

# **De lo Físico a lo Digital: El Futuro Sostenible de la Desmaterialización Global**

**González-Arencibia, Mario**  
**Cervantes-Rosas, María de los Ángeles**  
**Plasencia-Soler, Juan Antonio**

**ECORFAN®**

# ECORFAN®

## **Autores**

González-Arencia, Mario. PhD  
Cervantes-Rosas, María de los Ángeles. PhD  
Plasencia-Soler, Juan Antonio. PhD

## **Editor en Jefe**

Vargas-Delgado, Oscar. PhD

## **Director Ejecutivo**

Ramos-Escamilla, María. PhD

## **Director Editorial**

Peralta-Castro, Enrique. MSc

## **Diseñador Web**

Escamilla-Bouchan, Imelda. PhD

## **Programador web**

Luna-Soto, Vladimir. PhD

## **Asistente Editorial**

Soriano-Velasco, Jesus. BsC

## **Filólogo**

Ramos-Arancibia, Alejandra. BsC

ISBN: 978-607-8948-64-2

Sello editorial ECORFAN: 607-8948

Número de Control B: 2025-06

Clasificación B (2025): .031225-0106

## **©ECORFAN-México, S.C.**

Parque Pedregal Empresarial 3580 - Boulevard Adolfo Ruiz Cortines, CP-01900. San Jerónimo Aculco Álvaro Obregón - Ciudad de México.

Ninguna parte de este escrito protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en forma alguna ni por ningún medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a, los siguientes: Citas en artículos de recopilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos y comentarios bibliográficos. Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor. Infracciones: Estar obligado a perseguir conforme a la legislación mexicana en materia de derechos de autor. El uso de nombres descriptivos generales, nombres registrados, marcas o nombres comerciales en esta publicación no implica, aún en ausencia de una declaración específica, que tales nombres estén exentos de la protección correspondiente en las leyes y reglamentos de México y por lo tanto sean libres para uso general por la comunidad científica internacional. BCS forma parte de ECORFAN Media [www.ecorfan.org]. Publicado por ECORFAN-México. Todos los derechos reservados.

Trabajos derivados: Los usuarios pueden reproducir tablas de contenido o preparar listas de capítulos incluyendo resúmenes para circulación interna dentro de sus instituciones o empresas. A excepción de los capítulos publicados bajo la licencia CC BY.

Almacenamiento o uso: Salvo lo indicado anteriormente o lo establecido en la correspondiente licencia de uso, ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperación o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, grabación o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito del editor.

Los Autores. Publicado por ECORFAN-México, S.C. para su Holding México en nombre de Book. Este es un manual de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

## **Books**

### **Definición de Book**

### **Objetivos científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología e Innovación en las áreas de investigación del SECIHTI y PRODEP.

ECORFAN-México, S.C. es una Empresa Científica y Tecnológica en contribución a la formación de Recursos Humanos enfocada a la continuidad en el análisis crítico de la Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT del SECIHTI con el número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio en México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación seriada en Nichos Científicos de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de Ciencia y Tecnología - Centros de Investigación del SECIHTI.

### **Alcance, Cobertura y Audiencia**

Books es un producto editado por ECORFAN-México S.C. en su Holding con repositorio en México, es una publicación científica arbitrada e indizada. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos mediante el método de doble ciego, sobre temas relacionados con la teoría y la práctica de las áreas de investigación del SECIHTI y PRODEP respectivamente con diversos enfoques y perspectivas, que contribuyen a la difusión del desarrollo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación que permiten argumentar relacionados con la toma de decisiones e incidir en la formulación de políticas internacionales en el campo de la Ciencia. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá del ámbito académico e integra otros segmentos de investigación y análisis fuera de ese campo, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## Consejo Editorial

Aziz - Poswal, Bilal. PhD

 University of the Punjab Lahore Pakistan •  0000-0001-9627-4863



Banerjee, Bidisha. PhD

 Amity University, Delhi, India •  CEY-0181-2022 •  0000-0002-9972-0774

Bardey, David. PhD

 Universidad de Los Andes (Bogotá) •  AFO-8853-2022 •  0000-0002-0441-8610



Barrero-Rosales, José Luis. PhD

 Universidad Rey Juan Carlos III •  0009-0009-9140-5145





Bujari - Alli, Ali. PhD

 Instituto Politécnico Nacional •  0000-0002-7392-6635 •  319951

Álvarez - Echeverria, Francisco Antonio. PhD

 University José Matías Delgado •  0000-0002-3364-7260

Angeles - Castro, Gerardo. PhD

 Instituto Politécnico Nacional •  AAH-1940-2020 •  0000-0002-7598-7570 •  37943

Santoyo, Carlos. PhD

 Universidad Nacional Autónoma de México •  0000-0002-2817-3793 •  4065





Escalante - Ferrer, Ana Esther. PhD

 Universidad Autónoma del Estado de Morelos •  D-5479-2011 •  0000-0003-2005-3436 •  121480

González - Ibarra, Miguel Rodrigo. PhD





 Universidad Autónoma Metropolitana •  I-4310-2015 •  0000-0003-3999-3532

Guzman - Sala, Andrés. PhD





 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco •  C-9923-2009 •  0000-0002-8095-5514 •  44364

## Comité Arbitral





Domínguez - Gutiérrez, Silvia. PhD

 Universidad de Guadalajara •  C-7135-2011 •  0000-0002-7808-0069 •  50748




Arellanez– Hernández, Jorge Luis. PhD

 Universidad Veracruzana •  AAE-8659-2021 •  0000-0003-0678-9199 •  174193




Márquez - Ibarra, Lorena. PhD

 Instituto Tecnológico de Sonora •  KQV-4819-2024 •  0000-0002-7615-2241 •  77554





Figueroa-Díaz, María Elena. PhD

 Universidad Nacional Autónoma de México •  AAE-8662-2019 •  0000-0001-5163-5928

Zaldívar-Rojas, José David. PhD

 Universidad Autónoma de Coahuila •  0000-0002-4274-0336 •  228094





Escalante - Ferrer, Ana Esther. PhD

 Universidad Autónoma del Estado de Morelos •  D-5479-2011 •  0000-0003-2005-3436 •  121480





Matadamas, Irlanda. PhD

 Tecnológico Nacional de México •  0000-0002-0534-1950 •  339525





Zavala-Rayas, Javier. PhD

 Universidad Autónoma de Zacatecas •  E-5283-2019 •  0000-0003-2968-9043 •  91757

Pérez-Bravo, Julia, PhD

 Universidad Autónoma de Querétaro •  I-9980-2018 •  0000-0002-1310-0145 •  501992

De La Cruz -Caballero, Adriana Mariela. PhD

 Instituto Tecnológico Superior de Centla •  E-6509-2019 •  0000-0001-7155-5204 •  466334

## **Cesión de derechos**

El envío de una Obra Científica a ECORFAN Books emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones científicas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.

## **Declaración de Autoría**

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación de la Obra Científica y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-SECIHTI- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor de la Obra Científica.

## **Detección de Plagio**

Todas las Obras Científicas serán testeadas por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción de la Obra Científica notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todas las Obras Científicas se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de SECIHTI para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del ECORFAN Books con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial-Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de la Obra Científica Modificado para Edición-Publicación

## **De lo físico a lo digital: El futuro sostenible de la desmaterialización global**

El Book integra contribuciones de investigadores cuya labor fortalece la difusión del conocimiento científico de la Universidad de las Ciencias Informáticas y la Universidad Autónoma de Occidente en sus áreas de Ciencias sociales. Además de contar con una evaluación completa, a cargo de los coordinadores de la Universidad de las Ciencias Informáticas y la Universidad Autónoma de Occidente, de la calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada con estándares internacionales [V|LEX, RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR y REDIB], el Book propone así a la comunidad académica, informes recientes sobre nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de Ciencias políticas.

# De lo físico a lo digital: El futuro sostenible de la desmaterialización global

## *Books*

### **Autores**

González-Arencia, Mario. PhD  
Cervantes-Rosas, María de los Ángeles. PhD  
Plasencia-Soler, Juan Antonio. PhD

*Universidad de las Ciencias Informáticas*  
*Universidad Autónoma de Occidente*

Diciembre 2025

<https://doi.org/10.35429/B.2025.6.1.104>



## Contenido

De lo físico a lo digital: El futuro sostenible de la desmaterialización global	1
Resumen	2
Abstract	3
Prólogo	4
Prefacio	6
Introducción	7
<b>Capítulo 1: Comprendiendo la desmaterialización en la sociedad digital</b>	<b>9</b>
Definición y evolución de la desmaterialización	10
Distinguiendo conceptos: desmaterialización, la digitalización y la economía circular	11
Enfoques teóricos	12
Mecanismos de desmaterialización	12
Mecanismos de sustitución avanzada	12
Optimización sistémica	13
Modelos Colaborativos Híbridos	13
Mecanismos emergentes de desmaterialización	13
Efectos cruzados y contradicciones	14
Impactos y beneficios de la desmaterialización	14
Impactos Ambientales	14
Impactos económicos	15
Impactos sociales	15
Desafíos y controversias de la desmaterialización	15
Efecto rebote y externalidades ocultas	15
Fracturas sociales y laborales	16
Dependencias estructurales y resistencia cultural	16
Desafíos asociados a la desmaterialización trascienden lo meramente técnico	16
Políticas y gobernanza para la desmaterialización sostenible	17
Iniciativas internacionales	17
Políticas nacionales exitosas	17
Recomendaciones de política	17
Desafíos pendientes para la implementación global de la desmaterialización	17
Asimetrías tecnológicas y dependencia de materiales críticos	18
Efecto rebote y consumo energético	18
Brechas digitales y exclusión social	18
Gobernanza fragmentada y falta de estándares globales	18
Resistencia cultural y necesidades de materialidad	18
Conclusiones	19
Referencias	19

<b>Capítulo 2: Rol de la desmaterialización en la sostenibilidad</b>	22
Desmaterialización, digitalización y sostenibilidad	22
Digitalización factor clave para promover sostenibilidad	23
Críticas y limitaciones a la desmaterialización y a la digitalización en el contexto de la sostenibilidad	25
Beneficios y limitaciones de la desmaterialización desde una perspectiva tridimensional	27
Efectos socioeconómicos y culturales	29
Cambio cultural hacia el consumo responsable en el contexto de la paradoja de la desmaterialización	29
Políticas y estrategias para maximizar los beneficios de la desmaterialización	31
Propuestas de políticas públicas	31
Recomendaciones para empresas y gobiernos	32
Conclusiones	32
Áreas de Investigación Futura	33
Referencias	33
<b>Capítulo 3: Tecnologías emergentes como motores de desmaterialización</b>	37
Tecnologías emergentes: definición y características	38
Análisis de las definiciones	38
Características	39
Alta capacidad de innovación	39
Aplicabilidad transversal	40
Potencial para mejorar eficiencia, accesibilidad y sostenibilidad	40
Tecnologías como catalizadores de la desmaterialización	40
Inteligencia Artificial [IA] y Automatización	41
Internet de las Cosas [IoT] y eficiencia operativa	41
Blockchain y digitalización segura	42
Realidad Virtual/Aumentada [RV/RA] y simulación	42
Big Data y optimización de recursos	43
Interrelaciones tecnológicas y dinámica de plataforma	44
IA + IoT: Mantenimiento Predictivo y Eficiencia Operativa	44
Blockchain + Realidad Virtual/Aumentada (RV/RA): Certificación Digital de Activos en el Metaverso	44
Big Data + Realidad Aumentada [RA]: Modelización ambiental y sostenibilidad	44
Plataformización como facilitadora de la desmaterialización	45
Energía inteligente	45
Educación virtual	45
Paradojas y retos de la desmaterialización	46
Impacto catalizador de las tecnologías emergentes: De la innovación a la sostenibilidad	46
Reducción del Uso de Materiales Físicos	46
Reducción de Emisiones y Optimización de Procesos	47
Servitización y nuevas formas de valor	47
Limitaciones y paradojas ambientales	47

Hacia un modelo integral de sostenibilidad digital	47
Casos Ilustrativos de Desmaterialización en Sectores Clave	48
Educación [EdTech]: La Revolución del Aprendizaje Digital	48
Finanzas [FinTech y Blockchain]: Hacia una Economía Sin Papel	48
Movilidad y Trabajo [Teletrabajo y Smart Cities]: Rediseñando Espacios Urbanos	48
Lecciones y desafíos intersectoriales	48
Lecciones	48
Desafíos intersectoriales	49
Conclusiones	50
Referencias	50
<b>Capítulo 4: Desafíos éticos, ecológicos y tecnológicos de la desmaterialización digital</b>	<b>53</b>
Introducción	53
Paradojas ecológicas de la desmaterialización digital: Una sustentabilidad en entredicho	54
Desigualdades y brechas tecnológicas	55
Impacto ético: Vigilancia, control y poder tecnológico	56
Sostenibilidad digital: ¿Realidad o ilusión?	57
La Paradoja de la eficiencia digital	57
Impactos invisibles: Costos ocultos de lo digital	57
Sostenibilidad condicionada: Diseño, regulación y uso	57
Reflexión ética: ¿Hacia un futuro digital justo?	58
Greenwashing digital: Una ilusión pervasiva	58
Más allá del Greenwashing digital	59
Justicia y gobernanza tecnológica	59
Innovación con conciencia: Hacia una ética digital transformadora	60
Modelos digitales responsables: Bien común como prioridad	61
Ética digital consciente: Un marco integrador	61
Ética como catalizadora de innovación	61
Conclusiones	61
Referencias	63
<b>Capítulo 5: De lo físico a lo digital: economía circular en la era de la desmaterialización</b>	<b>66</b>
Introducción	66
Economía circular y su vínculo con la desmaterialización digital	67
Modelos clave de la economía circular en el contexto digital	67
Formas de circularidad aplicadas al entorno digital	68
Contraste entre economía circular y lineal digital	68
La desmaterialización como estrategia clave en la economía circular digital	68
Sostenibilidad en el diseño digital	69
Modularidad y longevidad digital	72
Emergencia de las plataformas digitales circulares: Análisis y perspectivas	73



