT.

2.4. Blockchain

2.4.1. Definición

El concepto de Blockchain, o "cadena de bloques" en español, se define como "un registro contable compartido e inalterable que simplifica el procedimiento de documentar transacciones y seguir el rastro de activos dentro de una red de negocios", según IBM (2024). Este sistema de registro digital promueve la transparencia y la seguridad en las operaciones empresariales, permitiendo que la información sea distribuida pero no copiada ni modificada, lo que establece un nuevo estándar de confianza y colaboración.

2.4.2. Origen

Los orígenes de la tecnología Blockchain se pueden rastrear hasta el trabajo de Stuart Haber y W. Scott Stornetta, dos investigadores que publicaron un artículo en 1991 describiendo una cadena de bloques asegurada criptográficamente (Haber & Stornetta, 1991). El artículo de Haber y Stornetta propuso un sistema de sellos de tiempo en documentos digitales con el fin de evitar que estos fueran fechados retroactivamente o manipulados, estableciendo las bases para la inmutabilidad de los registros digitales.

En 1997, seis años después de la publicación de Haber y Stornetta, Adam Back, doctor en ciencia computacional por la Universidad de Exeter, publicó un sistema de proof-of-work (prueba de trabajo) denominado Hashcash, cuyo objetivo era minimizar el spam o correo no deseado recibido en las bandejas de correo electrónico de los usuarios (Back, 2002). El mecanismo proof-of-work, explicado de un modo simplificado, es un mecanismo de seguridad informática diseñado para prevenir el abuso de servicios.

Funciona haciendo que el solicitante (por ejemplo, un usuario o un sistema) realice un trabajo computacional significativo que requiere cierto esfuerzo y tiempo para completarse, pero que es fácil de verificar por parte del receptor del servicio que lo solicita (Bello, 2022).

La integración del concepto de un libro mayor distribuido y seguro, junto con el Hashcash, fueron la inspiración clave para la tecnología Blockchain, construida y ampliada por Satoshi Nakamoto en la creación de Bitcoin en 2008, marcando un hito fundamental en la evolución de las criptomonedas y la tecnología de registros distribuidos (Nakamoto, 2008).

2.4.3. Componentes de un bloque

En el contexto de un sistema Blockchain, un bloque típicamente alberga distintos tipos de información en su estructura, organizada en dos secciones principales (Liang, 2019):

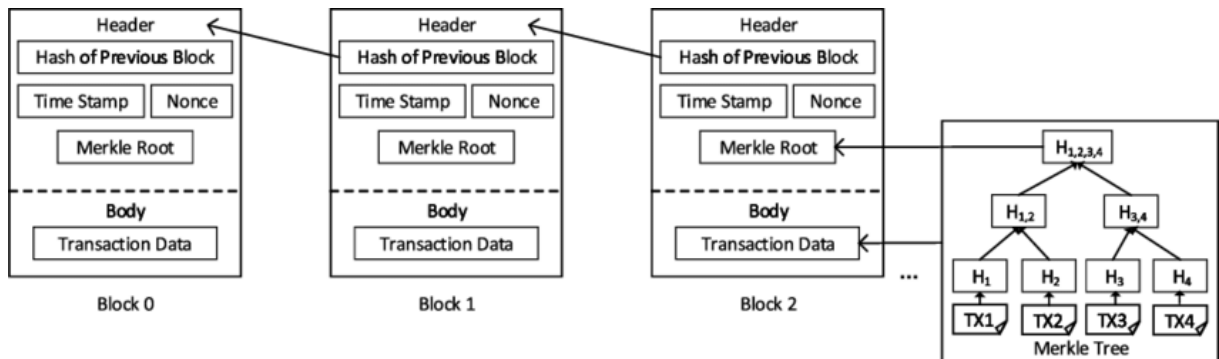
- Encabezado del bloque (Header): Incluye metadatos tales como el número identificativo del bloque, una marca temporal que muestra el momento exacto de su creación, y el hash del bloque previo. Estos elementos son cruciales para establecer la cadena inalterable, pues generan un enlace seguro y verificable entre cada bloque consecutivo. Sus cuatro elementos cumplen la siguiente definición:
 - Hash⁵ del bloque anterior: Este campo contiene el hash del bloque anterior de la cadena. Esta inclusión del hash en la cabecera asegura de forma única cada nuevo bloque que se enlaza con el anterior de la cadena y, por tanto, forma una secuencia ininterrumpida de bloques (CSCI-1200, 2010).
 - Marca de tiempo (Timestamp). Es el momento en el que se creó el bloque. Un timestamp suministra información sobre el tiempo cuando un bloque fue creado y añadido a la cadena de bloques. Principalmente representa la fecha y hora en la que el bloque fue minado, pero es

⁵ Un hash es una función que toma una entrada (o "clave") y devuelve una cadena de bytes de tamaño fijo (CSCI-1200, 2010).

importante mencionar el hecho de que las marcas de tiempo en una cadena de bloques pueden ser imperfectamente puntuales debido a variaciones en la red de sincronización y otros factores (*IBM Documentation, 2023*).

- Nonce: Se trata de un número arbitrario que se aplica en el proceso de minería para localizar un hash válido para el bloque. Los mineros irán cambiando este "nonce" una y otra vez hasta que finalmente consigan un hash con la condición o dificultad predeterminada como requisito. Así, el nonce es un término importante dentro del proceso de Prueba de Trabajo utilizado por muchas blockchain, donde los mineros hacen una competición para resolver un complejo problema matemático (Okta, Inc., 2023).
- Raíz de Merkle (Merkle Root): La raíz de Merkle es el hash resumen de todas las transacciones contenidas en el bloque. Calcular la raíz de Merkle implica establecer un conjunto de hashes de transacciones en una estructura de árbol binario. A continuación, se calcula una única raíz hash que representa todas las transacciones. La raíz de Merkle garantiza la integridad de todas las transacciones dentro de un bloque, de forma que cualquier cambio en una transacción individual afecta al hash de la raíz Merkle. Esto proporciona una forma eficaz de verificar la integridad de un bloque sin tener que verificar todas las transacciones una por una (ESAN, 2019).
- Cuerpo del bloque: Contiene la información sobre las transacciones realizadas. Pueden representar transferencias de activos (por ejemplo, criptomonedas como Bitcoin), ejecución de contratos inteligentes (como en Ethereum) u otras operaciones específicas de la cadena de bloques en cuestión.

Figura 17: Componentes de una cadena de bloques



Fuente: Liang, 2019

Estos son los elementos básicos que se encuentran en la estructura de un bloque en la mayoría de las implementaciones de blockchain. Sin embargo, hay sistemas blockchain que pueden tener campos adicionales según sus requisitos específicos o características únicas.

2.4.4. Funcionamiento

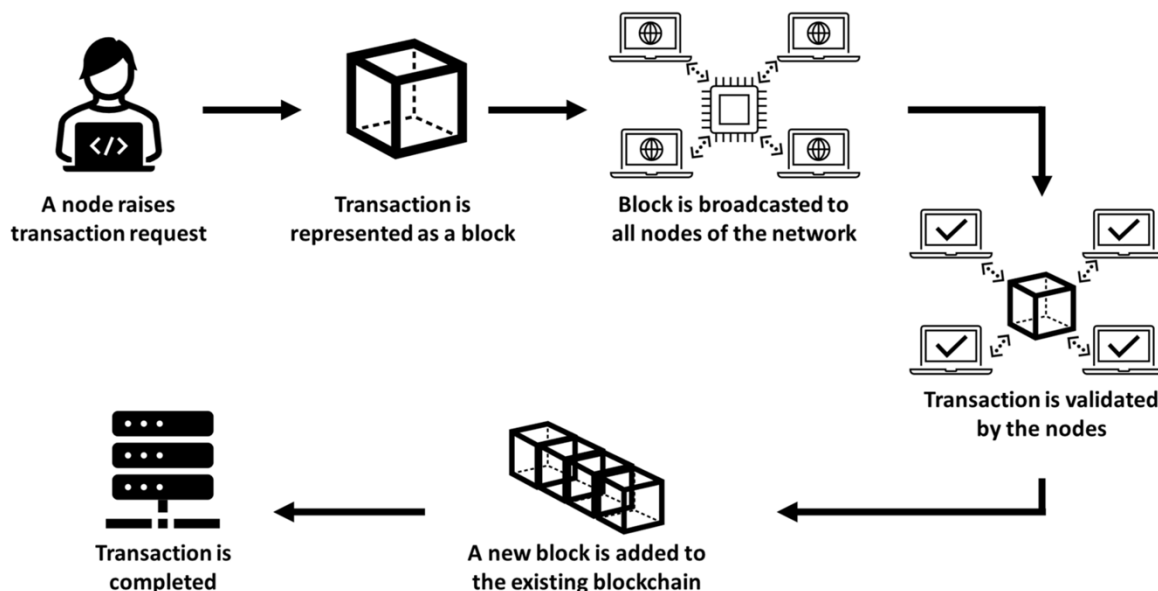
Una transacción en una red blockchain sigue los siguientes pasos hasta ser completada, es decir, registrada y validada. En este caso se usará una red de finalidad financiera como ejemplo (Allam et al., 2021):

1. El usuario inicia el proceso de transacción: A través de su monedero digital, inicia un proceso de transacción describiendo la suma que se supone va a enviar a la otra parte y su firma digital, autenticando así la operación.
2. Distribución de la transacción: A continuación, esta transacción se distribuye en la red blockchain para que cada nodo u ordenador participante en la red la recupere y compruebe su validez.
3. Revisión en el "mempool": En esta fase, los nodos evalúan la legitimidad de la transacción dentro del "mepool", un espacio de almacenaje temporal para transacciones aún no confirmadas. Aquí se garantiza que el usuario dispone del saldo necesario y que su firma digital es auténtica, como afirman Kallurkar y Chandavarkar (2022).

4. Prueba de trabajo (Proof-of-Work): En este proceso, la generación de un nuevo bloque entra en competición entre mineros (nodos diseñados para generar nuevos bloques). Para ello, resuelven un complicado rompecabezas matemático, que se denomina "prueba de trabajo". Al primer minero que encuentra la solución se le concede el derecho a añadir un nuevo bloque a la cadena.
5. Selección de transacciones: El minero vencedor en la prueba de trabajo elige las transacciones validadas del mempool para ser incluidas en el bloque que está formando.
6. Formación del nuevo bloque: Se integran las formaciones de las transacciones elegidas y se realiza la vinculación criptográfica con el bloque anterior.
7. Verificación del bloque: Los nodos propagan el bloque recién formado para su posterior validación entre otros nodos de la red. Se confirma la validez de las transacciones, la vinculación con el bloque anterior y la prueba del trabajo realizada.
8. Consenso en la Red: Si se alcanza un acuerdo mayoritario entre los nodos sobre la validez del nuevo bloque, se establece un consenso que ratifica la inclusión del bloque en la cadena. De esta forma, la transacción quedará registrada de forma irreversible en el libro contable distribuido.
9. Actualización del Libro Mayor: Con el consenso, todos los nodos actualizan sus respectivas copias del libro mayor para incorporar el nuevo bloque y, por ende, la transacción efectuada.

A continuación, se muestra una representación gráfica simplificada del funcionamiento de la transacción dentro del Blockchain:

Figura 18: Proceso de inclusión de un nuevo bloque en un sistema blockchain



Fuente: Santhi, A. R. & Muthuswamy, P., 2022

La economía circular busca cerrar los ciclos de producción y consumo, promoviendo la reutilización, reparación y reciclaje de productos y materiales para reducir el desperdicio y la dependencia de recursos finitos. En este contexto, el IoT puede jugar un papel crucial al permitir la monitorización y gestión en tiempo real de las cadenas de suministro, mejorando la eficiencia y la trazabilidad de los productos a lo largo de su ciclo de vida. Por su parte, la tecnología Blockchain proporciona un registro seguro e inmutable de todas las transacciones y movimientos dentro de la cadena de suministro, asegurando la transparencia y la confiabilidad de los datos.

3. Metodología

Este estudio sobre la trazabilidad en las cadenas de suministro de smartphones y las aplicaciones de IoT y Blockchain orientadas a una economía circular ha adoptado una metodología integrada y continua para asegurar un enfoque sistemático y organizado en la investigación, destacando la importancia y la interrelación entre la economía

circular (EC), la blockchain (BC), el Internet de las Cosas (IoT) y la industria de los smartphones.

Inicialmente, se ha realizado un análisis exhaustivo de la literatura para crear un marco conceptual detallado, exponiendo términos técnicos y conceptos clave relevantes para el estudio. Este marco se ha sustentado en la revisión de diversas fuentes a través de búsquedas en la Biblioteca de la Universidad de Alcalá de Henares (UAH), Google Scholar, y plataformas de publicaciones científicas como ResearchGate. También se han incluido informes de organismos internacionales y entidades reconocidas, como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Fundación Ellen MacArthur, el Parlamento Europeo y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Esta aproximación define claramente el tema de estudio y subraya su importancia en el contexto socioeconómico actual, especialmente en cómo la economía circular puede beneficiarse del IoT y la blockchain para mejorar la trazabilidad y sostenibilidad en la industria de los smartphones.