Modelos de acceso compartido: De la posesión al uso optimizado	73
Plataformas de reutilización y redistribución: Mercados circulares y SaaS	74
Sustitución digital del consumo lineal: De lo físico a lo virtual	74
Más allá del reciclaje: circularidad sin materia	75
Conclusiones	76
Referencias	76
Reflexiones finales	79
Declaraciones	80
Conflicto de intereses	80
Contribución de los autores	80
Disponibilidad de datos y materiales	80
Financiación	80
Agradecimientos	80
Abreviaturas	80

# De lo físico a lo digital: El futuro sostenible de la desmaterialización global

## From physical to digital: The sustainable future of global dematerialization

González-Arencia, Mario\*<sup>a</sup>, Cervantes-Rosas, María de los Ángeles<sup>b</sup> and Plasencia-Soler, Juan Antonio<sup>c</sup>

<sup>a</sup>  Universidad de las Ciencias Informáticas •  4813-2022 •  0000-0001-9947-7762

<sup>b</sup>  Universidad Autónoma De Occidente •  2937-2022 •  0000-0003-3338-4816 •  414701

<sup>c</sup>  Universidad de las Ciencias Informáticas •  4892-2020 •  0000-0002-0951-2403

### Clasificación SECIHTI:

Área: Ciencias Sociales

Campo: Ciencias Políticas

Disciplina: Política medioambiental

Subdisciplina: Política medioambiental

### Key Books

Los principales aportes a la generación de Ciencia y Tecnología que presenta la investigación pueden resumirse en cinco cuestiones fundamentales: aborda un marco conceptual moderno sobre desmaterialización y plataformización; sintetiza la articulación tecnología–sostenibilidad; ofrece una visión de metodologías e indicadores aplicados a instituciones; brinda un enfoque interdisciplinario y herramientas analíticas emergentes; y muestra la identificación de riesgos y externalidades. Primeramente, el libro ofrece una síntesis actualizada de cómo las tecnologías emergentes (IA, IoT, blockchain, RV/RA, Big Data) impulsan la transición hacia modelos menos materiales y más digitales, integrando literatura reciente y casos aplicados. Este marco sirve como base teórica para estudios empíricos sobre la relación entre digitalización y sostenibilidad. Segundo, se vinculan explícitamente tecnologías concretas con impactos ambientales y sociales [p. ej. reducción de uso de papel, optimización energética mediante IA, manufactura aditiva], proporcionando evidencia y referencias que sustentan líneas de I+D orientadas a minimizar la huella material. Luego el texto incluye propuestas de indicadores y fórmulas (ej.: expresión para IDS, IERSU) y matrices de evaluación que permiten cuantificar niveles de implementación de políticas de sostenibilidad en universidades u organizaciones. Esto constituye un aporte instrumental valioso para evaluaciones institucionales. Seguidamente se propone combinar enfoques cuantitativos, cualitativos y computacionales (p. ej. PLN, análisis de redes) para diagnosticar la integración de ODS y medir impactos; esto abre vías para proyectos de investigación aplicada que empleen técnicas de IA para evaluación de políticas. Finalmente, la obra no sólo exalta beneficios, sino que documenta problemas (consumo energético de centros de datos, obsolescencia, concentración de poder en plataformas) y propone la incorporación de economía circular y marcos regulatorios para mitigar impactos.

El libro hace énfasis en varios aspectos clave a comprender para aplicar los hallazgos a la generación de conocimiento universal, lo que se enuncian a continuación:

- Visión sistémica: entender desmaterialización como proceso sociotécnico —no sólo técnico— que requiere integrar tecnología, políticas públicas, mercados y actores sociales
- Atención a externalidades y efectos rebote: cualquier iniciativa digital debe evaluar el ciclo de vida (energía, extracción de minerales, residuos electrónicos) y diseñar contramedidas [reciclaje, eficiencia energética].
- Contextualización regional: las capacidades tecnológicas y condiciones socioeconómicas varían; aplicar los marcos exige adaptar indicadores y umbrales a realidades locales [por ejemplo, brecha digital en países en desarrollo].
- Interdisciplinariedad metodológica: integrar análisis documental, encuestas, técnicas de PLN y evaluación por expertos (Delphi, Kendall) para una visión robusta y reproducible.

Las principales conclusiones de la investigación se pueden sintetizar en las siguientes:

- La desmaterialización puede contribuir significativamente a la sostenibilidad [reducción de uso de recursos, mayor eficiencia], siempre que se gestione con criterios de economía circular y gobernanza responsable.
- Las tecnologías emergentes son catalizadoras, no soluciones automáticas; su éxito depende de políticas públicas, regulación y capacidad institucional para evitar efectos adversos [e-waste, centralización de poder].
- Es necesario desarrollar indicadores y herramientas de diagnóstico para medir con rigor el grado de avance hacia metas de sostenibilidad en organizaciones e instituciones.
- La equidad y la inclusión digital son condiciones para que la desmaterialización sea justa; sin medidas de acceso y capacitación, las brechas se amplían y los beneficios no se reparten.
- Se recomienda un abordaje integral: innovación tecnológica + políticas regulatorias + educación y formación + mecanismos de gobernanza internacional y local.

**Area:** Development of strategic leading-edge technologies and open innovation for social transformation

**Citación:** González-Arencia, Mario, Cervantes-Rosas, María de los Ángeles and Plasencia-Soler, Juan Antonio. 2025. De lo físico a lo digital: El futuro sostenible de la desmaterialización global. 1-104. ECORFAN.

\* ✉ [\[maria.cervantes@uadeo.mx\]](mailto:maria.cervantes@uadeo.mx)

**Book shelf URL:** <https://www.ecorfan.org/books.php>









ISBN 978-607-8948-64-2 /© 2009 The Author[s]. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Book ACFMA. This is an open access book under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee **MARVID**<sup>®</sup> - in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



## Resumen





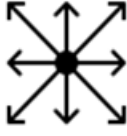

De lo físico a lo digital: El futuro sostenible de la desmaterialización global analiza cómo la desmaterialización, a través de servicios digitales y soluciones intangibles, redefine la economía, la sociedad y el medio ambiente. En un contexto de crisis ambiental y consumo excesivo de recursos, esta tendencia busca desacoplar el crecimiento económico del uso material para reducir el impacto ambiental. El libro examina avances tecnológicos en sectores como banca, manufactura y educación, destacando casos como la impresión 3D, la banca digital y plataformas inclusivas como M-Pesa. También aborda retos como el “efecto rebote” energético y las brechas digitales que pueden generar exclusión social. Propone una visión multidimensional que integra modelos colaborativos, inteligencia artificial y plataformas digitales para fomentar la circularidad y la innovación. Concluye que la desmaterialización debe ser un pilar clave en la transición ecológica, apoyada en tecnología, regulación e inversión en capacitación para garantizar un futuro sostenible.

DE LO FÍSICO A LO DIGITAL: EL FUTURO SOSTENIBLE DE LA DESMATERIALIZACIÓN DIGITAL		
Objetivo	Metodología	Contribución
<p>Proporcionar una visión global e integral de la desmaterialización.</p>  <p>Articulando sus dimensiones ecológicas, económicas, tecnológicas y sociales a través de un enfoque comparado y multidimensional.</p> 	<p>Revisión sistemática de literatura, identificando las investigaciones permitan identificar el estado actual de la desmaterialización.</p>  <p>Se utilizan criterios claros y transparentes de inclusión previamente definidos.</p> 	<p>Este libro sintetiza la evidencia existente sobre los multidimensionales de la desmaterialización.</p>  <p>Propone un marco analítico para su implementación efectiva, teniendo en cuenta los desafíos tecnológicos, regulatorios y sociales.</p> 

## Desmaterialización, Sostenibilidad, Digitalización

**Abstract**

From Physical to Digital: The Sustainable Future of Global Dematerialization explores how dematerialization—through digital services and intangible solutions—is reshaping the economy, society, and the environment. Amid environmental crises and excessive resource consumption, this trend aims to decouple economic growth from material use to reduce environmental impact. The book examines technological advances in sectors like banking, manufacturing, and education, highlighting examples such as 3D printing, digital banking, and inclusive platforms like M-Pesa. It also addresses challenges like the energy “rebound effect” and digital divides that may cause social exclusion. The work proposes a multidimensional perspective integrating collaborative models, artificial intelligence, and digital platforms to foster circularity and innovation. It concludes that dematerialization must become a key pillar in the ecological transition, supported by technology, adaptive regulation, and investment in education to ensure a sustainable and equitable future.

FROM PHYSICAL TO DIGITAL: THE SUSTAINABLE FUTURE OF DIGITAL DEMATERIALIZATION		
Objective	Methodology	Contribution
<p>To provide a comprehensive and holistic view of dematerialization.</p>  <p>Articulating its ecological, economic, technological, and social dimensions through a comparative and multidimensional approach.</p> 	<p>A systematic literature review was conducted to identify research that would allow for an assessment of the current state of dematerialization.</p>  <p>Clear and transparent inclusion criteria were used for this purpose.</p> 	<p>This book synthesizes existing evidence on the multidimensional impacts of dematerialization.</p>  <p>It proposes an analytical framework for its effective implementation, taking into account technological, regulatory and social challenges.</p> 

**Dematerialization, Sustainability, Digitization**

## Prólogo

Este libro nace de un umbral: entre lo que aún podemos tocar y lo que, sin peso, ya organiza nuestra vida. En tiempos de crisis ambiental y agotamiento de recursos, su propuesta es tan directa como ambiciosa: comprender cómo la desmaterialización —ese tránsito de lo físico a lo digital— puede ayudarnos a sostener el bienestar humano sin desbordar los límites del planeta. Pero el mérito de estas páginas no es prometer una salvación tecnológica; es hacernos pensar con rigor, con matices y con sentido de responsabilidad pública.

Desde la primera línea, los autores nos invitan a abandonar las respuestas fáciles. La desmaterialización no es una varita mágica ni una moda léxica; es un proceso histórico, técnico y cultural con doble filo. Sí, reduce papel, inventarios y transporte; sí, abre caminos de inclusión al abaratar accesos y multiplicar servicios; pero también desplaza impactos hacia centros de datos, hacia redes energéticas intensivas y hacia cadenas extractivas que no vemos en la pantalla. Este libro es valioso, precisamente, porque no oculta esa tensión y la explora con mirada multidimensional: física, funcional y sistémica.

El recorrido propuesto combina mapa y brújula. Un mapa, porque ordena el campo: diferencia con nitidez desmaterialización, digitalización y economía circular; revisa mecanismos como sustitución y optimización; y describe los “efectos cruzados” que conectan sectores y reubican externalidades. Una brújula, porque sugiere criterios para orientarse en la paradoja contemporánea: cómo evitar el rebote que cancela eficiencias, cómo gobernar plataformas cuya huella es global, cómo diseñar políticas que no confundan progreso con mera velocidad. La lectura de estos capítulos no reitera consignas: ofrece categorías y evidencia para decidir mejor.

Hay, además, una virtud poco común: el libro no se limita a la contabilidad material. Se ocupa de las formas de vida. Piensa en quienes ganan y en quienes quedan atrás cuando todo migra a una app; en la alfabetización necesaria para que la inclusión no sea eslogan; en la persistencia de necesidades táctiles —libros, objetos, lugares— que ninguna interfaz sustituye sin pérdida. Y, a la vez, observa con detenimiento dónde la digitalización sí democratiza: educación que se extiende, finanzas móviles que acercan servicios a los márgenes, manufactura inteligente que recorta desperdicios y emisiones. El resultado es un enfoque de sostenibilidad que no es tecnofóbico ni tecnocéntrico, sino deliberadamente humano.

La fuerza del texto proviene de su arquitectura. En el primer tramo, se clarifican definiciones, genealogías y mecanismos; en el segundo, se sitúa la desmaterialización dentro de la agenda de sostenibilidad, con sus ganancias y límites; luego, un análisis de tecnologías emergentes —IA, IoT, blockchain, RA/RV, big data— como motores de cambio, pero también como nuevas fuentes de demanda energética y de dependencia de minerales críticos. Más adelante, un capítulo entero encara la ética: vigilancia, concentración de poder, justicia algorítmica, greenwashing. Y, en el cierre, se traza el puente con la economía circular: del reciclaje tardío a la prevención por diseño, de la propiedad al acceso, de la linealidad a la modularidad y la longevidad digital. Es una progresión que enseña sin sermonear.

Los casos que recorren estas páginas —banca y pagos móviles, educación en línea, manufactura aditiva, plataformas logísticas— no son anécdotas ornamentales; funcionan como pruebas de estrés para un criterio que se repite como hilo conductor: evaluar siempre el ciclo completo. ¿Qué ahorramos en materia, qué consumimos en energía? ¿Qué abrimos en términos de acceso, qué cerramos en términos de autonomía? ¿Qué descentralizamos en la experiencia, qué concentramos en la infraestructura? Cuando se aplican esas preguntas, emergen políticas concretas: estándares de ecodiseño y durabilidad, impuestos al consumo material, inversión masiva en habilidades digitales, marcos antimonopólicos para plataformas y reglas de transparencia energética para centros de datos.

Este prólogo también quiere celebrar un tono: el de una investigación que no teme a la complejidad y por eso mismo es útil. Hay cifras y hay teoría; hay crítica y hay propuestas. Se reconoce la potencia de la economía digital y, en el mismo gesto, se denuncian sus asimetrías. Se reivindica la innovación, pero solo cuando se somete a la prueba de la justicia social y la contabilidad ambiental completa. Ese equilibrio es raro. Aquí, está logrado.

Queda, por último, una invitación. La desmaterialización no es “dejar atrás la materia”, sino relación nueva con lo material. Elegir mejor qué producir, cuánto usar, cómo compartir y cuánto tiempo mantener en uso. Entender que un servicio puede valer más que un objeto, pero que ningún servicio es verdaderamente “inmaterial”: siempre descansa en cuerpos, territorios, redes y energías. El futuro sostenible no será digital o físico: será la coreografía responsable entre ambos. Este libro ofrece el guion inicial y, también, los márgenes para escribirlo en cada sector, ciudad y comunidad. Que lo lean decisores públicos, emprendedores, ingenieras, docentes y, sobre todo, ciudadanas y ciudadanos que sospechan — con razón— que el progreso del siglo XXI no se medirá por cosas acumuladas, sino por daños evitados y oportunidades compartidas.

Con esa convicción, y con gratitud por el rigor y la claridad de quienes escriben, cierro estas líneas. Las páginas que siguen no prometen un atajo; ofrecen un camino. Y, en un tiempo de urgencias, eso es exactamente lo que necesitamos.

*Salinas-Gamboa, José German. PhD  
Perú*

## Prefacio

En un mundo marcado por la crisis ambiental, el agotamiento de recursos y la urgencia de adoptar modelos económicos más sostenibles, la desmaterialización emerge como un paradigma transformador. Este libro, *De lo Físico a lo Digital: El Futuro Sostenible de la Desmaterialización Global*, explora cómo la transición hacia soluciones digitales e intangibles puede reconciliar el desarrollo humano con los límites planetarios, sin perder de vista los desafíos éticos, sociales y tecnológicos que acompañan este proceso.

La desmaterialización no es un concepto nuevo, pero su relevancia se ha intensificado en la era digital. Desde la reducción del uso de papel en la banca hasta la sustitución de bienes físicos por servicios en la nube, este fenómeno está redefiniendo industrias, hábitos de consumo y políticas globales. Sin embargo, como bien advierten los autores, no se trata de una solución mágica. La paradoja de la desmaterialización —donde los beneficios ambientales pueden verse contrarrestados por el aumento del consumo energético o la generación de residuos electrónicos— exige un enfoque crítico y multidimensional.

Este libro está estructurado en cinco capítulos que abordan desde los fundamentos teóricos hasta las aplicaciones prácticas de la desmaterialización en sectores clave como la educación, las finanzas y la movilidad. A lo largo de sus páginas, se analizan tecnologías emergentes —como la inteligencia artificial, el blockchain y el IoT— como motores de cambio, pero también se discuten sus limitaciones y los riesgos de una digitalización no regulada.

Los autores, Mario González Arencibia, María de los Ángeles Cervantes Rosas y Juan Antonio Plasencia Soler, combinan rigor académico con una visión práctica, ofreciendo ejemplos emblemáticos como Mercado Libre en América Latina y M-Pesa en África, que ilustran cómo la desmaterialización puede impulsar la inclusión social y la sostenibilidad. Asimismo, se destacan políticas públicas exitosas y recomendaciones para empresas y gobiernos, con el fin de maximizar los beneficios de esta transición mientras se mitigan sus efectos adversos.

Este libro está dirigido a académicos, profesionales, tomadores de decisiones y cualquier persona interesada en entender cómo la tecnología puede ser una aliada en la construcción de un futuro más justo y sostenible. Invitamos a los lectores a abordar estas páginas con una mente abierta, reconociendo que el verdadero potencial de la desmaterialización no reside en sustituir lo material por lo digital, sino en rediseñar su relación bajo principios de equidad, eficiencia y responsabilidad ambiental.

*González-Arencibia, Mario. PhD*  
*Cervantes-Rosas, María de los Ángeles. PhD*  
*Plasencia-Soler, Juan Antonio. PhD*

## Introducción

La desmaterialización, entendida como la reducción sistemática del uso de materiales a favor de soluciones digitales e intangibles, se ha consolidado como una de las grandes transformaciones del siglo XXI y un fenómeno clave para repensar modelos económicos, industriales y sociales frente a la crisis ambiental global. Esta tendencia, motorizada por la digitalización y la convergencia tecnológica, emerge como una estrategia transversal para desvincular el crecimiento económico del consumo desbordado de recursos naturales, especialmente cuando la economía mundial sobrepasa anualmente los 100 mil millones de toneladas de materiales extraídos y procesados. Asumir la necesidad de desmaterialización significa reconocer la urgencia de transitar hacia un paradigma que combine eficiencia, resiliencia y sostenibilidad, donde el progreso no se mida por la acumulación de bienes físicos sino por el acceso inteligente y equitativo a servicios y conocimiento.

Sin embargo, este proceso no debe entenderse como una mera evolución lineal o un resultado monolíticamente positivo. El avance hacia sociedades menos dependientes de lo tangible está atravesado por tensiones, dilemas éticos, desigualdades estructurales y una complejidad poco abordada en el debate público y académico. Si bien la digitalización ha permitido reducciones importantes de residuos en sectores como el financiero, el educativo y la manufactura, también ha dado lugar a nuevas formas de presión sobre los ecosistemas: el incremento exponencial de la demanda energética y la creciente extracción de minerales críticos para fabricar dispositivos y alimentar infraestructuras digitales plantean interrogantes sobre la verdadera huella ecológica de este modelo emergente.

El fenómeno conocido como “efecto rebote”, donde las ganancias en eficiencia material se ven neutralizadas o superadas por un aumento global del consumo y la actividad digital, ilustra la paradoja fundamental del desarrollo tecnológico contemporáneo.

Existen desbalances socioeconómicos profundos en la capacidad de apropiación, uso y beneficio de las soluciones desmaterializadas. El acceso a la banca digital, la educación virtual, servicios de salud en línea o plataformas de inclusión financiera ejemplifica cómo servicios intangibles pueden reducir barreras históricas para ciertos grupos, permitiendo la integración de millones de personas tradicionalmente excluidas de los sistemas formales. Sin embargo, la literatura reciente subraya que la brecha digital, entendida como la desigual distribución de infraestructura, competencias y acceso, puede transformar la desmaterialización en un factor amplificador de la exclusión social y económica, especialmente para adultos mayores, comunidades rurales y sectores con bajos niveles de alfabetización tecnológica.

El fenómeno de desmaterialización debe, por tanto, analizarse en múltiples niveles y dimensiones interconectadas. En la dimensión física, el desplazamiento de bienes materiales por soluciones digitales abarca desde la sustitución del libro impreso por plataformas de lectura electrónica hasta la desaparición de soportes de almacenamiento físico como CDs frente al streaming. Desde lo funcional, la virtualización de procesos industriales, la implementación de gemelos digitales, la inteligencia artificial aplicada al diseño y la gestión energética permiten reducir el uso de materias primas y recursos de manera significativa en sectores tan diversos como la aeronáutica, la logística o la construcción.

Finalmente, en el plano sistémico, surgen transformaciones en los modelos de negocio, donde la servitización—la venta de servicios en lugar de objetos—y la economía colaborativa redibujan la frontera entre propiedad y acceso, consumo y reutilización, generando ecosistemas de plataformas que integran oferta, demanda y gestión de recursos bajo lógicas colaborativas y orientadas al ciclo de vida.

La novedad principal reside en la sinergia entre desmaterialización y economía digital, una convergencia que facilita la creación y transferencia de valor a partir de activos inmateriales, datos y experiencias. Plataformas digitales en sectores clave posibilitan escalabilidad global sin expansión equivalente en infraestructuras materiales, al tiempo que introducen eficiencia y personalización inéditas. Paradójicamente, esto plantea nuevos desafíos vinculados a la gobernanza, la concentración de poder en grandes corporaciones tecnológicas y la fiscalización democrática de los beneficios y riesgos de esta transición en múltiples frentes, desde la privacidad hasta la soberanía de los datos y la equidad de acceso.

La literatura evidencia que la transposición de prácticas y beneficios de la desmaterialización está lejos de ser automática o universal. Los casos exitosos de inclusión digital pueden observarse en experiencias africanas de dinero móvil como M-Pesa, en los programas de digitalización financiera y reducción de residuos de la Unión Europea, o en la economía digital china, donde la intensidad de carbono se ha reducido significativamente en paralelo al desarrollo de sistemas digitales avanzados. No obstante, estas experiencias dependen de marcos regulatorios ágiles, inversión estatal o privada en formación tecnológica, y esquemas de protección social que ayuden a mitigar los impactos negativos, una combinación difícil de alcanzar de forma generalizada a nivel global.

El objetivo de este libro es proporcionar una visión global e integral de la desmaterialización, articulando sus dimensiones ecológicas, económicas, tecnológicas y sociales a través de un enfoque comparado y multidimensional. La intención es contribuir a debates pendientes en torno a los límites, las ambivalencias y las oportunidades del proceso, destacando los riesgos de asumirlo como solución mágica y la necesidad de abordarlo desde políticas públicas que internalicen los verdaderos costos ambientales, diseñen estrategias de formación e inclusión digital y prioricen el acceso equitativo a servicios y tecnologías. Este análisis no sólo instrumentaliza la desmaterialización para la sostenibilidad ambiental, sino que la integra a los grandes desafíos de justicia social y desarrollo inclusivo.

Este libro se dirige tanto a académicos y decisores públicos como a lectores interesados en comprender cómo la digitalización transforma la vida cotidiana y qué desafíos implica para el futuro colectivo. Resulta útil como marco teórico, guía práctica y referencia crítica para quienes diseñan políticas, gestionan empresas u organizaciones, o buscan intervenir en los debates técnicos y éticos sobre el desarrollo sostenible. Su importancia radica en ofrecer una mirada realista, informada y matizada, capaz de guiar tanto la innovación como la regulación y la acción social en un entorno global crecientemente condicionado por lo digital y lo inmaterial, sin dejar por fuera las bases éticas,

La motivación principal para abordar esta cuestión surge de la convicción de que ninguna transformación tecnológica representa en sí misma una garantía de sostenibilidad ni de equidad social. El futuro dependerá del abordaje crítico y colectivo de los dilemas éticos, económicos, ambientales y culturales que acompañan la transición hacia modelos menos materiales, y de la capacidad de las sociedades para articular innovación con inclusión, eficiencia con democracia, y progreso con cuidado planetario.

## Capítulo 1: Comprendiendo la desmaterialización en la sociedad digital

En el contexto actual de crisis ambiental y agotamiento de recursos, la desmaterialización se presenta como un paradigma clave para transitar hacia modelos económicos más sostenibles. Este concepto, que implica la reducción sistemática del uso de materiales mediante la sustitución por servicios digitales o soluciones intangibles [Smil, 2023], ha cobrado especial relevancia en las últimas décadas como estrategia para conciliar el desarrollo económico con los límites planetarios. Según datos del Panel Internacional de Recursos de la ONU, la economía global consume actualmente más de 100 mil millones de toneladas de materiales al año [Steinberger *et al.*, 2013], lo que hace imperativo explorar alternativas que desvinculen el crecimiento económico del consumo material.

Su connotación ha hecho que la desmaterialización tenga una contribución directa a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS]. En particular, impacta en el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) mediante la implementación de tecnologías limpias, en el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) al reducir la huella material y en el ODS 13 (Acción por el Clima) al disminuir las emisiones asociadas. Casos como el de China evidencian su potencial: políticas de digitalización han permitido reducir la intensidad de carbono en un 12% [Chen & Wang, 2025]. Sin embargo, como advierte Paredes-Frigolett [2023], la implementación de estas políticas debe considerar cuidadosamente los efectos redistributivos para evitar comprometer el ODS 10 (Reducción de Desigualdades).

La literatura especializada ha documentado ampliamente los efectos transformadores de la desmaterialización en diversos sectores. En el ámbito financiero, estudios como el de Hadad y Bratianu [2019] demuestran cómo la banca digital ha permitido reducir el uso de papel en un 30% en la Unión Europea. En el sector manufacturero, investigaciones como la de Kasulaitis *et al.* [2019] revelan que tecnologías como la impresión 3D pueden disminuir los residuos hasta en un 50%. Sin embargo, persisten importantes vacíos en el conocimiento, particularmente en tres dimensiones críticas: primero, el efecto rebote del consumo energético asociado a la digitalización, analizado parcialmente por Rieger [2021]; segundo, las implicaciones sociales de la transición hacia economías desmaterializadas, especialmente en términos de equidad y acceso digital; y tercero, la falta de marcos integrados que consideren simultáneamente los aspectos ambientales, económicos y sociales de la desmaterialización [Paredes-Frigolett & Pyka, 2023].