Para el estudio detallado sobre la trazabilidad en las cadenas de suministro de los smartphones y las aplicaciones de IoT y Blockchain, se ha realizado un análisis cualitativo de casos específicos, siguiendo la metodología recomendada por Eisenhardt y Graebner (2007) para profundizar en el entendimiento de áreas particularmente innovadoras o complejas. Este enfoque se muestra apropiado para investigar y comprender las dinámicas internas de las situaciones estudiadas, permitiendo así captar detalles sutiles y matices que los métodos cuantitativos a menudo no logran revelar.

Este análisis ha adoptado, por lo tanto, una perspectiva inductiva, examinando, describiendo y analizando reflexivamente una serie de casos para derivar conclusiones aplicables de manera más general sobre el tema investigado. La inclusión de múltiples casos mejora la fiabilidad y la capacidad de generalización de los resultados, siguiendo las recomendaciones de autores como Cook y Campbell (1976) y Patton (1990). Se han evaluado tanto las dinámicas internas de cada caso (análisis intra-caso) como la comparación entre diferentes casos (análisis inter-casos), lo que ha conducido a un conjunto de conocimientos que enriquecen la comprensión global del tema.

El análisis de los casos se ha desarrollado bajo el marco conceptual ReSOLVE, propuesto por la Fundación Ellen MacArthur, que guía a empresas y gobiernos hacia

prácticas más sostenibles. Este marco se estructura alrededor de seis principios fundamentales, cada uno representado por las letras de "ReSOLVE" (Ellen MacArthur Foundation, s. f.-d):

1. Regenerate (Regenerar): Se enfoca en preservar y mejorar los sistemas naturales, buscando regenerar ecosistemas que han sido afectados negativamente por actividades industriales o humanas.
2. Share (Compartir): Promueve la reutilización de productos, fomentando su uso compartido y extendiendo su vida útil.
3. Optimise (Optimizar): Se orienta a eliminar el desperdicio en procesos de producción y operaciones, mejorando la eficiencia en el uso de recursos y energía.
4. Loop (Bucles): Impulsa la creación de ciclos cerrados donde los materiales se reciclan y reutilizan, minimizando la dependencia de recursos vírgenes y finitos.
5. Virtualise (Virtualizar): Fomenta la reducción de los procesos físicos a favor de tanto como sea posible, sustituyéndolos por procesos digitales o virtuales, reduciendo así el consumo de recursos.
6. Exchange (Intercambiar): Busca reemplazar materiales, tecnologías y métodos obsoletos por alternativas más eficientes y de menor impacto ambiental.

Estos principios han sido analizados en las tres principales empresas productoras de teléfonos móviles en términos de facturación, Samsung, Apple y Xiaomi, consideradas representativas del mercado actual. Adicionalmente, se ha registrado y analizado la presencia de tecnología Blockchain en las cadenas de suministro de industrias colindantes, con el fin de identificar prácticas existentes que podrían ser replicables en el sector de los smartphones.

Para proporcionar una visión clara de la cuota de mercado que justifica la selección de estas empresas, se incluye una tabla actualizada a principios de 2024:

Figura 19: Top 5 Companies, Worldwide Smartphone Shipments, Market Share, and Year-Over-Year Growth, Q1 2024 (Preliminary results, shipments in millions of units)

Company	1Q24 Shipments	1Q24 Market Share	1Q23 Shipments	1Q23 Market Share	Year-Over-Year Change
1. Samsung	60.1	20.8%	60.5	22.5%	-0.7%
2. Apple	50.1	17.3%	55.4	20.7%	-9.6%
3. Xiaomi	40.8	14.1%	30.5	11.4%	33.8%
4. Transsion	28.5	9.9%	15.4	5.7%	84.9%
5. OPPO	25.2	8.7%	27.6	10.3%	-8.5%
Others	84.7	29.3%	79.0	29.4%	7.2%
Total	289.4	100.0%	268.5	100.0%	7.8%

Fuente: IDC, 2024

Mientras que Samsung se mantiene como líder con una cuota del 20.8%, Apple ha experimentado una disminución significativa, cayendo al 17.3%. En contraste, Xiaomi ha mostrado un fuerte crecimiento, alcanzando una cuota de mercado del 14.1%. Este análisis destaca cómo estas tres empresas están posicionadas en el mercado y subraya la importancia de sus estrategias de eco-innovación para mantenerse competitivas y relevantes en un entorno de rápida evolución tecnológica.

Se ha llevado a cabo una exhaustiva investigación documental de fuentes secundarias (desk research) con el objetivo de recopilar datos relevantes sobre las estrategias de eco-innovación y la adopción de tecnologías disruptivas como IoT (Internet de las Cosas) y Blockchain en las cadenas de suministro de empresas líderes en la industria de los smartphones, específicamente Samsung, Apple y Xiaomi. Para obtener una visión completa y precisa, se han utilizado diversas fuentes de información, que incluyen:

- Notas de prensa y comunicados oficiales: Se ha revisado información publicada directamente por Samsung, Apple y Xiaomi en sus sitios web corporativos y en medios de comunicación. Estos documentos oficiales proporcionan datos cruciales sobre las iniciativas y estrategias recientes de las empresas en términos de innovación y sostenibilidad.
- Medios de comunicación especializados: Se han consultado artículos y reportajes en medios de tecnología reconocidos como Xataka, así como en

secciones específicas de tecnología en diarios influyentes como La Vanguardia y El Confidencial. Estas fuentes ofrecen análisis detallados y opiniones de expertos sobre las últimas tendencias tecnológicas y de mercado.

- Publicaciones académicas y artículos científicos: Se ha realizado una revisión de literatura académica que aborda la adopción de tecnologías emergentes en la industria de los smartphones.

La recolección de datos se ha desarrollado a lo largo del período comprendido entre enero de 2024 y julio del mismo año. Este intervalo temporal ha permitido obtener una visión actualizada y precisa de las tendencias y cambios en el mercado, así como de las innovaciones tecnológicas implementadas por las empresas seleccionadas. El análisis de estos datos destaca cómo Samsung, Apple y Xiaomi están posicionadas en el mercado y subraya la importancia de sus estrategias de eco-innovación para mantenerse competitivas y relevantes en un entorno de rápida evolución tecnológica.

Como último paso del análisis inter-casos se ha llevado a cabo una evaluación del grado de desarrollo de cada una de las empresas seleccionadas en los distintos pilares del marco ReSOLVE siguiendo un índice entre el 1 y el 3, siendo el 1 el menor grado de desarrollo, 2 un desarrollo intermedio y 3 un desarrollo avanzado. Posteriormente estos índices han sido utilizados para medir el desarrollo medio del sector. Cabe mencionar la subjetividad del investigador implícita en este tipo de análisis, basada en una percepción cualitativa en base a la información recopilada.

A partir de este estudio comparativo y análisis de casos, se han desarrollado propuestas innovadoras diseñadas para introducir y aprovechar el potencial del IoT y Blockchain. Estas propuestas buscan abordar las áreas de mejora identificadas mediante el método ReSOLVE.

4. Análisis y resultados

A continuación, se presenta un análisis de los casos elegidos, tomando en cuenta las prácticas de eco- innovación implementadas por Samsung, Apple y Xiaomi. Estas empresas, seleccionadas por ser las tres más representativas en términos de cuota de mercado a principios de 2024, han adoptado diversas estrategias para minimizar su impacto ambiental. Bajo el marco ReSOLVE como referencia, este estudio detalla cómo cada una de estas compañías ha integrado diferentes principios de circularidad en sus operaciones y productos.

4.1. Samsung

Samsung es un conglomerado de 83 empresas coreanas líder en la industria tecnológica y responsable del 13% de las exportaciones en Corea del Sur. Su principal empresa, fuente de la mayor parte de sus ingresos es Samsung Electronics, fabricante de smartphones, televisores y electrodomésticos (The Economist, 2011). Los principales datos sobre la empresa son (Samsung, 2021):

- Año de fundación: 1969
- Sede: Samsung Digital City, Suwon, Corea del Sur
- Número de empleados: Aproximadamente 270,372 (a diciembre de 2022)
- Ventas anuales: En 2022, Samsung Electronics reportó ingresos de aproximadamente 302,23 billones de wones surcoreanos, que equivalen a unos 243,09 mil millones de dólares (Onyango, 2024)

4.1.1. Regenerate (Regenerar)

Samsung Semiconductor INC. (subsidiaria de Samsung Electronics y principal empresa global en fabricación de semiconductores) se ha unido recientemente a RE100, una iniciativa global que se compromete a utilizar energía 100% renovable. Esta decisión forma parte de una estrategia ambiental más amplia de Samsung Electronics,

anunciada en septiembre de 2022, cuyo objetivo es alcanzar cero emisiones netas de carbono para 2050. La empresa se ha comprometido a sustituir todas sus necesidades eléctricas con energía renovable para la fecha establecida. Además, desde 2019, sus plantas de semiconductores en el extranjero ya operan completamente con energías renovables (Samsung Electronics, 2022).

Sin embargo, la transición hacia la energía renovable presenta desafíos significativos, especialmente en Corea del Sur, donde Samsung tiene la mayoría de sus operaciones. La infraestructura energética actual del país y su dependencia de fuentes no renovables complican este cambio. Históricamente, Samsung ha sido un gran consumidor de electricidad, principalmente de carbón y gas, representando alrededor del 20% del consumo total de electricidad de los hogares coreanos en 2019 (Tachev, 2022).

La inclusión de Samsung en RE100 es un paso importante que podría influir positivamente en toda Corea del Sur y motivar a otras empresas a seguir su ejemplo. Sin embargo, Samsung enfrenta críticas por la lentitud de sus avances y la falta de metas más ambiciosas, comparado con otros gigantes tecnológicos como Apple y Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), que han adoptado compromisos de energía renovable más agresivos (Tachev, 2022).

Como respuesta a estos desafíos, Samsung participa activamente en diversas iniciativas, incluyendo ser miembro fundador de la Coalición Asiática de Energía Limpia (ACEC). Este compromiso es crucial mientras la empresa trabaja para incrementar su uso de energía renovable, enfrentando limitaciones regionales y una alta demanda energética debido a su creciente producción de semiconductores (Samsung Electronics, s. f.).

4.1.2. Share (Compartir)

Una de las principales estrategias bajo el análisis del uso compartido es el programa de renting de dispositivos móviles que Samsung ha presentado de la mano de la compañía de préstamos Cetelem, que permite a los usuarios alquilar teléfonos móviles en lugar de comprarlos. Este modelo reduce la demanda de nuevos dispositivos y facilita el acceso a tecnología de alta gama a un coste reducido. A través del renting, los clientes pueden renovar sus dispositivos cada 12 meses, lo que aporta valor al

consumidor final y reduce los residuos electrónicos por la constante evacuación y reparación de los dispositivos (Samsung, 2024).

Por otra parte, Samsung ha lanzado iniciativas innovadoras para fomentar la reutilización de sus productos con fines alternativos, por los mismos o diferentes usuarios. Por ejemplo, el programa "Galaxy Upcycling at Home" permite a los usuarios transformar sus antiguos teléfonos Galaxy en dispositivos IoT para el hogar, como monitores para bebés y soluciones para mascotas, mediante una actualización de software. Esta iniciativa no solo reduce los residuos electrónicos, sino que también maximiza el uso de recursos existentes.

Además, la empresa ha introducido envases ecológicos a través de su iniciativa Eco-Packaging, que permite a los consumidores reutilizar las cajas de sus productos para crear utensilios domésticos, apoyando así la sostenibilidad en el hogar (Samsung Newsroom U.S., 2023; Samsung España, 2022a).