La importancia de esta investigación radica en su doble contribución: teórica, al sintetizar la evidencia existente sobre los impactos multidimensionales de la desmaterialización, y práctica, al proponer un marco analítico para su implementación efectiva. Como señala Aktaş [2023], los beneficios ambientales de la desmaterialización solo pueden realizarse plenamente mediante políticas que aborden simultáneamente los desafíos tecnológicos, regulatorios y sociales. Este trabajo busca responder a tres interrogantes fundamentales: ¿En qué condiciones la desmaterialización genera beneficios ambientales netos? ¿Cómo mitigar sus riesgos sociales, particularmente en términos de exclusión digital? ¿Qué políticas han demostrado ser efectivas para integrar la desmaterialización en estrategias de desarrollo sostenible?

El objetivo central es proporcionar una comprensión integral del fenómeno de la desmaterialización, analizando críticamente su potencial como estrategia para la sostenibilidad. Para ello, se examinarán casos emblemáticos como el de China, donde el desarrollo de la economía digital contribuyó a reducir la intensidad de carbono en un 12% [Chen & Wang, 2025]. El análisis se estructura en tres ejes principales: los mecanismos de desmaterialización [sustitución, optimización y economía colaborativa], su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y los desafíos pendientes para su implementación a escala global.

Como argumenta Somaini [2023], comprender la desmaterialización requiere superar visiones simplistas que la presentan como solución mágica, para adoptar en su lugar una perspectiva crítica que reconozca tanto su potencial transformador como sus limitaciones estructurales. Este capítulo pretende ofrecer precisamente esa mirada equilibrada, combinando el análisis teórico con evidencia empírica robusta, para contribuir al debate sobre cómo transitar hacia economías verdaderamente sostenibles.

## Definición y evolución de la desmaterialización

La evolución conceptual de la desmaterialización refleja una transición desde enfoques cuantitativos orientados a la eficiencia material, hacia perspectivas cualitativas que integran dimensiones tecnológicas, sociales y culturales. Desde su fase inicial [1970-1990], vinculada a los límites del crecimiento, la desmaterialización se entendía como la reducción de materiales por unidad de producto, una respuesta a los primeros diagnósticos sobre el agotamiento de recursos naturales [Smil, 2023; Steinberger *et al.*, 2013]. Esta visión lineal fue ampliada con la irrupción de la revolución digital (1990-2010), que permitió la sustitución física de bienes mediante servicios digitales, como evidencian estudios sobre las TIC y su rol en la reducción del consumo material [Coroama *et al.*, 2015].

La etapa sistémica (2010-2020) introduce un cambio de paradigma, donde se priorizan transformaciones estructurales en los modelos económicos mediante la creación de valor intangible. Aquí emergen tipologías multidimensionales, como la de Aktaş [2023], que distinguen entre desmaterialización física, funcional y sistémica, ampliando el foco desde lo técnico hacia lo económico-social. Esta perspectiva se consolida en la etapa actual de integración (2020 en adelante), caracterizada por su convergencia con estrategias de economía circular y transición energética. Casos como la impresión 3D ilustran cómo esta sinergia puede reducir desperdicios e inventarios, combinando eficiencia material con flexibilidad productiva [Kasulaitis *et al.*, 2019].

La tipología multidimensional propuesta por Aktaş [2023] permite una comprensión más profunda de las dinámicas de desmaterialización. La dimensión física se expresa en la sustitución de productos por servicios digitales, como el paso del DVD al streaming o de las sucursales bancarias a las aplicaciones móviles [Magaudda, 2011]. La dimensión funcional, en cambio, se enfoca en optimizaciones del uso de recursos mediante inteligencia artificial o gemelos digitales, con reducciones sustantivas en peso y consumo energético, especialmente en sectores como la aeronáutica [Kasulaitis *et al.*, 2019; Broccardo *et al.*, 2023]. Por último, la dimensión sistémica plantea un rediseño completo de los modelos de negocio, impulsado por la economía de plataformas y la servitización, donde el acceso reemplaza a la propiedad [Belk, 2020; Paredes-Frigolett & Pyka, 2023].

Estos avances conviven con desafíos persistentes que limitan su alcance. El efecto rebote, ampliamente documentado, muestra cómo los aumentos en eficiencia pueden generar un incremento neto en el consumo energético, particularmente en el sector TIC, cuya demanda de electricidad se prevé triplicar para 2030 [Rieger, 2021]. Asimismo, la dependencia de minerales críticos y las tensiones culturales —como la preferencia por bienes físicos en ciertas poblaciones— evidencian límites estructurales y simbólicos que deben abordarse mediante políticas integradas y sensibles a las realidades locales [Smil, 2023; Belk, 2020; Somaini, 2023].

La novedad contemporánea de la desmaterialización radica en su sinergia con la economía digital, generando fenómenos inéditos como la creación de valor a través de activos intangibles [Paredes-Frigolett & Pyka, 2023]. Esta transformación estructural ha permitido el surgimiento de modelos de negocio basados en plataformas, servicios en la nube y productos digitales que, sin requerir una infraestructura física proporcional, logran escalar globalmente y generar beneficios económicos significativos. A diferencia de épocas anteriores donde la reducción material implicaba necesariamente austeridad, la actual fase de desmaterialización permite en muchos casos mantener o incluso mejorar los niveles de servicio mientras se reduce el consumo de recursos [Broccardo *et al.*, 2023]. Esta paradoja productiva —mayor eficiencia sin merma en la experiencia del usuario— ha sido posible gracias a avances tecnológicos como la inteligencia artificial, la virtualización y la interconectividad global.

No obstante, como advierte Rieger [2021], este potencial está condicionado por el efecto rebote, donde las ganancias en eficiencia se ven compensadas por aumentos en el consumo total. Por ejemplo, el acceso ilimitado al streaming, si bien elimina soportes físicos como DVDs, requiere una infraestructura de centros de datos con elevada demanda energética, contribuyendo a una huella de carbono que puede neutralizar los beneficios materiales. Este fenómeno ha sido documentado en diversos sectores, donde el incremento en la demanda de servicios digitales, dispositivos conectados y conectividad permanente genera nuevas presiones sobre los sistemas eléctricos y sobre la extracción de recursos naturales estratégicos.

## **Distinguiendo conceptos: desmaterialización, la digitalización y la economía circular**

La desmaterialización, la digitalización y la economía circular son tres conceptos interrelacionados pero distintos, que tienen implicaciones clave para la sostenibilidad y la transformación económica. A partir de Kasulaitis *et al.* [2019], se pueden trazar diferencias significativas entre ellos, las cuales son desarrolladas con mayor profundidad por varios autores contemporáneos.

Desmaterialización hace referencia a la reducción del uso físico de materiales en la producción y el consumo, particularmente mediante la sustitución de bienes materiales por servicios digitales o por tecnologías más eficientes. Según Aktaş [2023], la desmaterialización es una necesidad crítica en la búsqueda de la sostenibilidad, aunque enfrenta desafíos tanto tecnológicos como socioeconómicos. Allen [2018] destaca que esta tendencia no es nueva, pero ha cobrado nuevo significado en la era digital, especialmente en el arte y la producción conceptual, donde la presencia física del objeto pierde importancia frente a la idea o la función. Esta transformación está también profundamente asociada con cambios en las nociones de estatus y materialismo, como observa Belk [2020], quien indica que en un mundo cada vez más desmaterializado, el prestigio se asocia menos con posesiones físicas y más con experiencias o acceso digital.

En contraste, la digitalización implica el uso de tecnologías digitales para transformar procesos económicos, sociales y organizativos. Aunque puede facilitar la desmaterialización, digitalización no es sinónimo de ella. Broccardo *et al.* [2023] explican que la digitalización puede habilitar modelos de negocio más sostenibles al optimizar el uso de recursos, pero no necesariamente reduce el consumo material. De hecho, estudios como el de Che y Wang [2022] advierten que el crecimiento de la economía digital puede conllevar impactos ambientales, como un aumento de la contaminación por el incremento en la demanda energética de los centros de datos. Chen y Wang [2025] añaden que el crecimiento digital debe ser cuidadosamente regulado y vinculado con estrategias de mitigación de CO<sub>2</sub> para que contribuya verdaderamente a la sostenibilidad.

Por otro lado, la economía circular es un modelo económico que busca mantener los recursos en uso el mayor tiempo posible, extraer el máximo valor de ellos mientras están en uso, y luego recuperar y regenerar productos y materiales al final de su vida útil. Esta estrategia va más allá de la simple reducción de material o la digitalización de procesos; implica rediseñar sistemas completos de producción y consumo. Según Kasulaitis *et al.* [2019], aunque la desmaterialización y la digitalización pueden ser herramientas dentro de una economía circular, esta última exige una transformación más sistémica y una comprensión holística de los flujos materiales, energéticos y económicos. Cunha y Ferrão [2022] muestran cómo los cambios estructurales pueden conducir a la desmaterialización, pero subrayan que, para lograr una economía verdaderamente circular, se necesita ir más allá de las medidas tecnológicas e incluir cambios culturales, regulatorios y de comportamiento.

El efecto es que, con la economía circular, la desmaterialización representa un componente esencial pero distinto. Mientras la circularidad se centra en mantener los materiales en uso —a través del reciclaje, la reutilización o la extensión del ciclo de vida de los productos—, la desmaterialización busca reducir su necesidad desde el diseño [Kasulaitis *et al.*, 2019]. Este enfoque preventivo responde a una lógica de eficiencia *ex ante*, en la cual se minimiza el consumo material incluso antes de que el producto o servicio entre en circulación. La complementariedad entre ambos paradigmas queda evidenciada en el caso de la impresión 3D, que combina ambos principios al permitir tanto la fabricación aditiva [reduciendo desperdicios] como la producción bajo demanda (disminuyendo inventarios). Esta tecnología, al integrar algoritmos de diseño generativo, también permite optimizar estructuras para usar menos material sin comprometer la funcionalidad, como lo muestran sus aplicaciones en los sectores aeroespacial, médico e industrial.

Por consiguiente, esta sinergia entre desmaterialización y circularidad no solo genera beneficios ambientales, sino también ventajas competitivas, al reducir costos logísticos, acortar cadenas de suministro y personalizar productos según la demanda en tiempo real. En este sentido, ambas estrategias no deben concebirse como excluyentes, sino como pilares de una transición ecológica más ambiciosa, que combine eficiencia, resiliencia y sostenibilidad sistémica. Como subrayan Broccardo *et al.* [2023], solo mediante esta convergencia es posible avanzar hacia modelos económicos que mantengan el bienestar humano dentro de los límites planetarios.

## Enfoques teóricos

La teoría del decrecimiento material ofrece un marco crítico para entender la desmaterialización, enfatizando la necesidad de reducir el metabolismo social independientemente de las ganancias tecnológicas [Cunha & Ferrão, 2022]. Este enfoque cuestiona la narrativa dominante sobre el desacople absoluto, señalando que las reducciones relativas de intensidad material frecuentemente se ven superadas por el crecimiento económico agregado. Los datos del International Resource Panel respaldan esta crítica, mostrando que aunque la intensidad material global ha disminuido un 1.3% anual desde 2000, el consumo total ha seguido aumentando debido al crecimiento poblacional y económico.

El paradigma de la economía digital, por su parte, presenta una visión más optimista, argumentando que las tecnologías de información permiten formas radicalmente nuevas de creación de valor con menor huella material [Luo *et al.*, 2023]. Estudios como el de Chen y Wang [2025] demuestran cómo la digitalización ha contribuido a reducir la intensidad de carbono en economías emergentes, aunque con importantes variaciones regionales. Sin embargo, como señala Taffel [2024], este enfoque a menudo subestima los costos ecológicos de la infraestructura digital, desde la minería de tierras raras hasta el consumo energético de los centros de datos.

Los enfoques críticos sobre desmaterialización, representados por autores como Somaini [2023] y Magaudda [2011], destacan las contradicciones inherentes al proceso. Por un lado, reconocen su potencial para reducir presiones ambientales; por otro, advierten sobre riesgos como la pérdida de soberanía tecnológica (dependencia de plataformas globales) y nuevas formas de exclusión [brecha digital]. La investigación de Hadad y Bratianu [2019] sobre banca digital revela precisamente esta dualidad: mientras el 72% de los usuarios reportan beneficios en accesibilidad, el 38% de adultos mayores experimentan dificultades de adaptación.

Estas perspectivas teóricas no son mutuamente excluyentes, sino que representan dimensiones complementarias para entender un fenómeno complejo. Como sintetiza Aktaş [2023], la desmaterialización efectiva requiere combinar: 1) innovación tecnológica (economía digital), 2) cambios institucionales (decrecimiento material) y 3) consideraciones éticas (enfoques críticos). Esta triangulación teórica resulta particularmente relevante para abordar desafíos como el efecto rebote, donde soluciones puramente tecnológicas han demostrado ser insuficientes sin cambios paralelos en los patrones de consumo y las estructuras económicas.

## Mecanismos de desmaterialización

La literatura especializada identifica múltiples mecanismos de desmaterialización que trascienden los enfoques tradicionales, revelando un panorama complejo de interacciones entre lo material y lo digital. Aktaş [2023] propone una taxonomía que distingue cuatro dimensiones fundamentales: física, funcional, sistémica y cultural, cada una con sus propios mecanismos de implementación y efectos sobre la sostenibilidad.

## Mecanismos de sustitución avanzada

La sustitución material por digital ha evolucionado hacia formas más sofisticadas que van más allá del reemplazo directo. En el sector financiero, Hadad y Bratianu [2019] identifican un proceso de "doble desmaterialización": primero, la sustitución de documentos físicos por formatos digitales, y segundo, la creación de productos financieros completamente nuevos basados en activos digitales (como criptomonedas). Esta segunda capa plantea interrogantes sobre la huella ecológica de las tecnologías blockchain, que según De Vries [2018] consumen tanta electricidad como países enteros.

En el ámbito cultural, De Loisy [2024] analiza cómo la desmaterialización del arte ha generado nuevas formas de valor simbólico que desafían los paradigmas tradicionales de propiedad y autenticidad. Los NFTs, por ejemplo, representan una paradoja: mientras reducen la necesidad de soportes físicos, su valor depende de la escasez artificial creada digitalmente, lo que según Belk [2020] reproduce lógicas de consumo conspicuo en el ámbito digital.

## Optimización sistémica

La manufactura aditiva ha evolucionado hacia lo que Kasulaitis *et al.* [2019] denominan "desmaterialización generativa", donde algoritmos de inteligencia artificial optimizan no solo el uso de materiales, sino la propia geometría de los componentes para minimizar peso y maximizar funcionalidad. Estudios recientes en la industria aeroespacial muestran reducciones de peso del 40-60% en componentes críticos [Bharath & Banerjee, 2025].

En logística, la optimización ha dado un salto cualitativo con la integración de gemelos digitales (digital twins). Broccardo *et al.* [2023] documentan cómo estas réplicas virtuales de cadenas de suministro permiten simulaciones que reducen hasta un 25% los materiales de embalaje y un 15% la energía en transporte, aunque su implementación requiere inversiones significativas en infraestructura digital.

## Modelos Colaborativos Híbridos

La economía compartida está experimentando una evolución hacia modelos híbridos físico-digitales. Schauman *et al.* [2023] analizan plataformas de moda circular que combinan algoritmos de recomendación con sistemas de logística inversa, logrando extender la vida útil de las prendas mientras reducen un 30% el consumo de agua y un 40% las emisiones comparado con la producción nueva. Sin embargo, como advierte Pisano [2021], estos modelos a menudo externalizan costos ambientales a los consumidores [lavado, transporte de devoluciones].

Un fenómeno emergente es la "colaboración aumentada" descrita por Paredes-Frigolett y Pyka [2023], donde herramientas de realidad extendida (XR) permiten compartir equipos físicos de alta precisión entre múltiples usuarios geográficamente dispersos, reduciendo la necesidad de duplicar instrumentos costosos en laboratorios y talleres.

## Mecanismos emergentes de desmaterialización

Además de las estrategias tradicionales (sustitución digital, optimización y economía colaborativa), la literatura reciente identifica dos mecanismos innovadores con potencial para acelerar la reducción del consumo material, aunque presentan desafíos específicos. La siguiente tabla resume sus características clave.

### Box 1

**Table 1**

Características clave de los Mecanismos emergentes de desmaterialización

Mecanismo	Descripción	Beneficios	Desafíos	Autores Clave
Desmaterialización por servitización avanzada	Modelos de negocio donde los fabricantes retienen la propiedad de productos físicos y venden el <i>servicio</i> o resultado (ej.: "iluminación como servicio" en lugar de venta de lámparas).	- Reducción del 50-70% en uso de materiales (iluminación profesional). - Incentivos para diseño duradero y eficiente.	- Requiere cambios regulatorios en propiedad y responsabilidad. - Riesgo de monopolización por grandes corporaciones.	Cunha y Ferrão [2022]
Minimización por diseño molecular	Uso de nanotecnología para crear materiales con propiedades mejoradas usando cantidades mínimas de materia prima [ej.: estructuras atómicas ultralivianas].	- Reducción radical en extracción de recursos. - Materiales con mayor durabilidad y funcionalidad.	- Dificultades en reciclaje por complejidad química. - Posibles riesgos toxicológicos no estudiados.	Smil [2023]

Fuente: Elaboración Propia

Estos mecanismos representan un cambio de paradigma en la desmaterialización:

- La servitización avanzada [Cunha y Ferrão, 2022] traslada el enfoque de la posesión individual al acceso colectivo, alineándose con principios de economía circular. Sin embargo, su escalabilidad depende de marcos legales que eviten la concentración de poder en proveedores dominantes.
- El diseño molecular [Smil, 2023] podría revolucionar sectores como la aeronáutica o la electrónica, pero requiere avances paralelos en gestión de residuos y evaluación de riesgos para evitar impactos no deseados.

Ambos enfoques destacan la necesidad de políticas integradas que combinen innovación tecnológica con regulaciones ambientales y sociales, evitando soluciones parciales que generen nuevos problemas.

### **Efectos cruzados y contradicciones**

La investigación revela interacciones complejas entre estos mecanismos. Rieger [2021] identifica el "efecto cascada" donde la desmaterialización en un sector genera nuevas demandas materiales en otros (ej.: reducción de CDs aumenta demanda de servidores para streaming). Simultáneamente, Somaini [2023] describe fenómenos de "rematerialización" donde productos digitales generan nuevos artefactos físicos (ej.: cargadores para dispositivos, accesorios para VR).

Estas dinámicas sugieren, como concluye Aktaş [2023], que la desmaterialización efectiva requiere enfoques sistémicos que consideren las interacciones entre múltiples mecanismos, evitando soluciones unidimensionales que simplemente trasladan los impactos ambientales a otras etapas del ciclo de vida o a otros sectores económicos. La evidencia empírica reciente [Chen & Wang, 2025; Wu *et al.*, 2023] indica que las estrategias más exitosas combinan varios mecanismos de forma sinérgica, acompañadas de políticas que internalicen los costos ambientales completos del ciclo material-digital.

### **Impactos y beneficios de la desmaterialización**

#### **Impactos Ambientales**

La desmaterialización ha demostrado un potencial significativo para reducir la huella ecológica de las actividades económicas. Estudios como el de Chen y Wang [2025] documentan cómo en China la digitalización de procesos industriales contribuyó a una reducción del 12% en la intensidad de carbono entre 2015-2025, principalmente a través de la sustitución de procesos físicos por alternativas digitales. Sin embargo, como advierte Rieger [2021], estos beneficios deben evaluarse considerando el efecto rebote: mientras que la Unión Europea logró reducir un 1.3% anual su intensidad material desde 2000, el consumo total de materiales siguió aumentando debido al crecimiento económico.

La investigación de Kasulaitis *et al.* [2019] en la industria electrónica revela que la combinación de desmaterialización y economía circular puede lograr reducciones del 40-60% en uso de materiales, aunque estos resultados varían significativamente según el sector y la tecnología empleada.

Comparativamente, la desmaterialización muestra mayores beneficios ambientales en sectores intensivos en información (como servicios financieros o medios de comunicación) que en aquellos con fuertes requerimientos materiales (como construcción o agricultura).

Este patrón se observa claramente en el estudio de Steinberger *et al.* [2013] sobre metabolismo socioeconómico en 175 países, donde las naciones con economías más digitalizadas presentan menores intensidades materiales, aunque con importantes variaciones regionales.

## Impactos económicos

En el ámbito económico, la desmaterialización ha generado transformaciones estructurales que van más allá de simples ganancias de eficiencia. Broccardo *et al.* [2023] identifican tres revoluciones concurrentes: 1) nuevos modelos de negocio basados en plataformas digitales, 2) cadenas de valor desagregadas geográficamente, y 3) mercados de capacidades (en lugar de productos). La investigación de Hadad y Bratianu [2019] en el sector bancario revela que las instituciones que adoptaron procesos desmaterializados lograron reducir costos operativos entre 15-25%, al tiempo que aumentaron su base de clientes en un 30-40%. No obstante, como señala Paredes-Frigolett [2023], esta transformación genera asimetrías: mientras las grandes empresas tecnológicas capturan la mayor parte del valor creado, muchos sectores tradicionales enfrentan presiones disruptivas. El caso de la industria musical analizado por Magaouda [2011] ilustra esta dinámica, donde la desmaterialización de soportes redistribuyó radicalmente los ingresos desde sellos discográficos hacia plataformas de streaming.

## Impactos sociales

Los efectos sociales de la desmaterialización presentan una compleja dualidad. Por un lado, como documenta Sohail *et al.* [2025], el acceso a servicios digitales ha democratizado el conocimiento y los servicios financieros, particularmente en regiones remotas. Por otro, ha generado nuevas formas de exclusión: el estudio de Van Campenhout *et al.* [2013] revela que el 38% de adultos mayores experimentan dificultades para adaptarse a entornos desmaterializados, mientras que comunidades rurales con conectividad limitada quedan marginadas de estos beneficios.

Culturalmente, la desmaterialización está redefiniendo conceptos fundamentales como propiedad y autenticidad. Belk [2020] analiza cómo los bienes digitales de lujo (como NFTs) recrean dinámicas de estatus en el ámbito virtual, mientras que De Loisy [2024] explora las tensiones entre preservación cultural y obsolescencia tecnológica en el arte digital. Políticamente, como advierte Degrave [2025], la concentración de infraestructuras digitales en pocas corporaciones plantea desafíos a la soberanía nacional y la democracia.

El análisis comparado de la evidencia científica revela que la desmaterialización genera impactos multidimensionales con importantes variaciones sectoriales y geográficas. Mientras en el ámbito ambiental los beneficios son significativos pero condicionados por efectos rebote, en lo económico produce tanto oportunidades como disrupciones estructurales. Socialmente, amplía el acceso, pero simultáneamente crea nuevas exclusiones. Como sintetiza Aktaş [2023], el potencial transformador de la desmaterialización solo puede realizarse plenamente mediante políticas integrales que: 1) internalicen los costos ambientales completos, 2) mitiguen las disrupciones económicas, y 3) garanticen inclusión digital. Los casos de China [Chen & Wang, 2025] y la UE [Rieger, 2021] sugieren que las estrategias más exitosas combinan innovación tecnológica con marcos regulatorios adaptativos y fuertes inversiones en capacitación digital.

## Desafíos y controversias de la desmaterialización

### Efecto rebote y externalidades ocultas

La paradoja fundamental de la desmaterialización radica en que los procesos digitales que reducen el consumo material generan nuevas demandas energéticas y extractivas. Rieger [2021] demuestra que el sector de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) consume actualmente el 7-10% de la electricidad global, porcentaje que podría triplicarse para 2030 según proyecciones. Esta huella energética contradice parcialmente el discurso de sostenibilidad asociado a la desmaterialización.

Simultáneamente, como analiza Smil [2023], la minería de materiales críticos (litio, tierras raras, cobalto) para dispositivos digitales ha generado externalidades ambientales y sociales comparables a las de industrias extractivas tradicionales. El estudio de Kasulaitis *et al.* [2019] revela que un smartphone promedio requiere la extracción de 60 elementos diferentes, muchos con cadenas de suministro ambientalmente problemáticas.

## Fracturas sociales y laborales

La transición hacia economías desmaterializadas está reconfigurando el panorama laboral y social de manera desigual. Van Campenhout *et al.* [2013] identifican una "brecha digital generacional" donde el 38% de adultos mayores enfrentan barreras insuperables en entornos desmaterializados. Paralelamente, Paredes-Frigolett y Pyka [2023] documentan cómo la automatización asociada a procesos digitales ha eliminado aproximadamente 20% de empleos tradicionales en sectores como banca y retail, sin que los nuevos empleos digitales compensen cuantitativamente esta pérdida. El caso de la industria musical analizado por Magaouda [2011] ilustra esta dinámica: mientras las plataformas de streaming crecieron exponencialmente, los ingresos medios de músicos disminuyeron un 60% en términos reales.

## Dependencias estructurales y resistencia cultural

La desmaterialización ha creado nuevas formas de dependencia tecnológica que plantean riesgos sistémicos. Degrave [2025] advierte que el 80% de la infraestructura digital global depende de apenas cinco corporaciones tecnológicas, creando vulnerabilidades en seguridad y soberanía nacional. Culturalmente, como analiza Belk [2020], la tensión entre lo material y lo digital genera resistencias profundas: el 65% de consumidores en economías avanzadas aún prefieren libros físicos frente a digitales, según datos de Bharath y Banerjee [2025]. Esta resistencia no es meramente nostálgica; como señala Somaini [2023], refleja necesidades humanas básicas de tactilidad, permanencia y autenticidad que las interfaces digitales no logran satisfacer plenamente.

## Desafíos asociados a la desmaterialización trascienden lo meramente técnico

La literatura especializada revela que los desafíos asociados a la desmaterialización trascienden lo meramente técnico, manifestándose como contradicciones estructurales profundas del proceso de transformación digital. Aktaş [2023] identifica tres paradojas fundamentales que emergen de este análisis crítico. En primer lugar, la paradoja ecológica muestra cómo las ganancias en reducción de huella material se ven compensadas por el incremento en la demanda energética y la presión extractiva sobre recursos minerales críticos [Rieger, 2021; Smil, 2023]. Esta dinámica plantea interrogantes sobre la sostenibilidad real de los procesos de desmaterialización cuando se examina su ciclo completo de impactos ambientales.