4.1.3. Optimise (Optimizar)

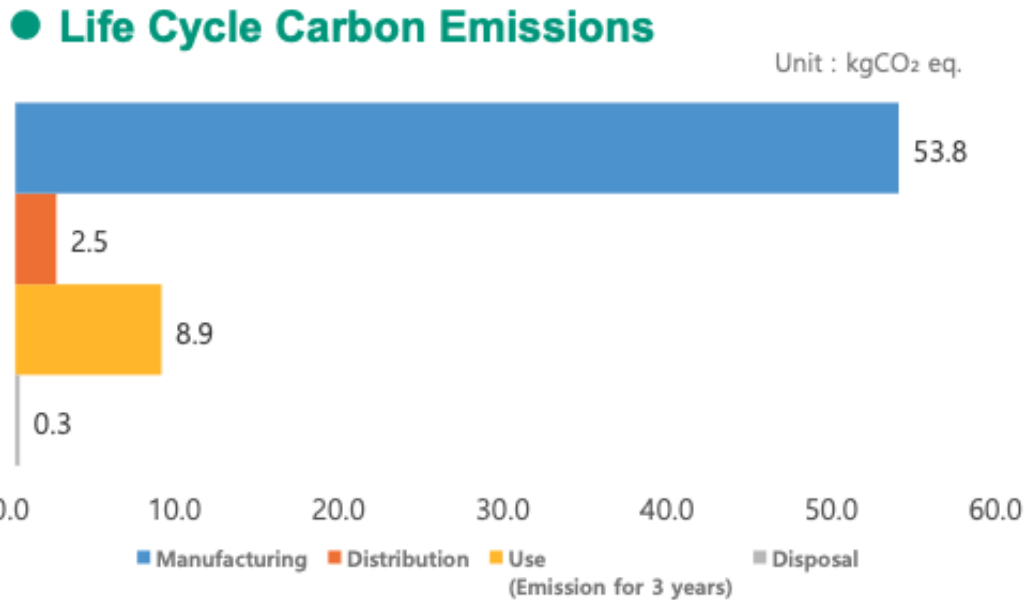
Con el objetivo de medir apropiadamente el impacto medioambiental de sus productos y, de tal modo, poder elaborar estrategias para reducirlo, Samsung ha adoptado sistemas de gestión ambiental certificados bajo ISO 14001 e ISO 50001, y realiza evaluaciones del ciclo de vida (LCA⁶) de sus productos de forma regular.

En su último informe, del año 2023, se lleva a cabo un desglose del impacto medioambiental de cada uno de los modelos de smartphone disponibles en el mercado, desglosados por diversos criterios como la etapa de la fase del producto, el punto de suministro, etc.

Tomando como referencia el último modelo lanzado al mercado, el Samsung Galaxy S24 Ultra, podemos observar:

⁶ Life-cycle assessment (LCA) is a process of evaluating the effects that a product has on the environment over the entire period of its life thereby increasing resource-use efficiency and decreasing liabilities (European Environment Agency, s. f.)

Figura 20: Emisiones de carbono (kgCO₂) del smartphone “Samsung Galaxy S24 Ultra” por fases del ciclo de vida



Fuente: (Samsung Electronics, 2023)

Este informe respalda los datos presentados al comienzo de esta investigación argumentando el papel central de la fase de producción en la degradación del medioambiente. Además, podemos observar cómo, la fase fin de uso del producto es la que menor impacto tiene en el total (en parte resultado de la inversión en I+D realizada en los últimos años para mejorar el proceso de desmontado en esta industria).

Resulta relevante mencionar que las certificaciones ISO comentadas al comienzo de este apartado, y que “aseguran” la transparencia y fiabilidad de los resultados, se concedieron a la empresa como resultado de un proceso de auditoría externa. Este proceso, realizado por una entidad independiente, tuvo un resultado positivo, indicando que la empresa cumple con los requisitos establecidos por las normas ISO correspondientes. No obstante, es importante destacar que la propia agencia externa remarca que los datos evaluados están sujetos a la muestra limitada proporcionada por la empresa. Esto significa que los resultados de la auditoría no pueden ser considerados como una representación exacta y completa de la realidad operativa de la empresa (Samsung Semiconductor Global, 2024).

En el contexto de las tecnologías implementadas, Samsung ha incorporado componentes IoT en sus dispositivos, los cuales permiten el seguimiento y monitoreo de los datos presentados. Sin embargo, estos componentes no garantizan por sí mismos la total transparencia de los datos. La tecnología IoT facilita la recopilación y transmisión de datos en tiempo real, pero no proporciona un mecanismo inherente para asegurar la inmutabilidad y verificabilidad de estos datos.

Como se planteaba al comienzo de este trabajo, la implementación de una red Blockchain en los dispositivos de Samsung podría proporcionar una solución más robusta para asegurar la transparencia y la integridad de los datos. La tecnología Blockchain permitiría la creación de un registro inmutable y verificable de las transacciones y datos relacionados con el cumplimiento de los estándares de transición ecológica. Cada entrada en la cadena de bloques sería resistente a manipulaciones, ofreciendo una capa adicional de seguridad y confianza en la información registrada.

Por lo tanto, la integración de una red Blockchain no solo complementaría los esfuerzos actuales de monitoreo y seguimiento mediante IoT, sino que también proporcionaría un medio para certificar de manera más confiable y transparente el cumplimiento de los estándares ambientales y de sostenibilidad. Esta adopción tecnológica podría posicionar a Samsung como líder en la implementación de soluciones innovadoras para la gestión y transparencia de datos, alineándose con las crecientes demandas de responsabilidad y sostenibilidad en el sector tecnológico.

Por último, recalcar que Samsung ha implementado tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT) para optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia operativa en algunos de sus productos, aunque por el momento no en el sector en el que se enfoca este trabajo (por ejemplo, las lavadoras Samsung con "OptiWash" utilizan sensores para ajustar automáticamente el consumo de agua y detergente según el peso de la carga, reduciendo el desperdicio de recursos). La empresa también se ha comprometido a mejorar la eficiencia energética de sus productos en un 30% para 2030 (Samsung US, 2023; Samsung Newsroom U.S., 2023).

4.1.4. Loop (Bucle)

Samsung ha demostrado un fuerte compromiso con la economía circular mediante el uso de materiales reciclados en la fabricación de sus productos. La empresa ha desarrollado tecnologías para incorporar plásticos reciclados en componentes de sus dispositivos electrónicos, como monitores y televisores. Desde 2012, Samsung ha recolectado y reciclado un promedio de 45 millones de kilos de desechos electrónicos por año, recuperando materiales valiosos que pueden ser reutilizados (Samsung Electronics, s. f.-a; Samsung US, 2023b).

Además, Samsung ofrece programas de reacondicionamiento para dispositivos usados, que luego se venden nuevamente, prolongando su vida útil y reduciendo la necesidad de fabricar nuevos productos. La compañía también ha establecido el Centro de Reciclaje en Asan (Corea), donde se separan metales como hierro, cobre y aluminio de plásticos para su reciclaje (Samsung US, 2023b).

Samsung ha implementado un sistema de reciclaje de circuito cerrado, asegurando que los materiales reciclados se reintegren en la producción de nuevos productos. En cuanto al embalaje, desde 2020 han reemplazado el papel de embalaje con papel reciclado y planean hacer lo mismo con los plásticos, sustituyéndolos por materiales reciclados o biomateriales (Samsung Electronics, s. f.-a; Samsung US, 2023b).

Para mejorar aún más este sistema, se propone la integración de sensores IoT en puntos de recolección y líneas de reciclaje que permita monitorizar en tiempo real el proceso, optimizando las rutas de recolección y mejorando la eficiencia operativa. Por otro lado, una plataforma Blockchain puede registrar cada dispositivo móvil reacondicionado o reciclado, proporcionando transparencia y trazabilidad en todo el ciclo de vida del producto. *Smart contracts*⁷ pueden ofrecer incentivos automáticos a los consumidores que devuelvan sus dispositivos usados, fomentando la participación en programas de reciclaje. Asimismo, la certificación y autenticación de materiales reciclados mediante blockchain garantizarán la integridad y procedencia de los materiales utilizados en nuevos productos.

⁷ Los contratos inteligentes son contratos digitales almacenados en una cadena de bloques (blockchain) que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen unas condiciones predeterminadas (IBM, s. f.-a).

4.1.5. Virtualise (Virtualizar)

Samsung ha logrado avances significativos en la virtualización de productos y servicios, destacando especialmente su plataforma SmartThings, Samsung Health y la aplicación Samsung Global Goals. Estas iniciativas fomentan dejar de usar productos físicos al transformar funciones tradicionales de hardware en servicios digitales accesibles desde dispositivos móviles, promoviendo una gestión más eficiente y sostenible de recursos y estilos de vida saludables.

La plataforma SmartThings permite a los usuarios controlar y monitorear dispositivos domésticos inteligentes, optimizando el uso de recursos a través del control remoto y la automatización. Este enfoque elimina la necesidad de múltiples dispositivos de control físico al centralizar la gestión en una sola aplicación móvil. La capacidad de gestionar el consumo energético de los electrodomésticos a través de funciones de inteligencia artificial puede reducir el uso de energía hasta en un 70%, lo que implica una disminución en la dependencia de aparatos físicos adicionales y contribuye a un uso más sostenible de los recursos energéticos (Samsung SmartThings, s. f.).

Samsung Health ofrece una variedad de programas de bienestar digital que disminuyen la necesidad de equipos físicos. En lugar de requerir múltiples dispositivos de fitness y monitoreo de salud, esta aplicación proporciona herramientas para seguir el estado físico, monitorear métricas de salud y participar en programas de bienestar guiados desde un único dispositivo móvil. Esto no solo simplifica el mantenimiento de los objetivos de salud, sino que también reduce la producción y el consumo de dispositivos físicos extensivos, disminuyendo así el impacto ambiental (Samsung ES, 2024).

La aplicación Samsung Global Goals, desarrollada en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), reemplaza la necesidad de campañas físicas y materiales impresos para educar a los usuarios sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Facilita las donaciones directamente a través de Samsung Pay o Google Pay, eliminando la necesidad de métodos tradicionales y físicos de recaudación de fondos. Además, al incluir anuncios que generan fondos para los ODS, convierte las interacciones diarias en oportunidades para un cambio positivo, reduciendo la necesidad de materiales físicos de promoción y recaudación (Samsung Galaxy Site, s. f.).

En términos de soporte técnico y sostenibilidad, Samsung ha mejorado la eficiencia mediante servicios de asistencia en línea y chatbots, reduciendo significativamente la huella de carbono asociada con el soporte tradicional que implicaba desplazamientos y uso de materiales impresos. Asimismo, sus iniciativas en la virtualización de soluciones de red 5G en plataformas como Microsoft Azure demuestran su compromiso con el avance de la virtualización en telecomunicaciones. Al promover soluciones de red privadas escalables y rentables para diversas industrias, Samsung reduce la necesidad de infraestructuras físicas extensivas y costosas, favoreciendo una infraestructura de telecomunicaciones más sostenible (Samsung News, 2020).

Estos avances no solo mejoran la comodidad y eficiencia para los usuarios, sino que también están alineados con objetivos más amplios de sostenibilidad y protección del medio ambiente. Al sustituir productos físicos por soluciones virtuales, Samsung no solo reduce el consumo de recursos materiales y energía, sino que también fomenta un estilo de vida y una economía más sostenibles.

Integrando tecnologías IoT y blockchain en estas iniciativas, se podría optimizar aún más el sistema. Sensores IoT en dispositivos domésticos y soluciones de bienestar podrían proporcionar datos en tiempo real para mejorar la eficiencia energética y la gestión de recursos. Por otro lado, una plataforma blockchain podría registrar y rastrear todas las interacciones y transacciones, garantizando transparencia y seguridad en la gestión de datos y en las donaciones para los ODS. Esta combinación de IoT y blockchain no solo amplificaría la eficacia de las soluciones virtuales, sino que también fortalecería la sostenibilidad y la confianza en las iniciativas de Samsung.

4.1.6. Exchange (Intercambiar):

Samsung ha mantenido el foco en el mercado de los electrodomésticos, la domótica y los dispositivos electrónicos, por lo que las innovaciones en su catálogo de productos han sido reducidas en los últimos años. Sin embargo, han hecho esfuerzos por sustituir determinados componentes no sostenibles presentes en el proceso de producción. Los embalajes han reducido en un 90% su consumo de tinta y eliminado las grapas, además muchos dispositivos de control remoto como mandos de televisión incorporan células fotovoltaicas que permiten sustituir las baterías de litio en su mayoría (Samsung News, 2022a).

Para reforzar estos esfuerzos, Samsung podría integrar tecnologías de IoT y blockchain en su estrategia de intercambio y sustitución de componentes no sostenibles. Sensores IoT en la cadena de suministro pueden monitorear en tiempo real la utilización y el desgaste de componentes, permitiendo un reemplazo proactivo y eficiente de partes antes de que fallen. Esto no solo mejoraría la durabilidad y el rendimiento de los productos, sino que también optimizaría el uso de recursos.

4.2. Apple

Apple Inc. es una empresa multinacional estadounidense que diseña y fabrica productos electrónicos y software. Entre los productos de hardware más conocidos de la empresa se incluyen el iPhone, el iPad, el Mac (computadoras personales), el Apple Watch (relojes inteligentes), y el Apple TV (receptor digital multimedia). Además, Apple ofrece varios servicios como Apple Music, iCloud, Apple Pay, y la App Store, su plataforma de distribución digital de aplicaciones (*Apple Online Store*, s. f.).

Fundada por Steve Jobs, Steve Wozniak y Ronald Wayne, Apple ha sido pionera en muchas áreas de la tecnología de consumo y ha ganado una reputación por su innovación, diseño estético y creación de productos que han creado tendencias de mercado y fieles seguidores. La empresa también es conocida por su software, incluyendo el sistema operativo iOS para dispositivos móviles y macOS para computadoras personales, así como los sistemas operativos watchOS y tvOS. Los principales datos sobre la empresa son:

- Año de fundación: 1976.
- Sede: Cupertino, California, Estados Unidos.
- Número de empleados: Aproximadamente 161,000 empleados en 2023.
- Ventas anuales: En el año fiscal 2022, Apple reportó ingresos de aproximadamente 394.3 mil millones de dólares (Apple, 2024).

4.2.1. Regenerate (Regenerar):

Apple ha realizado importantes avances en el uso de energía renovable para sus operaciones en todo el mundo. En el año 2018, la empresa alcanzó un hito significativo al lograr que el 100% de sus operaciones corporativas a nivel global se llevaran a cabo utilizando exclusivamente energía renovable. Esta notable hazaña es el resultado de una inversión sustancial en proyectos solares y eólicos de gran envergadura. Entre estos proyectos se destaca el proyecto solar California Flats, situado en el condado de Monterey. Este proyecto incluye una batería de gran escala, capaz de almacenar hasta 240 megavatios hora de electricidad renovable. La inclusión de esta batería es fundamental, ya que permite mitigar la intermitencia inherente a las fuentes de energía renovable y contribuye significativamente a la reducción de la intensidad de carbono de la red eléctrica (Apple, 2024b).

Además, los esfuerzos de Apple en materia de energía limpia no se limitan solo a sus propias operaciones corporativas, sino que también se extienden a su vasta cadena de suministro global. Más de 250 fabricantes que colaboran con Apple se han comprometido a utilizar energía 100% limpia en la producción de productos para la compañía de cara al año 2030. Este compromiso es crucial para reducir la huella de carbono global y, en el año 2022, permitió evitar la emisión de 17,4 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono (Apple, s. f.).

Para continuar avanzando en la regeneración y sostenibilidad, Apple podría integrar tecnologías IoT y blockchain en su estrategia de energía renovable. Sensores IoT instalados en proyectos de energía renovable, como parques solares y eólicos, permitirían monitorizar en tiempo real la generación y almacenamiento de energía, optimizando así su eficiencia y rendimiento. Estos datos en tiempo real podrían ser utilizados para ajustar las operaciones y maximizar la producción de energía limpia. Por otro lado, una plataforma blockchain podría ser implementada para registrar y verificar el uso de energía renovable en toda la cadena de suministro de Apple.

4.2.2. Share (Compartir):

Apple también tiene varios proyectos a través de los cuales ha intentado extender el ciclo de vida de sus productos y promover la reutilización sostenible. El programa 'Apple

Trade In⁸ acepta los dispositivos que han sido utilizados a cambio de crédito en la tienda para compras posteriores o son reciclados adecuadamente si no cumplen con los requisitos de crédito comercial (Apple Trade In, s.f.).

Es un proceso sencillo que se puede realizar tanto en línea como en una tienda en persona. En línea, los consumidores responden algunas preguntas sobre su dispositivo para recibir una estimación del valor y luego se les pide que lo envíen en un paquete. Apple procesa el dispositivo enviado y acredita la cantidad a la cuenta del usuario o emite una tarjeta de regalo (Apple Trade In, s.f.).

En la tienda, el dispositivo es evaluado por un experto en la materia, se da una valoración instantánea, y luego se acredita ese valor en el momento del intercambio.

Aunque dichas valoraciones suelen ser menores que en una venta privada, el programa es considerado por muchos consumidores menos una forma conveniente de participar en un reciclaje responsable. Los dispositivos se prueban, reparan y venden como productos de segunda mano en la medida de lo posible. Si no se pueden vender, "Daisy", el robot de reciclaje desmonta el dispositivo para recuperar las piezas valiosas (Lovejoy, 2023).

Un cambio potencial en el programa puede ser el uso de tecnologías de Blockchain e IoT en la valoración del estado real de los dispositivos de una manera más precisa y transparente. Mediante el uso de la Blockchain, cada dispositivo puede tener un registro inmutable del uso y mantenimiento al que Apple y el usuario pueden acceder. Los sensores IoT integrados en el dispositivo darían información sobre su estado de funcionamiento en tiempo real, de modo que el dispositivo pudiera ser valorado de manera justa en el momento de un intercambio.

4.2.3. Optimise (Optimizar):

La empresa ha invertido en tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia operativa en su proceso de producción y de la propia fase de uso de sus productos. Un buen ejemplo es su sistema de gestión de energía avanzada presentado en el reciente WWDC24⁸, que permite a los dispositivos funcionar con un consumo mínimo al

⁸ "La Conferencia Mundial de Desarrolladores de Apple de 2024 (WWDC 2024, por sus siglas en inglés) es, junto a la presentación de las nuevas generaciones de teléfonos iPhone, el evento más importante del año para los incondicionales de la firma de Cupertino." (Rodríguez, 2024)

optimizar el uso de energía (Pascual, 2024) y da herramientas adicionales a los usuarios para el diagnóstico y gestión del uso de energía. Para potenciar esta iniciativa, se propone la integración de tecnologías IoT y blockchain. Sensores IoT en los dispositivos podrían monitorizar en tiempo real el consumo de energía y las condiciones operativas, permitiendo ajustes automáticos para minimizar el consumo sin comprometer el rendimiento. Además, una plataforma blockchain podría registrar y verificar el uso de energía, proporcionando transparencia y seguridad mediante un registro inmutable y verificable.

4.2.4. Loop (Bucle):

En su compromiso con la economía circular, Apple trata de progresar asegurando la reutilización de materiales reciclados desarrollando tecnologías de vanguardia a través del reciclaje de materiales preciosos. La planta de reciclaje robotizado Daisy, por ejemplo, es capaz de romper hasta 1,2 millones de iPhones al año, de cuyo material extrae las tierras raras y el cobalto para reincorporarlos a una nueva generación de baterías, cerrando así el ciclo de uso de esos materiales. (Según cifras publicadas por la empresa, Daisy puede reciclar un solo iPhone cada 18 segundos) (McCloughlin & Somavilla, 2023) (Heffernan, 2024). Desde 2019, Daisy ha recuperado más de 11,000 kilogramos de cobalto y ha sido un miembro en la cadena de suministro sostenible de Apple (Apple, 2024c).

Apple también logrado cumplir su meta y el 59% del aluminio usado en sus productos sea de material reciclado y ha introducido oro reciclado en la fabricación del iPhone 13 y el iPhone 13 Pro (Apple, 2024d). Incluso ha anunciado que para 2025 utilizará un 100% de cobalto reciclado en sus baterías (Apple, 2024c).

Un 20% del material en los productos de Apple en 2021 fue de contenido reciclado o renovable, como la placa de circuito del iPad que incluía cobre reciclado y la bandeja de la batería del MacBook Air que incluía acero reciclado (Apple, 2024c). Todo lo comentado no solo sirve para reducir la huella ambiental de la fabricación de productos electrónicos, sino que también establece un precedente en cuanto a prácticas de sostenibilidad para el futuro en términos de un contexto más amplio de las empresas tecnológicas.

4.2.5. Virtualise (Virtualizar):

Apple también ha innovado en la virtualización de productos y servicios para reducir el uso de recursos físicos, implementando un enfoque integral que abarca diversas áreas de su oferta digital. Entre los servicios más destacados se encuentran Apple Music, Apple TV+ y Apple Arcade, los cuales permiten a los usuarios acceder a una amplia gama de contenidos sin la necesidad de medios físicos.

Apple Music, por ejemplo, proporciona acceso a millones de canciones en línea, eliminando la necesidad de producir y distribuir CDs físicos. Esta plataforma no solo facilita el acceso instantáneo a una vasta biblioteca musical desde cualquier dispositivo conectado a internet, sino que también reduce significativamente el impacto ambiental asociado con la fabricación, transporte y eliminación de CDs y sus empaques.

Del mismo modo, Apple TV+ ofrece una amplia gama de contenidos audiovisuales que anteriormente requerían la compra de DVDs o Blu-rays. Al centralizar el acceso a películas, series y documentales en una plataforma de streaming, Apple reduce la producción de discos físicos y sus cajas, minimizando el uso de plásticos y otros materiales no biodegradables. Además, la transmisión de contenido en línea permite a los usuarios disfrutar de sus programas y películas favoritas sin la necesidad de espacio de almacenamiento físico, lo que también contribuye a una menor acumulación de residuos electrónicos.

Apple Arcade, por su parte, es un servicio de suscripción que ofrece acceso a una amplia selección de juegos digitales sin la necesidad de adquirir cartuchos o discos. Esta iniciativa no solo facilita la experiencia de juego al eliminar la necesidad de medios físicos, sino que también promueve un modelo de distribución más sostenible al reducir los residuos asociados con el embalaje y la logística de los juegos físicos.

Además de estos servicios de entretenimiento, Apple ha virtualizado el soporte técnico a través de plataformas en línea, reduciendo así la necesidad de viajes físicos y material impreso. Los usuarios pueden acceder a asistencia técnica, diagnósticos y soluciones de problemas mediante chat en vivo, llamadas y tutoriales en línea, lo que no solo mejora la eficiencia del servicio, sino que también contribuye a una menor huella de carbono. La reducción de la dependencia de soporte técnico presencial y la eliminación de la necesidad de documentos impresos reflejan el compromiso de Apple con la sostenibilidad y la innovación digital (Apple, 2023).

En conjunto, estas iniciativas de virtualización no solo ofrecen comodidad y accesibilidad a los usuarios, sino que también alinean a Apple con prácticas más sostenibles y responsables. Al disminuir la necesidad de recursos físicos y fomentar el uso de servicios digitales, Apple no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también reduce su impacto ambiental, demostrando que la tecnología y la sostenibilidad pueden avanzar de la mano.

4.2.6. Exchange (Intercambiar)

Una de las estrategias sostenibles de Apple es la adaptación a nuevas tecnologías que sustituyen materiales viejos y no renovables por otros más sostenibles. Esta iniciativa es parte de un compromiso más amplio de la empresa para reducir su huella ambiental y promover prácticas de producción responsables. Todas las carcasas de sus dispositivos ahora están hechas de aluminio 100% reciclado, lo que no solo reduce la demanda de minería de bauxita, sino que también disminuye significativamente las emisiones de carbono asociadas con la producción de aluminio virgen. Además, Apple ha tomado medidas proactivas para eliminar elementos peligrosos de sus productos, como el mercurio, el arsénico y el PVC, reemplazándolos por alternativas más amigables con el medio ambiente que cumplen con estrictas normativas de seguridad y sostenibilidad (Apple, 2024d).

4.3. Xiaomi

Xiaomi es una empresa multinacional china que se especializa en la creación de hardware, software y productos electrónicos de consumo. Fundada en 2010 por Lei Jun y otros socios, Xiaomi rápidamente ganó reconocimiento por sus teléfonos inteligentes que ofrecen especificaciones de alta calidad a precios relativamente bajos (Xiaomi, s. f.). Además de los teléfonos móviles, Xiaomi produce una amplia gama de productos, incluyendo tabletas, wearables, electrodomésticos inteligentes como purificadores de aire y aspiradoras, productos de audio, e incluso productos de transporte personal como scooters eléctricos (Xiaomi España, s. f.).

Xiaomi también desarrolla MIUI, su propia capa de personalización de Android que utiliza en sus dispositivos móviles. La empresa es conocida por su modelo de negocio único que implica precios bajos con márgenes de beneficio reducidos en el hardware y una estrategia de ingresos centrada en los servicios de Internet y las ventas de accesorios y productos ecosistémicos. Su enfoque en la comunidad de usuarios y el lanzamiento frecuente de actualizaciones ha ayudado a Xiaomi a establecer una base de seguidores leales y a expandirse a numerosos mercados internacionales (Xiaomi, s. f.-b). Los principales datos sobre la empresa son:

- Año de fundación: 2010.
- Sede: Beijing, China.
- Número de empleados: En 2023, Xiaomi tiene aproximadamente 32,121 empleados.
- Ventas anuales: En el año 2024, Xiaomi reportó ingresos de más de 271 mil millones de yuanes, que equivale aproximadamente a 38.94 mil millones de dólares al cambio actual (Xiaomi, 2024).

4.3.1. Regenerate (Regenerar)

Xiaomi ha establecido una meta ambiciosa para lograr la neutralidad de carbono en 2040 y operar completamente con energía renovable. La empresa ya ha comenzado a invertir en proyectos de energía renovable, como la instalación de sistemas solares en sus parques tecnológicos de Beijing y Wuhan, que proporcionan una parte significativa de la energía necesaria para calentar el agua en estas instalaciones. Para alcanzar estos objetivos, Xiaomi está implementando varias estrategias innovadoras, que incluyen la adopción de tecnologías avanzadas de gestión energética y la optimización de sus procesos industriales para mejorar la eficiencia energética (Xiaomi Global Home, s. f.).