En segundo término, la paradoja social revela una tensión inherente: mientras la digitalización democratiza el acceso a bienes y servicios, simultáneamente profundiza las desigualdades en la capacidad de adaptación a estos cambios tecnológicos [Van Campenhout *et al.*, 2013]. Paredes-Frigolett y Pyka [2023] demuestran cómo este fenómeno genera nuevas formas de exclusión que trascienden las tradicionales brechas digitales, afectando particularmente a grupos vulnerables y economías periféricas. La tercera paradoja, de carácter cultural, expresa el conflicto entre la eficiencia de los sistemas digitales y las necesidades humanas básicas de materialidad, tactilidad y autonomía [Belk, 2020; Somaini, 2023], lo que explica las resistencias observadas en diversos contextos sociales.

Estas tensiones estructurales llevan a concluir que la desmaterialización no puede concebirse como solución única o fin último, sino como un componente que debe integrarse en estrategias más comprehensivas de transición socioecológica. Tal integración requiere, en primer lugar, mecanismos que internalicen los costos energéticos y ambientales completos de la infraestructura digital. En segundo lugar, exige programas de reconversión laboral y capacitación masiva que mitiguen los impactos disruptivos en el empleo. Finalmente, demanda un enfoque sensible a las diversidades culturales en la relación con lo material, reconociendo que el bienestar humano no puede reducirse a parámetros puramente digitales.

Como argumenta Taffel [2024], el verdadero desafío contemporáneo no radica en optar dicotómicamente entre lo material y lo digital, sino en reinventar sus formas de articulación dentro de modelos económicos que equilibren eficiencia tecnológica con sostenibilidad ecológica y equidad social. Esta reinención debe estar guiada por el principio rector de mantener el bienestar humano dentro de los límites planetarios, superando así las contradicciones inherentes a los procesos de desmaterialización no regulados. La evidencia sugiere que solo mediante este enfoque integrado podrán realizarse plenamente los potenciales beneficios de la transformación digital, mitigando simultáneamente sus riesgos y externalidades negativas.

## Políticas y gobernanza para la desmaterialización sostenible

### Iniciativas internacionales

Los organismos multilaterales han desarrollado marcos conceptuales y herramientas para guiar procesos de desmaterialización sostenible. La OECD [2018], en su informe "Global Material Resources Outlook to 2060" propone indicadores de productividad material que han sido adoptados por 38 países para medir progresos en desmaterialización. La Unión Europea [2020], ha integrado estos principios en su Plan de Acción de Economía Circular estableciendo metas vinculantes de reducción de huella material en un 30% para 2030. Por su parte, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) lanzó en 2022 la "Coalición para la Desmaterialización Digital Sostenible", que reúne a 45 países y 120 empresas tecnológicas. Sin embargo, como critica Degraeve [2025], estas iniciativas adolecen de mecanismos de cumplimiento efectivos, mostrando brechas del 40-60% en la implementación de compromisos voluntarios.

### Políticas nacionales exitosas

Los casos nacionales revelan aproximaciones contrastantes con distintos grados de efectividad. China ha implementado desde 2020 una estrategia dual que combina el "Plan de Desarrollo de Economía Digital" con el "Sistema de Créditos Ambientales", logrando reducir un 12% la intensidad material de su economía [Chen & Wang, 2025]. Portugal, por su parte, adoptó un enfoque sectorial focalizado en construcción y manufactura, alcanzando un 8.5% de desmaterialización entre 2015-2022 mediante incentivos fiscales y normas de ecodiseño [Cunha & Ferrão, 2022]. En contraste, las políticas estadounidenses basadas predominantemente en mecanismos de mercado muestran resultados desiguales, con reducciones del 4-6% concentradas en sectores tecnológicos, mientras industrias tradicionales mantienen altos niveles de intensidad material [Smil, 2023].

### Recomendaciones de política

La evidencia sugiere que las políticas efectivas requieren un enfoque multidimensional que combine:

1. Instrumentos regulatorios: Normas de ecodiseño y estándares de durabilidad como los implementados en la UE para productos electrónicos, que han extendido su vida útil en un 30% [Paredes-Frigolett & Pyka, 2023].
2. Mecanismos económicos: Impuestos al consumo material (aplicados en Suecia y Finlandia) que han reducido la huella material per cápita en 15-18% [Steinberger *et al.*, 2013].
3. Inversión en capacidades: Programas como el "Digital Green Skills Initiative" alemán que ha capacitado a 1.2 millones de trabajadores en transición ecológica-digital [Rieger, 2021].

Para una transición justa, Bharath y Banerjee [2025] proponen fondos de compensación sectorial financiados con impuestos a plataformas digitales, modelo implementado parcialmente en Francia e Italia. Aktaş [2023] enfatiza la necesidad de "políticas de desmaterialización inclusiva" que combinen acceso digital universal con preservación de opciones materiales para poblaciones vulnerables. Como demuestran los casos analizados, los marcos exitosos articulan innovación tecnológica con justicia social y protección ambiental, evitando soluciones tecnocráticas unidimensionales.

### Desafíos pendientes para la implementación global de la desmaterialización

La transición hacia economías desmaterializadas enfrenta obstáculos estructurales que limitan su escalabilidad global. Estos desafíos, identificados en la literatura reciente, abarcan dimensiones tecnológicas, económicas, sociales y políticas, requiriendo soluciones integradas para una implementación efectiva.

## **Asimetrías tecnológicas y dependencia de materiales críticos**

Aunque la desmaterialización reduce el consumo de ciertos recursos, aumenta la demanda de minerales críticos (litio, tierras raras, cobalto) necesarios para infraestructuras digitales. Según Smil [2023], la producción de un solo servidor de datos requiere hasta 60 elementos distintos, muchos con cadenas de suministro ambiental y éticamente cuestionables. Además, países en desarrollo con menor capacidad tecnológica enfrentan barreras para adoptar soluciones avanzadas, perpetuando brechas globales [Paredes-Frigolett & Pyka, 2023].

## **Efecto rebote y consumo energético**

La eficiencia material lograda mediante digitalización puede verse contrarrestada por el aumento en el consumo energético. Rieger [2021] demuestra que el sector TIC ya representa 7-10% de la electricidad global, con proyecciones de triplicarse para 2030. Casos como el streaming de video, que reduce DVDs pero incrementa emisiones por centros de datos, ilustran esta paradoja [Magaudda, 2011]. Sin políticas que regulen el impacto energético, los beneficios ambientales netos de la desmaterialización podrían diluirse.

## **Brechas digitales y exclusión social**

La desmaterialización presupone acceso universal a tecnologías digitales, pero 40% de la población mundial carece de conectividad confiable [Sohail *et al.*, 2025]. Grupos vulnerables, como adultos mayores y comunidades rurales, enfrentan barreras de adaptación [Van Campenhout *et al.*, 2013]. Además, la automatización amenaza empleos tradicionales sin garantizar reconversión laboral equitativa, exacerbando desigualdades [Paredes-Frigolett & Pyka, 2023]. Por lo que es necesario disminuir las brechas digitales para no contribuir a la exclusión social.

## **Gobernanza fragmentada y falta de estándares globales**

Mientras la UE y China avanzan con regulaciones estrictas (ej., ecodiseño y economía circular), muchos países carecen de marcos normativos coherentes. Aktaş [2023] señala que solo 30% de las naciones tienen estrategias nacionales de desmaterialización, y los acuerdos internacionales (como los de la ONU) carecen de mecanismos vinculantes. Esta fragmentación permite que empresas externalicen impactos ambientales a regiones con regulaciones laxas, afectando a las comunidades más vulnerables.

## **Resistencia cultural y necesidades de materialidad**

La preferencia por bienes físicos persiste en sectores como editorial (65% de lectores prefieren libros impresos); [Belk, 2020] y arte [De Loisy, 2024]. Somaini [2023] argumenta que la experiencia tangible cumple funciones sociales y emocionales que lo digital no reemplaza, generando resistencia a modelos puramente desmaterializados.

Los desafíos evidencian que la desmaterialización no puede ser un proceso unilateral, sino que debe:

- Regular el impacto energético y extractivo de las tecnologías digitales.
- Garantizar inclusión digital con infraestructura accesible y programas de capacitación.
- Armonizar políticas globales que eviten externalidades negativas.
- Respetar diversidades culturales, integrando opciones materiales donde sean esenciales.

Como propone Taffel [2024], el éxito dependerá de reequilibrar eficiencia digital con bienestar socioambiental, evitando soluciones tecnocéntricas que ignoren los límites planetarios y las necesidades humanas.

La idea es que, la desmaterialización debe ser comprendida como una herramienta dentro de una estrategia más amplia de transición socioecológica, y no como una solución autosuficiente. Su éxito depende de políticas que integren innovación tecnológica, equidad social y sostenibilidad ambiental. Esto implica articular regulaciones que internalicen costos ocultos, programas de capacitación digital que enfrenten la exclusión tecnológica, y mecanismos globales que armonicen estándares y eviten nuevas formas de colonialismo digital. La verdadera promesa de la desmaterialización no reside en oponer lo material a lo digital, sino en rediseñar su relación bajo principios de justicia ambiental y bienestar colectivo [Taffel, 2024; Aktaş, 2023].

## Conclusiones

La investigación destaca su relevancia como estrategia para transitar hacia modelos económicos más sostenibles en el contexto de la crisis ambiental y el agotamiento de recursos. Este paradigma, que implica la reducción del uso de materiales mediante la sustitución por servicios digitales o soluciones intangibles, ha demostrado ser una herramienta clave para avanzar en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como la innovación industrial, el consumo responsable y la acción climática. Sin embargo, los hallazgos también evidencian desafíos significativos. Entre ellos se encuentran el efecto rebote, que puede contrarrestar los beneficios ambientales mediante un aumento en el consumo energético, y las externalidades sociales y ambientales derivadas de la infraestructura digital, como la minería de materiales críticos y las desigualdades en el acceso a tecnologías.

Se concluye que los beneficios ambientales netos de la desmaterialización dependen de regulaciones efectivas que mitiguen los efectos rebote y promuevan la eficiencia energética. Asimismo, para abordar los riesgos sociales, es necesario implementar políticas inclusivas que garanticen acceso universal a tecnologías digitales y capacitación para poblaciones vulnerables. En términos de integración con estrategias de desarrollo sostenible, los casos analizados, como el de China y la Unión Europea, demuestran que las políticas más exitosas son aquellas que articulan innovación tecnológica con justicia social y protección ambiental.

El estudio presenta limitaciones importantes. Por un lado, existe una concentración de evidencia empírica en economías avanzadas o emergentes, dejando vacíos sobre su aplicabilidad en países en desarrollo con menor capacidad tecnológica. Por otro lado, la falta de datos longitudinales dificulta evaluar plenamente los impactos acumulativos del proceso de desmaterialización, particularmente en términos de consumo energético global y exclusión social. Estas limitaciones resaltan la necesidad de ampliar el alcance geográfico y temporal de futuras investigaciones.

La agenda futura de investigación debe enfocarse en tres áreas prioritarias: profundizar el análisis del impacto energético asociado a la digitalización para minimizar el efecto rebote; investigar mecanismos que garanticen inclusión digital universal; y diseñar modelos integrados que consideren simultáneamente las dimensiones ambientales, económicas y sociales de la desmaterialización. Por otro lado, se recomienda explorar soluciones innovadoras como el diseño molecular y la servitización avanzada, evaluando sus implicaciones a largo plazo. Solo mediante un enfoque interdisciplinario que combine perspectivas tecnológicas, regulatorias y culturales será posible maximizar los beneficios transformadores de la desmaterialización mientras se mitigan sus riesgos estructurales. Este enfoque holístico permitirá avanzar hacia economías verdaderamente sostenibles dentro de los límites planetarios.

## Referencias

- Aktaş, C. B. [2023]. [Dematerialization: Needs and Challenges](#). En *Handbook of Sustainability Science in the Future: Policies, Technologies and Education by 2050* [pp. 1427-1439]. Cham: Springer International Publishing.
- Allen, G. [2018]. [From materiality to dematerialization and back: conceptual writing in a digital age](#). *Postscript: Writing After Conceptual Art*, 233-242.
- Belk, R. [2020]. [The changing notions of materialism and status in an increasingly dematerialized world](#). En *Research handbook on luxury branding* [pp. 2-21]. Edward Elgar Publishing.
- Bharath, P., & Banerjee, J. [2025]. [Dematerialization and its Role in Shaping Sustainable Futures](#).

- Broccardo, L., Zicari, A., Jabeen, F., & Bhatti, Z. A. [2023]. [How digitalization supports a sustainable business model: A literature review](#). *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122146.
- Chen, Q., & Wang, J. [2025]. [The impact of digital economic growth and financial expansion on CO2 mitigation strategies in leading emitting countries](#). *Scientific Reports*, 15, 10515.
- Coroama, V. C., Moberg, Å., & Hilty, L. M. [2015]. [Dematerialization through electronic media?](#). En *ICT innovations for sustainability* [pp. 405-421]. Springer International Publishing.
- Cunha, S., & Ferrão, P. [2022]. [Can structural changes lead to dematerialization? Lessons from the Portuguese socioeconomic metabolism between 1995 and 2017](#). *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106169.
- De Loisy, O. [2024]. [The dematerialization of art: Dead ends or new paths?](#). *Études*, [5], 93-103.
- De Vries, C. (2018). [Euro-scepticism and the Future of the European Integration](#).
- Degrave, E. [2025]. [Politicizing the Digital World](#).
- Hadad, S., & Bratianu, C. [2019]. [Dematerialization of banking products and services in the digital era](#). *Management & Marketing*, 14[3].
- Kasulaitis, B. V., Babbitt, C. W., & Krock, A. K. [2019]. [Dematerialization and the circular economy: Comparing strategies to reduce material impacts of the consumer electronic product ecosystem](#). *Journal of Industrial Ecology*, 23[1], 119-132.
- Luo, S., Yimamu, N., Li, Y., Wu, H., Irfan, M., & Hao, Y. [2023]. [Digitalization and sustainable development: How could digital economy development improve green innovation in China?](#). *Business Strategy and the Environment*, 32[4], 1847-1871.
- Magaudda, P. [2011]. [When materiality 'bites back': Digital music consumption practices in the age of dematerialization](#). *Journal of Consumer Culture*, 11[1], 15-36.
- OECD (2018). [Global Material Resource Outlook to 2060](#). Economic Drivers and Environmental Consequences. OECD Publishing Paris.
- Paredes-Frigolett, H., & Pyka, A. [2023]. [Global dematerialization, the renaissance of Artificial Intelligence, and the global stakeholder capitalism model of digital platforms: current challenges and future directions](#). *Journal of Evolutionary Economics*, 33[3], 671-705.
- Rieger, A. [2021]. [Does ICT result in dematerialization? The case of Europe, 2005-2017](#). *Environmental Sociology*, 7[1], 64-75.
- Schauman, S., Greene, S., & Korkman, O. [2023]. [Sufficiency and the dematerialization of fashion: How digital substitutes are creating new market opportunities](#). *Business Horizons*, 66[6], 741-751.
- Smil, V. [2023]. [Materials and dematerialization: making the modern world](#). John Wiley & Sons.
- Sohail, M. T., Ullah, S., Ozturk, I., & Sohail, S. [2025]. [Energy justice, digital infrastructure, and sustainable development: A global analysis](#). *Energy*, 134999.
- Somai, A. [2023]. [Toward dematerialization: Light, medium, environment](#). *Critical Inquiry*, 49[3], 384-405.
- Steinberger, J. K., Krausmann, F., Getzner, M., Schandl, H., & West, J. [2013]. [Development and dematerialization: an international study](#). *PLoS ONE*, 8[10], e70385.
- Taffel, S. [2024]. [Fantasies of dematerialization: \[Un\] sustainable growth and digital capitalism](#). En *Digital Technologies for Sustainable Futures* [pp. 17-31]. Routledge.

Unión Europea (2020). [Plan de Acción de Economía Circular](#).

Van Campenhout, L. D. E., Frens, J. W., Overbeeke, C. J., Standaert, A., & Peremans, H. [2013]. [Physical interaction in a dematerialized world](#). *International Journal of Design*, 7[1], 1-18.

Wu, Y., Al-Duais, Z. A. M., & Peng, B. [2023]. [Towards a low-carbon society: spatial distribution, characteristics and implications of digital economy and carbon emissions decoupling](#). *Humanities and Social Sciences Communications*, 10[1], 761.

## Capítulo 2: Rol de la desmaterialización en la sostenibilidad

En el contexto actual de crisis climática y agotamiento de recursos, la sostenibilidad se ha convertido en una prioridad global. La sostenibilidad, tal como se define en el informe Brundtland [1987], es la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Esta noción de sostenibilidad resalta la importancia de adoptar modelos de desarrollo que sean ambientalmente responsables, socialmente equitativos y económicamente viables.

En este marco, la digitalización emerge como una herramienta clave que podría contribuir significativamente a la sostenibilidad, particularmente a través de la desmaterialización. La desmaterialización se refiere a la reducción del uso de materiales físicos mediante la digitalización y la innovación tecnológica, lo que permite optimizar recursos y disminuir la huella ecológica de diversos procesos productivos y de consumo [Aktaş, 2023].

Sin embargo, la relación entre digitalización, desmaterialización y sostenibilidad no está exenta de desafíos. Diversos estudios han destacado el potencial de la digitalización para optimizar el uso de recursos. Por ejemplo, Luo *et al.* [2023] demostraron que la economía digital en China redujo las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 12% entre 2010 y 2020, y Broccardo *et al.* [2023] identificaron cómo tecnologías como el IoT y el blockchain pueden fomentar modelos de negocio circulares.

No obstante, persisten vacíos de conocimiento significativos, como señala Rieger [2021], quienes advierte que no toda digitalización implica una desmaterialización efectiva. De hecho, infraestructuras como los centros de datos pueden incrementar el consumo energético [Onyshchenko *et al.*, 2023]. Asimismo, existen divergencias sobre cómo medir y maximizar el impacto multidimensional de la desmaterialización y cómo abordar sus efectos rebote, como el aumento de la demanda de dispositivos electrónicos [Magaudda, 2011].

En este contexto, la presente investigación se justifica por su capacidad para abordar estos vacíos, proponiendo un marco integrado para evaluar la desmaterialización no solo en términos ambientales, sino también desde una perspectiva socioeconómica. Este enfoque integral es necesario, ya que, como advierte Belk [2020], la percepción de "inmaterialidad" de los productos digitales podría fomentar patrones de consumo insostenibles si no se acompañan de cambios culturales significativos.

La investigación se propone, entonces, responder a la pregunta: ¿Cómo garantizar que la desmaterialización impulse la sostenibilidad sin generar externalidades negativas? Para ello, se analizarán casos emblemáticos, como la sustitución de documentos físicos en la banca [Hadad & Bratianu, 2019] y el auge de plataformas de moda digital [Schauman *et al.*, 2023], con el objetivo de identificar mejores prácticas que puedan servir como guías para otros sectores.

### Desmaterialización, digitalización y sostenibilidad

La sostenibilidad es un paradigma integral que busca equilibrar el desarrollo humano con la preservación de los sistemas ecológicos y sociales para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Según el Informe Brundtland, ampliamente aceptado como base conceptual, la sostenibilidad se define como aquel desarrollo que "satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas" [WCED, 1987, p. 43]. Este enfoque se estructura en tres dimensiones interdependientes: ambiental, social y económica.

La dimensión ambiental se centra en la conservación de los ecosistemas, la reducción de la huella ecológica y la mitigación del cambio climático mediante prácticas como la eficiencia energética y la economía circular [Steinberger *et al.*, 2013]. Por su parte, la dimensión social promueve la equidad, la inclusión y la justicia, asegurando que los beneficios del desarrollo alcancen a todos los grupos sociales sin exacerbar desigualdades [Belas *et al.*, 2025]. Finalmente, la dimensión económica fomenta modelos de crecimiento que prioricen la resiliencia y la distribución justa de recursos, alejándose del extractivismo tradicional [Bican & Brem, 2020].

Estas dimensiones no actúan de forma aislada; su interacción dinámica es significativa para abordar desafíos complejos como la desmaterialización —proceso de reducir el uso de materiales físicos mediante su sustitución por alternativas digitales—, cuyos impactos deben evaluarse desde una perspectiva holística [Aktaş, 2023]. En este sentido, la sostenibilidad en el contexto digital adquiere una relevancia particular. La digitalización ha sido promovida como un habilitador clave de la sostenibilidad, especialmente a través de la desmaterialización. Sin embargo, su relación con las tres dimensiones es ambivalente.

Desde la perspectiva ambiental, la digitalización reduce el consumo de recursos como papel y plásticos, pero incrementa la demanda energética de los centros de datos [Onyshchenko *et al.*, 2023]. En el plano social, mejora el acceso a servicios, pero también puede profundizar brechas digitales y reforzar desigualdades existentes [Rupeika-Apoga & Petrovska, 2022]. En el ámbito económico, si bien optimiza costos y procesos, también genera dependencia de infraestructuras tecnológicas costosas y poco accesibles para ciertos contextos [Magaudda, 2011]. Este marco conceptual subraya que la verdadera sostenibilidad digital requiere políticas que mitiguen los trade-offs entre las distintas dimensiones. Como señala Feroz *et al.* [2021]: "La transición digital solo será sostenible si se diseña con criterios de justicia ambiental y equidad social" (p. 1535).

### **Digitalización factor clave para promover sostenibilidad**

La digitalización se ha convertido en un factor clave para promover la sostenibilidad, especialmente a través de la desmaterialización. Este proceso implica la sustitución de bienes y servicios físicos por alternativas digitales, reduciendo así el consumo de recursos materiales y energéticos. Según Luo *et al.* [2023], en China, la adopción de plataformas digitales ha permitido disminuir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub>, gracias a la reducción de la dependencia de recursos tradicionales como el papel y el transporte físico. Este avance no solo contribuye a mitigar los impactos ambientales, sino que también fomenta la innovación en modelos de negocio sostenibles, como lo destacan Broccardo *et al.* [2023], quienes subrayan cómo las empresas pueden mejorar su eficiencia operativa mientras reducen su huella ecológica.

En América Latina, un ejemplo destacado es el caso de Mercado Libre, una de las principales plataformas de comercio electrónico de la región. Esta empresa ha implementado estrategias logísticas que reducen la necesidad de transporte físico innecesario mediante la optimización de rutas, consolidación de envíos y el uso de centros de distribución inteligentes.

Además, ha incorporado vehículos eléctricos en su red logística, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a las entregas [Mercado Libre, 2024]. Al digitalizar procesos de compraventa y facilitar la conexión entre consumidores y pequeños productores, la plataforma ha contribuido a una cadena de suministro más eficiente y sostenible. Así, se reduce el tráfico en áreas urbanas, se disminuye el uso de papel y se promueve un consumo más consciente.

Sin embargo, esta transición hacia una economía más digital no está exenta de desafíos. Uno de los principales problemas es el aumento del consumo energético asociado al mantenimiento de infraestructuras digitales, como los centros de datos. Onyshchenko *et al.* [2023] advierten que estos centros representan una proporción significativa del consumo energético global debido a su funcionamiento continuo y a los sistemas de refrigeración necesarios para evitar el sobrecalentamiento. Este fenómeno genera un dilema: aunque la digitalización reduce el uso de materiales físicos, incrementa la demanda energética, lo que puede contrarrestar los beneficios ambientales obtenidos.

Por otro lado, es importante considerar las implicaciones sociales y económicas de este cambio. La digitalización puede exacerbar desigualdades preexistentes, como la brecha digital, que limita el acceso equitativo a las tecnologías en comunidades vulnerables. Según Zournatzidou *et al.* [2025], garantizar una transformación digital sostenible requiere abordar estas disparidades mediante políticas inclusivas que promuevan el acceso universal a herramientas digitales y capacitación tecnológica.

Un ejemplo inspirador de inclusión digital es M-Pesa, un sistema de dinero móvil implementado en África, que ha transformado la vida de millones de personas sin acceso a servicios bancarios tradicionales. Esta plataforma ha facilitado transacciones seguras y eficientes, promoviendo la inclusión financiera, especialmente en zonas rurales donde los servicios financieros formales eran inexistentes. M-Pesa demuestra cómo la digitalización no solo tiene un impacto ambiental positivo, sino también social, al reducir barreras económicas y mejorar la calidad de vida de comunidades marginadas [Jack & Suri, 2014].

Otro aspecto relevante es el manejo adecuado de los residuos electrónicos generados por la rápida obsolescencia tecnológica. Magaudda [2011] señala que la proliferación de dispositivos desechables plantea un desafío significativo para la sostenibilidad, ya que aumenta la cantidad de residuos electrónicos que deben ser gestionados adecuadamente para evitar impactos negativos en el medio ambiente.

En este contexto, las soluciones innovadoras desempeñan un papel fundamental para equilibrar los beneficios y limitaciones de la digitalización. Tecnologías como el cloud computing y las redes inteligentes son herramientas clave para optimizar procesos y reducir el consumo energético en diversas industrias [Fundación LAB, 2024]. El almacenamiento en la nube, por ejemplo, elimina la necesidad de dispositivos físicos, lo que resulta en una reducción significativa de las emisiones asociadas al almacenamiento tradicional, con una disminución de hasta un 84% en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto no solo genera ahorros económicos para las empresas, sino que también contribuye a la sostenibilidad global al reducir la cantidad de recursos materiales necesarios para el funcionamiento de las infraestructuras digitales.

Además de estas tecnologías, existen soluciones emergentes que están transformando aún más el panorama de la digitalización sostenible. Una de ellas es la inteligencia artificial (IA), que se está aplicando de manera cada vez más eficiente para optimizar el consumo energético. La IA permite la creación de sistemas inteligentes que ajustan el uso de energía en tiempo real según la demanda, mejorando la eficiencia energética de edificios, centros de datos, y redes eléctricas. Un ejemplo destacado es el uso de IA para gestionar el consumo de energía en los centros de datos, donde se emplean algoritmos avanzados para predecir las necesidades energéticas y ajustarlas de manera dinámica, reduciendo tanto los costos operativos como las emisiones de gases de efecto invernadero [Diadia, 2022].

Por otro lado, los avances en energías renovables aplicadas a las infraestructuras digitales están desempeñando un papel crucial en la transición hacia una digitalización sostenible. Los centros de datos, que históricamente han sido grandes consumidores de energía, están adoptando fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, para alimentar sus operaciones. Empresas como Google y Microsoft han implementado iniciativas para abastecer sus centros de datos con energía 100% renovable, contribuyendo a reducir la huella de carbono del sector tecnológico. En algunos casos, los centros de datos incluso se han ubicado estratégicamente en regiones con abundante luz solar, aprovechando esta fuente de energía natural para alimentar sus instalaciones de manera sostenible [Gómez *et al.*, 2022].