4.3.2. Share (Compartir)

Existe limitada información en línea sobre iniciativas por parte de Xiaomi que implique el uso compartido de sus productos, siendo inexistente un programa de renting (como

era el caso en Samsung Electronics) y poco desarrollado su programa de renovación de dispositivos (que se comentará en el apartado “Loop”). Se puede inferir que Xiaomi no está centrando sus esfuerzos en esta área y por lo tanto no hay capacidad de análisis de iniciativas.

4.3.3. Optimise (Optimizar)

Xiaomi ha implementado varias estrategias avanzadas para optimizar la eficiencia y sostenibilidad en la industria de teléfonos móviles. La empresa ha desarrollado chipsets de alta eficiencia energética y sistemas de gestión de baterías que permiten una carga rápida y eficiente, ahorrando millones de kilovatios-hora de energía anualmente. Estos avances no solo mejoran el rendimiento de los dispositivos, sino que también reducen significativamente el consumo de energía y las emisiones de carbono (Xiaomi, s. f.-c).

Además, el diseño de productos duraderos, utilizando materiales resistentes como cerámica y silicona sintética, prolonga la vida útil de los dispositivos, disminuyendo la necesidad de reemplazos frecuentes y reduciendo los residuos electrónicos (Xiaomi, s. f.-c).

Innovaciones como el modo oscuro en las pantallas de sus dispositivos también contribuyen a una mayor eficiencia energética, reduciendo el consumo de energía hasta en un 70% al usar ciertas aplicaciones (Xiaomi, s. f.-c).

4.3.4. Loop (Bucle)

Además, Xiaomi ha lanzado programas de recolección y reciclaje de dispositivos electrónicos usados. Entre 2022 y 2026, la empresa se ha propuesto reciclar 38,000 toneladas de residuos electrónicos. Estos programas no solo permiten a los consumidores reciclar sus dispositivos de manera responsable, sino que también ofrecen incentivos como cupones de descuento para fomentar la participación. Por ejemplo, en India, Xiaomi ofrece un cupón de ₹100 por cada dispositivo recogido, que puede ser utilizado en futuras compras de accesorios (Xiaomi Global Home, 2023).

Para facilitar este proceso, Xiaomi colabora con empresas autorizadas de gestión de residuos que se encargan de la recogida y el reciclaje de los dispositivos. Los usuarios

pueden solicitar la recogida de sus dispositivos a través del sitio web de Xiaomi o dejarlos en centros de servicio autorizados. Este enfoque integral no solo ayuda a reducir la cantidad de residuos electrónicos, sino que también promueve la reutilización y reciclaje de materiales, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad ambiental (Xiaomi Global Home, 2023).

4.3.5. Virtualise (Virtualizar)

Xiaomi ha expandido significativamente su enfoque en la virtualización de productos y servicios para reducir el impacto ambiental, implementando una serie de innovaciones que destacan su compromiso con la sostenibilidad. La empresa ha desarrollado plataformas digitales y aplicaciones que permiten a los usuarios controlar sistemas sin necesidad de hardware adicional, reduciendo así el uso físico y la dependencia de dispositivos tangibles.

Un ejemplo destacado de esta estrategia es la integración de aplicaciones de control de sistemas en sus smartphones. Esta funcionalidad permite a los usuarios gestionar dispositivos del hogar inteligente desde una única plataforma, eliminando la necesidad de múltiples controles físicos. Con una sola aplicación en sus teléfonos, los usuarios pueden controlar luces, termostatos, cerraduras de puertas, cámaras de seguridad y otros electrodomésticos conectados, lo que simplifica la gestión del hogar y reduce el consumo de recursos materiales. Este enfoque no solo disminuye la producción y el desperdicio de dispositivos de control físicos, sino que también mejora la conveniencia y eficiencia para el usuario. Xiaomi ha llevado este concepto aún más lejos al desarrollar una plataforma de IoT (Internet de las Cosas) robusta y altamente integrada. La empresa se ha posicionado como líder en sistemas de IoT, ofreciendo una amplia gama de dispositivos conectados que pueden ser controlados y monitoreados a través de sus aplicaciones móviles.

En resumen, Xiaomi ha adoptado una estrategia integral de virtualización que no solo reduce la dependencia de hardware físico, sino que también promueve un uso más eficiente y sostenible de los recursos. Al centralizar el control de dispositivos a través de aplicaciones móviles y aprovechar las tecnologías avanzadas de IoT y AI, Xiaomi no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también contribuye significativamente a la reducción del impacto ambiental (Vega, 2023).

4.3.6. Exchange (Intercambiar)

Xiaomi ha integrado nuevas tecnologías y materiales sostenibles en su línea de productos, destacándose especialmente en el desarrollo de impresoras 3D que permiten a los usuarios fabricar objetos de uso cotidiano de manera sostenible. La empresa ha lanzado la impresora 3D Mijia, que utiliza inteligencia artificial para ajustar automáticamente los parámetros de impresión, garantizando precisión y eficiencia. Este dispositivo permite a los usuarios producir artículos personalizados con materiales no contaminantes, promoviendo una fabricación responsable y reduciendo el desperdicio (Freire, 2023).

La tecnología de impresión 3D de Xiaomi facilita la creación de prototipos y la producción de componentes específicos según necesidad, lo que minimiza el exceso de inventario y optimiza el uso de recursos. Además, la impresora Mijia utiliza consumibles ecológicos, subrayando el compromiso de Xiaomi con la sostenibilidad ambiental.

5. Discusión

5.1. Desarrollo marco ReSOLVE

Este análisis compara las prácticas de economía circular ya expuestas de Samsung, Apple y Xiaomi utilizando el marco ReSOLVE a modo de síntesis del anterior apartado. Se evaluará el rendimiento de cada empresa y se asignará un índice del 1 al 3 para cada una, donde 3 indica un alto grado de desarrollo y 1 indica un desarrollo inicial en la transición de cadena de suministro de smartphones a un modelo de economía circular. Luego, se calculará una media aritmética simple para determinar el índice general del mercado en cada categoría.

5.1.1. Regenerate (Regenerar)

Logros:

- Samsung: Ha avanzado en el uso de energía renovable al unirse a la iniciativa RE100 y establecer la meta de cero emisiones netas de carbono para 2050. Sus plantas de semiconductores en el extranjero ya operan completamente con energías renovables.
- Apple: Alcanzó el uso de 100% de energía renovable en todas sus operaciones corporativas en 2018 y ha extendido este esfuerzo a su cadena de suministro global, comprometiendo a más de 250 fabricantes a usar energía limpia para 2030.
- Xiaomi: Ha establecido la meta de neutralidad de carbono para 2040 y ha comenzado a invertir en proyectos de energía renovable, como la instalación de sistemas solares en sus parques tecnológicos de Beijing y Wuhan.

Desafíos:

- Samsung: Enfrenta desafíos significativos en Corea del Sur debido a la dependencia de fuentes no renovables y la infraestructura energética actual del país.
- Apple: No enfrenta desafíos significativos reportados en este ámbito.
- Xiaomi: Sus iniciativas están en una etapa inicial comparado con Samsung y Apple, necesitando ampliar esfuerzos y comprometer más partes de su cadena de suministro.

Índice asignado:

- Samsung: 2 (compromiso y logros significativos en energía renovable, pero con desafíos regionales)
- Apple: 3 (uso amplio de energía renovable y extensión a su cadena de suministro)
- Xiaomi: 1 (fase temprana de implementación)
- Índice medio: 2

5.1.2. Share (Compartir)

Logros:

- Samsung: Ha implementado un programa de renting de dispositivos móviles y el proyecto "Galaxy Upcycling at Home" para reutilizar antiguos teléfonos Galaxy como dispositivos IoT.
- Apple: Posee el programa 'Apple Trade In' que facilita la reutilización y reciclaje de dispositivos. Ha desarrollado el robot Daisy para recuperar materiales valiosos de dispositivos antiguos.
- Xiaomi: No ha desarrollado significativamente programas de uso compartido o renting, centrándose más en la venta directa de dispositivos.

Desafíos:

- Samsung: Necesita ampliar estas iniciativas y mejorar la participación de los usuarios.
- Apple: Podría beneficiarse de mayor transparencia y precisión en la valoración de dispositivos mediante tecnologías avanzadas.
- Xiaomi: La falta de programas de uso compartido o renting limita su capacidad para promover la reutilización y reducir el desperdicio electrónico.

Índice asignado:

- Samsung: 3 (iniciativas de renting y upcycling que promueven activamente la reutilización)
- Apple: 2 (programa sólido de intercambio, pero con margen de mejora en transparencia)
- Xiaomi: 1 (falta de iniciativas significativas en uso compartido)
- Índice medio: 2

5.1.3. Optimise (Optimizar)

Logros:

- Samsung: Adopta sistemas de gestión ambiental certificados (ISO 14001 e ISO 50001) y realiza evaluaciones del ciclo de vida (LCA) de sus productos regularmente.
- Apple: Desarrolla sistemas avanzados de gestión de energía y tecnologías para optimizar el uso de recursos en sus dispositivos, permitiendo un consumo mínimo de energía.
- Xiaomi: Optimiza la eficiencia energética de sus productos mediante chipsets de alta eficiencia y sistemas de gestión de baterías avanzados.

Desafíos:

- Samsung: Puede mejorar la transparencia en la gestión de datos con tecnologías como Blockchain.
- Apple: No enfrenta desafíos significativos reportados en este ámbito.
- Xiaomi: Necesita integrar sistemas de gestión ambiental más robustos y adoptar prácticas de transparencia en la gestión de datos.

Índice asignado:

- Samsung: 2 (sistemas de gestión ambiental y evaluaciones LCA, con potencial de mejora en transparencia)
- Apple: 3 (avanzados sistemas de gestión de energía y enfoque fuerte en eficiencia operativa)
- Xiaomi: 2 (esfuerzos en eficiencia energética, aunque con áreas adicionales de mejora)
- Índice medio: 2

5.1.4. Loop (Bucle)

Logros:

- Samsung: Recicla grandes cantidades de desechos electrónicos y utiliza materiales reciclados en sus productos, con un Centro de Reciclaje en Asan que es un ejemplo destacado.
- Apple: Implementa tecnologías avanzadas de reciclaje, como el robot Daisy, y utiliza un alto porcentaje de materiales reciclados en sus productos.
- Xiaomi: Ha lanzado programas de recolección y reciclaje de dispositivos electrónicos usados, con metas para reciclar 38,000 toneladas de residuos entre 2022 y 2026.

Desafíos:

- Samsung: Necesita aumentar el volumen y eficiencia de sus programas de reciclaje.
- Apple: No enfrenta desafíos significativos reportados en este ámbito.
- Xiaomi: Está en una etapa inicial y necesita mayor desarrollo y escalabilidad comparado con Samsung y Apple.

Índice asignado:

- Samsung: 2 (buenas prácticas de reciclaje y uso de materiales reciclados)
- Apple: 3 (tecnología avanzada de reciclaje y alto uso de materiales reciclados)
- Xiaomi: 1 (etapa inicial en programas de reciclaje y menor volumen)
- Índice medio: 2

5.1.5. Virtualise (Virtualizar)

Logros:

- Samsung: Ha avanzado con su plataforma SmartThings y aplicaciones como Samsung Health, promoviendo la virtualización de productos y servicios.
- Apple: Ofrece servicios digitales como Apple Music, Apple TV+ y Apple Arcade, que reducen el uso de medios físicos y promueven la sostenibilidad.
- Xiaomi: Desarrolla una fuerte plataforma de IoT y aplicaciones de control de sistemas, promoviendo la sostenibilidad.

Desafíos:

- Samsung: No enfrenta desafíos significativos reportados en este ámbito.
- Apple: No enfrenta desafíos significativos reportados en este ámbito.
- Xiaomi: Necesita continuar expandiendo su plataforma y aplicaciones para mantenerse al nivel de los líderes del sector.

Índice asignado:

- Samsung: 3 (implementación avanzada de plataformas y aplicaciones que promueven la virtualización)
- Apple: 3 (servicios digitales efectivos que reemplazan medios físicos)
- Xiaomi: 2 (sólida plataforma IoT, aunque con margen para crecer)
- Índice medio: 2

5.1.6. Exchange (Intercambiar)

Logros:

- Samsung: Innovaciones en componentes como células fotovoltaicas en mandos, aunque con esfuerzos limitados en sustitución de materiales no sostenibles.
- Apple: Eliminación de elementos peligrosos de sus productos y uso de materiales reciclados en carcasas.

- Xiaomi: Integración de tecnologías y materiales sostenibles, como impresoras 3D con consumibles ecológicos.

Desafíos:

- Samsung: Necesita ampliar sus esfuerzos en la sustitución de materiales no sostenibles.
- Apple: No enfrenta desafíos significativos reportados en este ámbito.
- Xiaomi: Menor avance comparado con Apple y Samsung en términos de materiales sostenibles.

Índice asignado:

- Samsung: 2 (innovaciones limitadas en componentes sostenibles)
- Apple: 3 (compromiso fuerte con la sostenibilidad de materiales y eliminación de elementos peligrosos)
- Xiaomi: 2 (buenas prácticas, pero menos avanzadas que Apple en términos de materiales sostenibles)
- Índice medio: 2

5.1.7. Situación general del mercado

Figura 21: Índice de desarrollo ReSOLVE Samsung, Apple y Xiaomi

	REGENERATE	SHARE	OPTIMISE	LOOP	VIRTUALISE	EXCHANGE
SAMSUNG	2	3	2	2	3	2
APPLE	3	2	3	3	3	3
XIAOMI	1	1	2	1	2	2

Fuente: Elaboración propia

El análisis muestra que Apple está a la vanguardia en la transición hacia la economía circular con un promedio de 2.67 en la escala de 1 a 3, seguida por Samsung con un promedio de 2.27 y Xiaomi con 1.5. A continuación, se detallan las observaciones clave y los desafíos generales que enfrenta el mercado de teléfonos móviles en su transición hacia la economía circular. Algunas observaciones clave son:

1. Liderazgo de Apple:

- Apple destaca como el líder indiscutible en la adopción de prácticas de economía circular. Su compromiso con el uso de energía 100% renovable no solo en sus operaciones corporativas sino también en su cadena de suministro demuestra una estrategia holística y avanzada.
- La implementación de tecnologías avanzadas de reciclaje, como el robot Daisy, y el uso de materiales reciclados en la fabricación de sus productos, posiciona a Apple a la vanguardia de la sostenibilidad. Su capacidad para cerrar el ciclo de materiales y su innovación constante en la optimización de recursos son ejemplares.
- Los servicios digitales de Apple, como Apple Music y Apple TV+, reducen significativamente el uso de medios físicos, contribuyendo a la virtualización y sostenibilidad.

2. Avances de Samsung:

- Samsung ha hecho progresos significativos en áreas clave como el uso de energía renovable, aunque enfrenta desafíos regionales en Corea del Sur debido a la infraestructura energética dependiente de fuentes no renovables.
- Los programas de renting y upcycling de Samsung, como el "Galaxy Upcycling at Home", son modelos efectivos de reutilización de productos, demostrando un enfoque proactivo hacia la economía circular.
- Aunque Samsung ha adoptado sistemas de gestión ambiental avanzados, la transparencia en la gestión de datos podría beneficiarse de la integración de tecnologías como Blockchain para asegurar la inmutabilidad y verificabilidad.

3. Desarrollo Inicial de Xiaomi:

- Xiaomi ha mostrado un compromiso inicial con la sostenibilidad mediante la adopción de metas de neutralidad de carbono y la inversión en proyectos de energía renovable. Sin embargo, sus esfuerzos están en una etapa más temprana comparado con sus competidores.
- La falta de programas significativos de uso compartido y renting refleja una oportunidad de mejora. Xiaomi necesita desarrollar estrategias más robustas para promover la reutilización y reducción de desechos electrónicos.
- Aunque ha optimizado la eficiencia energética de sus productos, Xiaomi debe integrar sistemas de gestión ambiental más completos y adoptar prácticas de transparencia para alcanzar los niveles de Apple y Samsung.

También se debe destacar que el mercado enfrenta cinco desafíos principales a los que se debe encontrar solución para seguir transicionando a un modelo de producción y consumo más sostenible:

1. **Infraestructura Energética:** Las empresas tecnológicas enfrentan desafíos significativos en la transición hacia el uso de energía renovable debido a la dependencia de infraestructuras energéticas nacionales que todavía se basan en fuentes no renovables.
2. **Transparencia y Gestión de Datos:** La transparencia en la gestión de datos ambientales es crucial para la credibilidad y eficacia de las estrategias de sostenibilidad. La adopción de tecnologías como Blockchain podría mejorar significativamente la transparencia y verificación de los datos, asegurando que las empresas cumplan con sus compromisos ambientales.
3. **Fomento de la Reutilización:** Promover la reutilización de productos y la implementación de programas de renting y upcycling son estrategias clave que necesitan ser adoptadas más ampliamente en la industria. Aunque Samsung y Apple han tomado pasos importantes en esta dirección, Xiaomi y otras empresas emergentes deben seguir su ejemplo.

4. **Innovación en Reciclaje:** La innovación en tecnologías de reciclaje, como lo ejemplifica Apple con su robot Daisy, es esencial para cerrar el ciclo de materiales y reducir la huella ambiental de la industria. Las empresas deben invertir en tecnologías avanzadas que permitan recuperar y reutilizar materiales valiosos de los desechos electrónicos.
5. **Educación y Participación del Consumidor:** La educación y participación del consumidor son esenciales para el éxito de las iniciativas de economía circular. Las empresas deben desarrollar estrategias efectivas para involucrar a los consumidores en programas de reciclaje y reutilización, ofreciendo incentivos y facilidades que fomenten una mayor participación.

En general, el mercado de teléfonos móviles está mostrando un movimiento positivo hacia la economía circular, aunque con diferentes grados de avance entre las principales empresas. Apple lidera claramente en este ámbito, seguido por Samsung con iniciativas sólidas y Xiaomi que necesita acelerar su desarrollo en esta área. La transición hacia una economía circular en la industria de teléfonos móviles es crucial para la sostenibilidad ambiental y requiere un compromiso continuo e innovación constante por parte de todas las empresas del sector.

5.2. Implementación de IoT y Blockchain en el sector

Este apartado examina cómo Samsung, Apple y Xiaomi han implementado el IoT y la tecnología Blockchain en sus operaciones y productos, y argumenta por qué la combinación de IoT y Blockchain puede ser clave para alcanzar sus objetivos de sostenibilidad. Se relaciona con el análisis ReSOLVE realizado, mostrando cómo estas tecnologías pueden complementar y potenciar las prácticas de economía circular de cada empresa.

5.2.1. Integración del IoT

Logros en IoT:

- Samsung: Samsung ha implementado IoT extensivamente en sus productos y servicios. Su plataforma SmartThings permite a los usuarios conectar y controlar dispositivos domésticos inteligentes, optimizando el uso de recursos a través del monitoreo y control remoto. Además, Samsung Health utiliza sensores IoT para ofrecer servicios de bienestar digital.
- Apple: Apple ha incorporado IoT en sus dispositivos y servicios, como el Apple Watch, que monitorea métricas de salud en tiempo real, y HomeKit, que permite la gestión de dispositivos domésticos inteligentes. Estas tecnologías no solo mejoran la experiencia del usuario, sino que también contribuyen a la sostenibilidad al reducir la necesidad de múltiples dispositivos físicos.
- Xiaomi: Xiaomi ha desarrollado una fuerte plataforma IoT, integrando sensores en una amplia gama de productos, desde smartphones hasta electrodomésticos inteligentes. Su ecosistema IoT permite a los usuarios controlar dispositivos a través de aplicaciones móviles, promoviendo una gestión más eficiente de los recursos.

Desafíos en IoT:

- Samsung, Apple y Xiaomi: A pesar de los avances significativos, el IoT por sí solo no garantiza la total transparencia y verificación de los datos recopilados. La gestión de grandes volúmenes de datos en tiempo real y la seguridad de estos datos siguen siendo desafíos importantes.

5.2.2. Potencial de Blockchain

Estado Actual de Blockchain:

Actualmente, ninguna de las tres empresas (Samsung, Apple y Xiaomi) ha integrado de manera significativa Blockchain en sus operaciones de sostenibilidad o gestión de datos. Aunque hay algunas iniciativas piloto y exploraciones de esta tecnología, su uso aún no está generalizado en la industria de los teléfonos móviles.

Ventajas de Integrar Blockchain:

- **Transparencia y Verificabilidad:** Blockchain puede proporcionar un registro inmutable y verificable de todas las transacciones y datos relacionados con el cumplimiento de los estándares de sostenibilidad. Cada entrada en la cadena de bloques es resistente a manipulaciones, ofreciendo una capa adicional de seguridad y confianza en la información registrada.
- **Trazabilidad:** La tecnología Blockchain puede rastrear el origen y la cadena de custodia de los materiales reciclados, asegurando que los recursos utilizados provienen de fuentes sostenibles y verificadas.

5.2.3. Uso Combinado de IoT y Blockchain

Beneficios del Uso Combinado:

- **Mejora de la transparencia:** Mientras que los sensores IoT recopilan datos en tiempo real sobre el uso de recursos, el estado de los dispositivos y otros factores críticos, Blockchain puede asegurar que estos datos sean inmutables y verificables. Esto es esencial para la transparencia en la gestión de sostenibilidad.
- **Optimización de recursos:** La combinación de IoT y Blockchain permite una gestión más precisa y eficiente de los recursos. Por ejemplo, los datos recopilados por sensores IoT sobre el consumo energético pueden ser almacenados y verificados en una cadena de bloques, asegurando la precisión de los informes de sostenibilidad y ayudando a identificar áreas de mejora.
- **Confianza del consumidor:** La capacidad de rastrear y verificar el ciclo de vida completo de un producto, desde la obtención de materiales hasta el reciclaje, puede aumentar la confianza del consumidor en las prácticas sostenibles de la empresa. Esto puede diferenciar a una marca en un mercado cada vez más consciente de la sostenibilidad.
- **Seguridad de datos:** La integración de Blockchain proporciona una mayor seguridad en la gestión de datos, protegiendo la información sensible recopilada por los dispositivos IoT contra alteraciones y accesos no autorizados.

Relación con el análisis ReSOLVE:

- Regenerate: La implementación de IoT puede ayudar a Samsung, Apple y Xiaomi a optimizar el uso de energía renovable a través de un monitoreo más preciso y control eficiente. Blockchain, por otro lado, puede asegurar que los datos sobre el uso de energías renovables sean transparentes y verificables, aumentando la confianza en los compromisos de sostenibilidad de cada empresa.
- Share: La combinación de IoT y Blockchain puede mejorar los programas de renting y reutilización de dispositivos, permitiendo un seguimiento preciso del estado y uso de cada dispositivo. Esto puede facilitar una mayor transparencia y eficiencia en los programas de reutilización, beneficiando especialmente a Xiaomi que aún está en etapas iniciales en este ámbito.
- Optimise: IoT puede optimizar el consumo de recursos y la eficiencia operativa de los dispositivos, mientras que Blockchain puede asegurar la transparencia y veracidad de los datos de gestión ambiental. Esto puede fortalecer las prácticas de Samsung y Xiaomi en la adopción de sistemas de gestión ambiental robustos y transparentes.
- Loop: El uso de IoT para el seguimiento de productos y materiales a lo largo de su ciclo de vida, combinado con Blockchain para asegurar la trazabilidad y transparencia de estos datos, puede mejorar significativamente las prácticas de reciclaje y uso de materiales reciclados de Samsung, Apple y Xiaomi.
- Virtualise: La implementación avanzada de plataformas IoT por parte de Samsung, Apple y Xiaomi ya promueve la virtualización de productos y servicios. Blockchain puede complementar estas iniciativas asegurando la integridad y seguridad de los datos virtuales, mejorando la confianza del consumidor en estos servicios.
- Exchange: La integración de IoT y Blockchain puede facilitar la sustitución de materiales no sostenibles por alternativas más ecológicas, al permitir un seguimiento y verificación precisos de la cadena de suministro de materiales. Esto puede ser especialmente útil para Samsung y Xiaomi en sus esfuerzos por adoptar prácticas de sostenibilidad más avanzadas.

La implementación del IoT en la industria de los teléfonos móviles ha permitido avances significativos en la gestión de recursos y la optimización operativa. Sin embargo, la integración de Blockchain aún no se ha realizado de manera significativa. La combinación de IoT y Blockchain ofrece un gran potencial a la hora de mejorar la transparencia, verificabilidad y eficiencia de las prácticas de sostenibilidad, fortaleciendo el compromiso de las empresas con la economía circular y asegurando la confianza de los consumidores. Las empresas líderes como Samsung, Apple y Xiaomi tienen la oportunidad de establecer un nuevo estándar en la industria mediante la adopción de estas tecnologías emergentes de manera integrada y efectiva.

6. Conclusiones y limitaciones

El presente estudio ha explorado de manera exhaustiva la integración de las tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) y Blockchain en la cadena de suministro de la industria de los smartphones con el objetivo de promover la economía circular. A lo largo del análisis, se ha destacado el potencial de estas tecnologías para mejorar la trazabilidad y gestión de los recursos, lo que podría facilitar la transición hacia prácticas más sostenibles y responsables. Las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

1. **Eficiencia en la gestión de recursos:** La implementación de IoT permite una monitorización constante y precisa de los recursos a lo largo de la cadena de suministro, lo que resulta en una gestión más eficiente y en la reducción de residuos. Esto es crucial en una industria caracterizada por su rápida obsolescencia y alto volumen de desechos electrónicos.
2. **Transparencia y confianza:** La tecnología Blockchain proporciona un registro inmutable y accesible de todas las transacciones, lo cual aumenta la transparencia y fomenta la confianza entre los diferentes actores de la cadena de suministro. Este nivel de transparencia es vital para asegurar el cumplimiento de los principios de la economía circular.
3. **Innovación y competitividad:** Las empresas que adoptan estas tecnologías no solo mejoran su sostenibilidad ambiental sino también su competitividad en un

mercado que valora cada vez más las prácticas sostenibles. Samsung, Apple y Xiaomi han mostrado cómo la eco-innovación puede ser un factor clave para mantenerse relevantes y competitivos.

A pesar de los hallazgos prometedores, este estudio enfrenta varias limitaciones que deben ser consideradas:

1. Acceso a Datos: La disponibilidad y acceso a datos completos y precisos sobre las prácticas de sostenibilidad y las aplicaciones de IoT y Blockchain en empresas privadas están limitados. Muchas empresas no divulgan toda la información relevante, lo que puede llevar a sesgos en el análisis.
2. Generalización de Resultados: Si bien se han estudiado empresas líderes como Samsung, Apple y Xiaomi, los resultados pueden no ser completamente aplicables a todas las empresas del sector debido a diferencias en recursos, estrategias y políticas internas.
3. Adopción Tecnológica: La implementación de IoT y Blockchain requiere inversiones significativas y cambios estructurales que pueden no ser factibles para todas las empresas, especialmente las más pequeñas o aquellas en mercados menos desarrollados.
4. Contexto Regulatorio: La adopción y efectividad de estas tecnologías también dependen en gran medida del marco regulatorio vigente en cada país o región. La falta de un marco regulatorio coherente y favorable puede obstaculizar la implementación efectiva de estas tecnologías.
5. Subjetividad del investigador: El apartado de discusión contempla un índice de desarrollo de cada empresa analizada en materia de Economía Circular bajo el marco ReSOLVE. Dicho índice no se basa en criterios cuantitativos sino cualitativos, que si bien pueden ser parcialmente acertados no aseguran rigurosidad en ningún caso.

En conclusión, aunque IoT y Blockchain presentan un gran potencial para mejorar la sostenibilidad en la cadena de suministro de smartphones, es fundamental abordar las

limitaciones identificadas y promover un entorno favorable para la adopción de estas tecnologías. Futuros estudios deberían centrarse en superar estas barreras y explorar más a fondo las sinergias entre tecnologías avanzadas y modelos económicos sostenibles para lograr un impacto ambiental positivo duradero.

7. Bibliografía

- Agyemang, M., Kusi-Sarpong, S., Khan, S. A., Mani, V., Rehman, S. T., & Kusi-Sarpong, H. (2019). Drivers and barriers to circular economy implementation. *Management Decision*, 57(4), 971-994. <https://doi.org/10.1108/md-11-2018-1178>
- Apple. (2024a, 11 abril). Apple informa de los resultados del cuarto trimestre. Apple Newsroom (España). <https://www.apple.com/es/newsroom/2022/10/apple-reports-fourth-quarter-results/>
- Apple. (2024b, mayo 16). Apple and global suppliers expand renewable energy to 13.7 gigawatts. Apple Newsroom. <https://www.apple.com/newsroom/2023/04/apple-and-global-suppliers-expand-renewable-energy-to-13-point-7-gigawatts/>
- Apple. (2024c, mayo 16). Apple will use 100 percent recycled cobalt in batteries by 2025. Apple Newsroom. <https://www.apple.com/newsroom/2023/04/apple-will-use-100-percent-recycled-cobalt-in-batteries-by-2025/>
- Apple. (2024d, mayo 23). Apple expands the use of recycled materials across its products. Apple Newsroom. <https://www.apple.com/newsroom/2022/04/apple-expands-the-use-of-recycled-materials-across-its-products/>
- Apple Online Store. (s. f.). Apple (ES). <https://www.apple.com/es/store>
- Apple trade in. (s. f.). Apple. <https://www.apple.com/shop/trade-in>
- Back, A. (2002). Hashcash - A Denial-of-Service Counter-Measure. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/2482110_Hashcash_-_A_Denial_of_Service_Counter-Measure

- Bello, E. (2022, 15 septiembre). Proof of Work, el algoritmo de consenso original de una red Blockchain. Thinking For Innovation. <https://www.iebschool.com/blog/proof-of-work-blockchain-tecnologia/>
- Bermúdez, A. (2015, 4 noviembre). PuzzlePhone, el smartphone modular que querrás probar. Andro4all. <https://www.lavanguardia.com/andro4all/moviles/puzzlephone-smartphone-modular>
- BP. (2021). BP Statistical Review of World Energy 2021. BP Statistical Review. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- Braun, A. (2023, 20 marzo). History of IoT: A Timeline of Development. IoT Tech Trends. <https://www.iottechrends.com/history-of-iot/>
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (s. f.). Economía circular, estrategia y competitividad empresarial. Ministerio de Industria y Turismo. <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>
- Circle Economy Foundation. (s. f.-a). About us. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.circle-economy.com/about>
- Circle Economy Foundation. (s. f.-b). Funding. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.circle-economy.com/funding>
- Circle Economy Foundation. (2021, 5 febrero). The Key Elements of the Circular Economy Framework - Insights - Circle Economy. Recuperado 4 de abril de 2024, de <https://www.circle-economy.com/resources/the-key-elements-of-the-circular-economy-framework>
- Circular Economy Club. (s. f.-a). About – Circular Economy Club (CEC). Recuperado 6 de mayo de 2024, de <https://circulareconomyclub.com/about/>
- Circular Economy Club. (s. f.-b). About CEC – Circular Economy Club (CEC). Recuperado 6 de mayo de 2024, de <https://www.circulareconomyclub.com/gd-home/about-cec/>

- Circular Economy Connect. (s. f.). About | Circular Economy Connect (CEC). Recuperado 6 de mayo de 2024, de <https://www.ceclub.org/about>
- CNN. (2013). Phonebloks: el 'smartphone' que durará toda tu vida. Recuperado 4 de julio de 2024, de <https://cnnespanol.cnn.com/2013/09/28/phonebloks-el-smartphone-que-durara-toda-tu-vida>
- Comisión Europea. (2018). Sobre un marco de seguimiento para la economía circular (COM(2018) 29 final). Recuperado 30 de junio de 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0029>
- Comisión Europea. (2020). Nuevo Plan de acción para la economía circular (COM(2020) 98 final). Recuperado 30 de junio de 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098>
- Consejo Europeo. (2024). Pacto Verde Europeo. Recuperado 30 de junio de 2024, de <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>
- Cook, T. D., & Campbell, D. T. (1976). The design and conduct of true experiments and quasiexperiments in field settings. En M. D. Dunnette (Ed.), *Handbook of Industrial and Organizational Psychology* (pp. 223-326).
- CSCIE. (2010). CSCI-1200 Data Structures — Fall 2010 Lecture 21 – Hash Tables. CSCI-1200. <https://www.semanticscholar.org/paper/Csci-1200-Data-Structures-%E2%80%94-Fall-2010-Lecture-21-%E2%80%93-Hash-Tables/Csci-1200-Data-Structures-%E2%80%94-Fall-2010-Lecture-21-%E2%80%93-Hash-Tables>
- Del Río, P., Kiefer, C., & Carrillo-Hermosilla, J. (2023). A conceptual framework for the analysis of policy mixes on the Circular Economy. En F. Díaz, M. Mazzanti, & R. Zoboli (Eds.), *Handbook on Innovation, Society and the Environment*. Edward Elgar Publishing.
- Deloitte. (2017). Breaking the barriers to the circular economy. Recuperado 20 de mayo de 2024, de https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/171106_white_paper_breaking_the_barriers_to_the_circular_economy_white_paper_vweb-14021.pdf
- Deloitte. (2022, 20 junio). Making smartphones sustainable: Live long and greener. Deloitte Insights. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/2022/environmental-impact-smartphones.html>

- Eisenhardt, K., & Graebner, M. (2007). Theory building from cases: opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50(1), 25-32.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). Introducción a la economía circular. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision-general>
- Ellen MacArthur Foundation. (s. f.-a). La historia de Ellen. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/sobre-nosotros/la-historia-de-ellen>
- Ellen MacArthur Foundation. (s. f.-b). ¿Qué es la economía lineal? Ellen MacArthur Foundation. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/que-es-la-economia-lineal>
- Ellen MacArthur Foundation. (s. f.-c). Sobre nosotros: Qué hacemos. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/sobre-nosotros/que-hacemos>
- Ellen MacArthur Foundation. (s. f.-d). Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada. Recuperado 21 de abril de 2024, de <https://app.box.com/s/56zalr5vopzwoespcovkc8d0eupn6z1h>
- Ericsson. (2020, 13 enero). Life cycle environmental impacts of a smartphone. Recuperado 7 de mayo de 2024, de <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/research-papers/life-cycle-assessment-of-a-smartphone>
- Ericsson. (s. f.). Life cycle assessment of a smartphone. Recuperado 10 de junio de 2024, de <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/research-papers/life-cycle-assessment-of-a-smartphone>
- ESAN. (2019, 4 diciembre). Fundamentos de Blockchain: ¿qué es un Merkle tree? | Conexión ESAN. Recuperado 4 de abril de 2024, de <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/fundamentos-de-blockchain-que-es-un-merkle-tree>

European Commission. (2020, 11 marzo). Nuevo plan de acción para la economía circular. Recuperado 6 de mayo de 2024, de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_420

European Comission. (2020). A new Circular Economy Action Plan. Recuperado 11 de junio de 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>

European Comission. (s. f.). Circular economy action plan. Recuperado 11 de junio de 2024, de https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

European Environment Agency. (2022, diciembre). Country profiles on Circular Economy in Europe. Recuperado 6 de mayo de 2024, de <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-reports-2022-5-circular-economy-country-profiles-a-set-of-30-country-profiles-that-summarise-policies-and-initiatives-in-the-area-of-circular-economy>

European Environment Agency. (s. f.). Life cycle assessment. Recuperado 3 de julio de 2024, de [https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/life-cycle-assessment#:~:text=Life%2Dcycle%20assessment%20\(LCA\),use%20efficiency%20and%20decreasing%20liabilities.](https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/life-cycle-assessment#:~:text=Life%2Dcycle%20assessment%20(LCA),use%20efficiency%20and%20decreasing%20liabilities.)

European Environmental Agency. (2022, diciembre). Country profiles on Circular Economy in Europe. Recuperado 6 de mayo de 2024, de <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-reports-2022-5-circular-economy-country-profiles-a-set-of-30-country-profiles-that-summarise-policies-and-initiatives-in-the-area-of-circular-economy>

Eurostat. (2018). Circular Economy Main Indicators. Recuperado 14 de julio de 2024, de <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/main-tables>

Foote, K. D. (2023, 28 marzo). A Brief History of the Internet of Things. Recuperado 7 de mayo de 2024, de <https://www.dataversity.net/brief-history-internet-things/>

Frosh, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. International Society for Industrial Ecology.

http://www.is4ie.org/resources/Documents/Strategies_For_Manufacturing_Sci_American_1989.pdf

Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal Of Cryptology*, 3(2), 99-111. <https://doi.org/10.1007/bf00196791>

Heffernan, M. (2024, 13 junio). Apple's iPhone recycling robot shifts gears. *E-Scrap News*. <https://resource-recycling.com/e-scrap/2024/06/13/apples-iphone-recycling-robot-shifts-gears/>

Hervey, G. (2018, 23 mayo). Ranking how EU countries do with the circular economy. *POLITICO*. <https://www.politico.eu/article/ranking-how-eu-countries-do-with-the-circular-economy/>

IBM. (s. f.-a). What Are Smart Contracts on Blockchain? | IBM. Recuperado 16 de julio de 2024, de <https://www.ibm.com/topics/smart-contracts>

IBM. (s. f.-b). What is blockchain? Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.ibm.com/topics/blockchain>

IBM documentation. (2023, 11 abril). Recuperado 4 de abril de 2024, de <https://www.ibm.com/docs/en/i/7.3?topic=formats-timestamp-data-type>

IDC. (2024, 15 abril). Worldwide smartphone market. Recuperado 21 de abril de 2024, de <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52032524>

Institución Faro. (2022, 29 agosto). ¿Qué es un Think Tank? Recuperado 11 de junio de 2024, de <https://grupofaro.org/que-es-un-think-tank/>

Kallurkar, H. S., & Chandavarkar, B. R. (2022). Unconfirmed transactions in Cryptocurrency: reasons, statistics, and mitigation. *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/pkia56009.2022.9952297>

Lee, P., Calugar-Pop, C., Bucaille, A., & Raviprakash, S. (2022, 20 junio). Making smartphones sustainable: Live long and greener. *Deloitte Insights*. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/2022/environmental-impact-smartphones.html>

- Liang, Y. (2019). Blockchain for Dynamic Spectrum Management. En *Signals and communication technology (Print)* (pp. 121-146). https://doi.org/10.1007/978-981-15-0776-2_5
- Lovejoy, B. (2023, 15 agosto). Here's how the Apple Trade In process works behind the scenes - 9to5Mac. 9to5Mac. <https://9to5mac.com/2023/08/15/apple-trade-in-process/>
- MacArthur, E. (2013). Introducción a la economía circular. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision-general>
- Ministerio de Medioambiente de Japón. (2009, 12 noviembre). Regional 3R Forum in Asia and the Pacific. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.env.go.jp/recycle/3r/en/index.html>
- MITECO. (2023). Estrategia española de Economía Circular y planes de acción. Recuperado 14 de julio de 2024, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia.html>
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: a Peer-to-Peer electronic cash system. En *Bitcoin.org*. Recuperado 31 de marzo de 2024, de <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- OECD. (2020). The circular economy in cities and regions. En *OECD urban studies*. <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>
- OECD. (s. f.). Governance challenges to the circular transition. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/a14eff9d-en/index.html?itemId=/content/component/a14eff9d-en>
- OECD. (2020a). The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report. Recuperado 6 de mayo de 2024, de <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/724e5c45-en/index.html?itemId=/content/component/724e5c45-en>
- OECD. (2018). Compare your country. Recuperado 19 de mayo de 2024, de <https://www.oecd.org/social/ministerial/Compare-your-country.pdf>
- Office of the Historian, US Government. (s. f.). Milestones: 1945–1952. Office of the Historian, US Government. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://history.state.gov/milestones/1945-1952/marshall-plan>

- Okta, Inc. (2023, 11 junio). What Is a Cryptographic Nonce? Definition & Meaning | Okta. Recuperado 4 de abril de 2024, de <https://www.okta.com/identity-101/nonce/>
- Onyango, F. (2024, 10 enero). Samsung Sales Statistics 2024 (Market Share & Revenue). Tridens. <https://tridens technology.com/es/estadisticas-de-ventas-de-samsung/>
- Oracle. (s. f.). What is the Internet of Things (IoT)? Recuperado 30 de marzo de 2024, de [https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/#:~:text=The%20Internet%20of%20Things%20\(IoT\)%20describes%20the%20network%20of%20physical,and%20systems%20over%20the%20internet](https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/#:~:text=The%20Internet%20of%20Things%20(IoT)%20describes%20the%20network%20of%20physical,and%20systems%20over%20the%20internet)
- Parlamento Europeo. (2023). Economía circular: definición, importancia y beneficios. Recuperado 30 de marzo de 2024, de https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios?&at_campaign=20234-Economy&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=qu%C3%A9%20es%20la%20econom%C3%ADa%20circular&at_to_pic=Circular_Economy&at_location=ES&gclid=CjwKCAiAgeeQBhBAEiwAoDDhn9jYwhXIo3YbgwkfWHW8exeuzLrF8XTcUh_VGQ7IfnC9N8enNpPvRhoCV1EQAvD_BwE
- Pastor, J. (2023, 30 agosto). Fairphone 5: el prodigio de la sostenibilidad y la modularidad se adapta a los nuevos tiempos. Xataka. <https://www.xataka.com/moviles/fairphone-5-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>
- Puerto, K. (2016, 1 agosto). LG G5: apuesta total de futuro por el teléfono modular. Xataka. <https://www.xataka.com/moviles/lg-g5>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2023, 28 diciembre). Deforestation and Forest Loss. Our World In Data. <https://ourworldindata.org/deforestation>
- Rodríguez, Ó. (2024, 10 junio). De iOS 18 a... ¿Una asociación con ChatGPT?: horario, dónde ver y qué esperar de la Apple WWDC 2024. El Confidencial. https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2024-06-10/de-ios-18-a-la-ia-de-apple-wwdc-2024_3899860/#:~:text=el%20WWDC%202024-

,La%20Conferencia%20Mundial%20de%20Desarrolladores%20de%20Apple%20de%202024%20(WWDC,de%20la%20firma%20de%20Cupertino.

Samsung. (2021, 1 diciembre). About us. Samsung US. Recuperado 21 de abril de 2024, de <https://www.samsung.com/us/about-us/our-business/>

Samsung Electronics. (2022, 15 septiembre). Samsung Electronics announces new environmental strategy. Recuperado 4 de mayo de 2024, de <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-announces-new-environmental-strategy>

Samsung Electronics. (s. f.-a). Circular Economy. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://www.samsung.com/global/sustainability/planet/circular-economy/>

Samsung Electronics. (2023). Samsung 2023 LCA Results. Recuperado 3 de julio de 2024, de https://www.samsung.com/sec/sustainability/policy-file/AYTB_UTKGcQAlyDu/LCA%20Results%20for%20Smartphones.pdf

Samsung News. (2022, 16 julio). Samsung Announces Global Launch of Bespoke AITM Washer and Dryer, Delivering Smart and Sustainable Solutions for Laundry Day. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://news.samsung.com/global/samsung-announces-global-launch-of-bespoke-ai-washer-and-dryer-delivering-smart-and-sustainable-solutions-for-laundry-day>

Samsung News. (2022a). Descubre los nuevos productos de Samsung, diseñados para ofrecer nuevas e innovadoras experiencias. Recuperado 4 de julio de 2024, de <https://news.samsung.com/es/descubre-los-nuevos-productos-de-samsung-disenados-para-ofrecer-nuevas-e-innovadoras-experiencias>

Samsung News. (2024, 28 febrero). Samsung presenta en México la nueva línea BESPOKE AITM para transformar el hogar con IA. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://news.samsung.com/mx/samsung-presenta-en-mexico-la-nueva-linea-bespoke-ai-para-transformar-el-hogar-con-ia>

Samsung Newsroom U.S. (2023, 5 junio). Samsung Electronics expands its Galaxy Upcycling program to enable consumers to repurpose Galaxy smartphones into smart home

- devices. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://news.samsung.com/us/samsung-galaxy-upcycling-programrepurpose-galaxy-smartphones-smart-home-devices/>
- Samsung Semiconductor Global. (2024). Life Cycle Assessment. Recuperado 4 de julio de 2024, de <https://semiconductor.samsung.com/sustainability/environment/green-chip/life-cycle-assessment/>
- Samsung SmartThings. (s. f.). Discover SmartThings products and services. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://partners.smartthings.com/products-and-services>
- Samsung US. (2022, 29 junio). Sustainable Supply Chain. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://www.samsung.com/us/sustainability/sustainable-supply-chain/>
- Samsung US. (2023, 20 enero). Environmentally Conscious Activities. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://www.samsung.com/us/sustainability/environment/eco-conscious-products/>
- Samsung US. (2023b, 17 agosto). Resource Circularity. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://www.samsung.com/us/sustainability/environment/resource-efficiency/>
- Samsung US. (2024, 16 mayo). Sustainability. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://www.samsung.com/us/explore/sustainability/>
- Santhi, A. R., & Muthuswamy, P. (2022). Influence of Blockchain Technology in Manufacturing Supply Chain and Logistics. *Logistics*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.3390/logistics6010015>
- Satoshi Nakamoto. (2008). Bitcoin: a Peer-to-Peer electronic cash system. En Bitcoin.org. Recuperado 31 de marzo de 2024, de <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos. (s. f.). Rare Earths Statistics and Information | U.S. Geological Survey. Recuperado 19 de mayo de 2024, de <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/rare-earths-statistics-and-information>
- Sirisha. (2023, 8 agosto). Circular Economy vs. Linear Economy: Environmental Impacts and Benefits. Scale Climate Action. <https://scaleclimateaction.org/climate/circular-economy/circular-economy-vs-linear-economy-environmental-impacts-and-benefits/>

- Strategic Metals Invest. (2024, 30 abril). Purchase Rare Earth Elements and Technology Metals. Recuperado 19 de mayo de 2024, de <https://strategicmetalsinvest.com/>
- Strauss, A. (1987). Qualitative analysis for social scientists. Cambridge University Press. UK: Cambridge University Press.
- Tachev, V. (2022, 27 septiembre). Samsung joining RE100 can change South Korea's energy policy. Energy Tracker Asia. Recuperado 4 de mayo de 2024, de <https://energytracker.asia/samsung-joins-re100/>
- Telefónica. (2021, 23 marzo). ¿Qué es y cómo se mide el impacto medioambiental de los smartphones? Recuperado 23 de junio de 2024, de <https://blogthinkbig.com/impacto-medioambiental-de-los-smartphones>
- The Economist. (2011, 29 septiembre). Asia's new model company. The Economist. <https://www.economist.com/leaders/2011/10/01/asias-new-model-company>
- The World Bank. (s. f.-a). Trends in Solid Waste Management. Recuperado 19 de mayo de 2024, de https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html
- The World Bank. (s. f.-b). World Development Indicators | Data Catalog. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0037712/World-Development-Indicators>.
- Universidad de Cantabria. (s. f.). La Segunda Revolución industrial y el nacimiento de la gran empresa. Historia Económica Mundial. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1317/course/section/913/MC-II-3.pdf>
- Universidad Europea. (2023, 7 noviembre). ¿Qué es la economía lineal y cuáles son sus características? <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-economia-lineal/>
- Universidad Internacional de Valencia. (2023, 6 noviembre). Computación ubicua, la información en el entorno de los usuarios. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/computacion-ubicua-la-informacion-en-el-entorno-de-los-usuarios>

- Universidad Isabel I. (s. f.). Historia y origen del IoT. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.ui1.es/blog-ui1/historia-y-origen-del-iot>
- United Nations. (1972). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Estocolmo 1972 | Naciones Unidas.
<https://www.un.org/es/conferences/environment/stockholm1972>
- United Nations. (1992). Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, Brasil, 3-14 de junio de 1992 | Naciones Unidas.
<https://www.un.org/es/conferences/environment/rio1992>
- United Nations. (2024, 16 mayo). Social Sustainability | UN Global Compact. Recuperado 19 de mayo de 2024, de <https://unglobalcompact.org/what-is-gc/our-work/social>
- Venditti, B. (2021, 15 noviembre). Visualizing the Critical Metals in a Smartphone. Visual Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-critical-metals-in-a-smartphone/>
- Vermeulen, W. J., Reike, D., & Witjes, S. (2019). Circular Economy 3.0 - Solving confusion around new conceptions of circularity by synthesising. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/335602859_Circular_Economy_30_-_Solving_confusion_around_new_conceptions_of_circularity_by_synthesising_and_re-organising_the_3R's_concept_into_a_10R_hierarchy
- Varela, M. (2023, 23 noviembre). ¿Qué son las tierras raras y por qué son importantes? Hablando En Vidrio. <https://hablandoenvidrio.com/que-son-las-tierras-raras-y-por-que-son-importantes/>
- Vega, D. (2023, 17 noviembre). Sencillamente brutal: la plataforma IoT de Xiaomi ya es la más grande del mundo por delante de Samsung y . . . Mundo Xiaomi.
<https://www.mundoxiaomi.com/noticias/sencillamente-brutal-plataforma-iot-xiaomi-grande-mundo-delante-samsung-apple>
- Xataka. (2016, 1 agosto). LG G5: apuesta total de futuro por el teléfono modular.
<https://www.xataka.com/moviles/lg-g5>

Xiaomi España. (s. f.). Todos los productos de Xiaomi - Xiaomi España. Xiaomi.
<https://www.mi.com/es/product-list/>

Xiaomi Global Home. (2023). Xiaomi. <https://www.mi.com/global/discover/article?id=2927>

Xiaomi. (s. f.). About Xiaomi | Xiaomi Global. Recuperado 21 de abril de 2024, de
<https://www.mi.com/global/about/>

Xiaomi. (s. f.-b). Miui 14. Recuperado 21 de abril de 2024, de <https://www.mi.com/es/miui>

Xiaomi. (s. f.-c). Sustainable-Future. Recuperado 4 de julio de 2024, de
<https://www.mi.com/global/product/sustainable-future>

DOCUMENTOS DE TRABAJO

La serie Documentos de Trabajo que edita la Cátedra de Responsabilidad Social Corporativa de la UAH, incluye avances y resultados de los trabajos de investigación realizados como parte de los programas y proyectos de la Cátedra y por colaboradores de la misma.

Los Documentos de Trabajo se encuentran disponibles en internet

<http://crsc.uah.es>

ISSN: 2530-1292

Universidad
de AlcaláCÁTEDRA DE RESPONSABILIDAD
SOCIAL CORPORATIVA
UAH - SANTANDER

Facultad de Ciencias Económicas, Empresariales y Turismo. Plaza de la Victoria, 2. 28802.
Alcalá de Henares. Madrid - Telf. (34)918855187. E-Mail: catedra.rsc@uah.es

CÁTEDRA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA

DIRECTORA

Dra. Dña. Elena Mañas Alcón

Profesora Titular de Universidad, Universidad de Alcalá