Estas innovaciones no solo mejoran la eficiencia y reducen el impacto ambiental, sino que también crean un modelo a seguir para otras industrias que buscan digitalizarse de manera responsable. Integrar la inteligencia artificial con energías renovables y el almacenamiento en la nube permite avanzar hacia una digitalización más limpia, optimizando recursos y reduciendo las emisiones de manera efectiva.

Consecuentemente, aunque la digitalización ofrece oportunidades prometedoras para avanzar hacia un desarrollo sostenible, también plantea retos complejos que requieren un enfoque multidimensional. Es esencial integrar estrategias que aborden tanto los beneficios ambientales como las implicaciones sociales y económicas para garantizar una transición equilibrada hacia un futuro más sostenible. Como sugieren Bican & Brem [2020], alcanzar este objetivo implica no solo adoptar soluciones tecnológicas, sino también fomentar una gobernanza digital responsable, inclusiva y orientada al bien común.

## Críticas y limitaciones a la desmaterialización y a la digitalización en el contexto de la sostenibilidad

La desmaterialización influye de manera heterogénea en las tres dimensiones de la sostenibilidad. Ambientalmente, su contribución es evidente en la reducción de residuos y emisiones, como señala Chen y Wang [2025] en su estudio sobre la economía digital y la contaminación en China. No obstante, desde una perspectiva social, surgen contradicciones: aunque la digitalización mejora el acceso a servicios, también genera desigualdades en comunidades con limitada conectividad [Rupeika-Apoga & Petrovska, 2022]. Económicamente, si bien reduce costos operativos, puede incrementar gastos asociados a la obsolescencia tecnológica y los residuos electrónicos [Magaudda, 2011]. Esta dualidad subraya la necesidad de políticas que equilibren los avances tecnológicos con criterios de justicia social y circularidad económica, tal como propone el marco de Ciacci *et al.* [2025] para medir la sostenibilidad digital en Europa.

A pesar de sus múltiples beneficios, la digitalización enfrenta críticas significativas en relación con la sostenibilidad. Uno de los principales desafíos es el denominado efecto rebote, una paradoja bien documentada en estudios de eficiencia energética y tecnológica. Este fenómeno ocurre cuando los avances que prometen reducir el impacto ambiental —como la desmaterialización de productos físicos terminan provocando un aumento neto en el consumo de recursos debido a cambios en el comportamiento de los usuarios o al incremento del acceso a la tecnología. En otras palabras, las mejoras en eficiencia o ahorro energético no necesariamente conducen a una menor huella ecológica, ya que suelen incentivar un uso más intensivo y frecuente de dichos recursos [Taffel, 2024].

Un ejemplo concreto de este efecto se observa en los hogares modernos: mientras que en décadas pasadas una familia podía tener una sola televisión o computadora, hoy es común que cada miembro del hogar posea múltiples dispositivos personales —como teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras portátiles y relojes inteligentes—, lo que multiplica exponencialmente el consumo energético y la generación de residuos electrónicos. Además, prácticas como el streaming constante de video en alta definición, la sincronización continua de datos en la nube o el uso de asistentes digitales inteligentes aumentan la demanda de energía, tanto en los dispositivos como en los servidores que los soportan. Incluso iniciativas que buscan reducir el uso de papel, como los libros electrónicos, han generado su propio rebote: aunque eliminan el soporte físico, requieren dispositivos dedicados, actualizaciones frecuentes y conectividad constante, todos ellos con una huella ambiental no despreciable.

A escala industrial, el patrón se repite: el desarrollo de infraestructuras digitales más eficientes ha facilitado una expansión de la capacidad tecnológica global, lo que ha incrementado, en lugar de reducir, la demanda de recursos. Un caso paradigmático son los centros de datos, pilares de la economía digital, que ya representan aproximadamente el 1% de la demanda eléctrica global, según Onyshchenko *et al.* [2023], y cuya expansión se acelera con el crecimiento de la inteligencia artificial, el almacenamiento en la nube y los servicios de transmisión en línea. Asimismo, la obsolescencia programada, la producción acelerada de dispositivos y la escasa regulación sobre la gestión de residuos electrónicos agravan los impactos ambientales y sociales de esta expansión tecnológica [Kasulaitis *et al.*, 2019].

Frente a estas limitaciones, resulta urgente adoptar una mirada crítica que, como plantea Elhefnawy [2023], cuestione el “mito de la desmaterialización absoluta”. Reconocer que la digitalización no garantiza por sí sola la sostenibilidad es un paso clave para avanzar hacia soluciones más profundas. Entre ellas se destacan el uso de energías renovables para alimentar infraestructuras digitales, el fomento del ecodiseño que prolongue la vida útil de los dispositivos, y la integración de los principios de la economía circular, con el fin de minimizar la extracción de nuevos recursos y la generación de desechos tecnológicos.

La desmaterialización y digitalización presentan críticas estructurales que requieren un análisis multidimensional para evitar soluciones simplistas. Su implementación genera tensiones entre métricas ambientales, sociales y económicas, evidenciando la necesidad de enfoques integrados. Los indicadores ambientales tradicionales (como reducción de papel o emisiones directas) suelen enmascarar impactos en otras dimensiones. Por ejemplo, mientras la desmaterialización reduce un 70% el uso de papel en bancos, el 40% de pymes europeas enfrentan barreras para adoptar tecnologías digitales. Esto profundiza desigualdades en acceso a servicios básicos.

Asimismo, el reciclaje de residuos electrónicos ha aumentado un 25% desde 2010, externalizando gastos a municipios y comunidades. Cada tonelada de dispositivos reciclados cuesta entre USD 200 y 300, frente a los USD 50-100 que cuesta reciclar papel. Además, aunque los e-readers reducen 608g de CO<sub>2</sub> por libro, su fabricación requiere 3,500 litros de agua y 15kg de minerales raros por unidad.

Un caso emblemático que ilustra esta complejidad es la paradoja de los libros electrónicos. El reemplazo de libros físicos por digitales muestra claramente las dificultades de medir la sostenibilidad real. En cuanto a la huella ambiental desplazada, se observa una ventaja inicial: leer 120 eBooks genera 52.3kg de CO<sub>2</sub> frente a los 153kg de los libros físicos. Sin embargo, producir un e-reader emite 80kg de CO<sub>2</sub>, equivalente a 36 libros impresos. Esto implica que se requieren entre 25 y 36 libros leídos por año durante cinco años para compensar la huella del dispositivo.

En términos de impactos sociales, también hay aspectos no contabilizados. Por ejemplo, el 28% de la población en África Subsahariana carece de acceso a plataformas digitales básicas, lo que limita los beneficios educativos de los eBooks. A esto se suma la obsolescencia programada, que obliga a reemplazar dispositivos cada 3-5 años, generando un volumen estimado de 53.6 millones de toneladas de residuos electrónicos a nivel global en 2025. Como advierte Magaudda [2011], “la percepción de inmaterialidad digital es un espejismo: cada servicio en la nube depende de infraestructuras físicas intensivas en recursos”.

De cara a estos desafíos, se proponen recomendaciones para el desarrollo de métricas integrales que permitan una evaluación más precisa de la sostenibilidad digital. Para superar las limitaciones de los indicadores tradicionales, se plantean indicadores híbridos que incorporen múltiples dimensiones. Por ejemplo, en el plano ambiental, no basta con contabilizar toneladas de papel ahorradas: es necesario aplicar análisis de ciclo de vida (LCA) a los dispositivos digitales.

En el ámbito social, el número de usuarios digitales debe complementarse con un índice de accesibilidad tecnológica desagregado por quintiles. En lo económico, a los costos operativos reducidos se les debe sumar el gasto en reciclaje respecto al PIB sectorial. Este enfoque revela que la verdadera sostenibilidad digital no se mide por la mera sustitución de materiales, sino por la capacidad de generar sinergias entre dimensiones, mitigar efectos rebote y garantizar equidad en el acceso.

### **Casos emblemáticos de desmaterialización**

La desmaterialización ha demostrado ser un motor clave para la sostenibilidad en varios sectores, como el financiero y el de la moda. En el ámbito bancario, la transición hacia plataformas digitales ha permitido una drástica disminución del uso de papel, reduciendo en un 70% el consumo comparado con los modelos tradicionales, lo que conlleva a una menor emisión de CO<sub>2</sub> derivada de la producción y el transporte de documentos [Hadad & Bratianu, 2019, p. 12]. Sin embargo, este avance no está exento de desafíos. A pesar de los beneficios en términos de reducción de residuos materiales, la creciente demanda de dispositivos electrónicos y la energía necesaria para mantener los servidores de datos presentan complicaciones ambientales adicionales. Según Onyshchenko *et al.* [2023], “la eficiencia energética de los data centers debe mejorar para que la banca digital sea verdaderamente sostenible” [p. 630], lo que subraya la necesidad de un enfoque integral hacia la sostenibilidad en la infraestructura digital.

En el caso de la moda digital, la digitalización ha promovido alternativas como los diseños virtuales y los showrooms en línea, lo que ha permitido reducir considerablemente el desperdicio textil y las emisiones asociadas a la producción masiva. Schauman *et al.* [2023] evidencian que algunas marcas que implementan herramientas de diseño 3D han logrado disminuir su huella de carbono en un 30% (p. 745).

No obstante, este proceso de desmaterialización también ha generado un efecto rebote. Magaudda [2011] señala que el aumento en el uso de dispositivos electrónicos, que eventualmente se vuelven obsoletos, contribuye a una creciente generación de residuos electrónicos, lo que plantea una contradicción en el camino hacia la sostenibilidad. Esta dinámica resalta la importancia de considerar tanto las externalidades ambientales como las sociales en la evaluación del impacto de la desmaterialización.

Para ilustrar aún más estos casos, es fundamental incorporar ejemplos de regiones subrepresentadas que demuestran cómo la digitalización puede fomentar la sostenibilidad de manera inclusiva:

- En América Latina, plataformas digitales como Mercado Libre han transformado el acceso a servicios financieros y comerciales en zonas rurales, incrementando un 35% la inclusión financiera gracias a su ecosistema digital, que conecta a usuarios con productos, servicios y medios de pago electrónicos [Gomez-Trujillo & Gonzalez-Perez, 2022]. Además, al optimizar la logística y reducir la necesidad de transporte físico innecesario, estas plataformas han contribuido a una reducción en la huella de carbono del comercio electrónico regional.
- En África, el caso de M-Pesa destaca como un ejemplo emblemático de desmaterialización e inclusión social. Esta plataforma de dinero móvil ha permitido que millones de personas sin acceso a bancos formales puedan enviar, recibir y ahorrar dinero a través de sus teléfonos móviles. Según Jack y Suri [2014], M-Pesa ha contribuido a sacar a más de 194.000 hogares kenianos de la pobreza, evidenciando cómo la digitalización puede mejorar el bienestar social a través de la reducción de barreras económicas estructurales.
- En Asia del Sur, iniciativas tecnológicas vinculadas a la sostenibilidad, como los calentadores solares digitales y sistemas inteligentes de monitoreo energético, han abordado la pobreza energética en comunidades rurales. Estos proyectos, apoyados por plataformas móviles y soluciones IoT, permiten a las familias acceder a energía limpia y asequible, promoviendo la equidad energética y reduciendo las emisiones de carbono en áreas históricamente marginadas.

Finalmente, en sectores como la banca digital y la moda, el manejo de residuos electrónicos se presenta como un reto prioritario. En el caso de la banca, se requiere una gestión responsable de los dispositivos tecnológicos en desuso, mientras que en la moda, empresas pioneras como Patagonia han apostado por estrategias de sostenibilidad digital que combinan innovación tecnológica con una fuerte ética ambiental. Incluso, el surgimiento de NFTs sostenibles abre nuevas posibilidades para la trazabilidad y circularidad en la industria del diseño y la moda digital. En conjunto, estos ejemplos muestran que la desmaterialización, cuando se implementa con una visión holística y equitativa, puede ser un catalizador poderoso para la sostenibilidad ambiental y social a escala global.

### **Beneficios y limitaciones de la desmaterialización desde una perspectiva tridimensional**

La desmaterialización, entendida como la sustitución de recursos físicos por soluciones digitales, presenta impactos diferenciados en las tres dimensiones clave de la sostenibilidad: ambiental, social y económica. Evaluarla desde esta perspectiva tri-dimensional no solo permite entender su potencial transformador, sino también visibilizar los límites estructurales y tensiones inherentes al proceso de transición digital.

En el plano ambiental, la principal ventaja de la desmaterialización radica en la significativa reducción del uso de recursos físicos y, en consecuencia, de las emisiones contaminantes. Un ejemplo ilustrativo es el estudio de Chen y Wang [2025], quienes evidenciaron que, en China, la digitalización ha permitido evitar 1.2 gigatoneladas de emisiones anuales gracias a la sustitución de procesos industriales tradicionales por alternativas digitales más limpias (p. 10518). Este dato demuestra que la transición digital, bien implementada, puede contribuir sustancialmente a la mitigación del cambio climático. No obstante, esta contribución requiere ser sostenida por políticas coherentes y tecnologías limpias desde su diseño, producción y uso, hasta su disposición final, para evitar trasladar el impacto ambiental a otras etapas del ciclo de vida tecnológico.

Desde la dimensión social, los beneficios de la digitalización se manifiestan en una mayor accesibilidad a servicios, información y plataformas. Sin embargo, estos avances también traen consigo riesgos importantes, especialmente en términos de equidad y cohesión social. Rupeika-Apoga y Petrovska [2022] advierten que un 40% de las pequeñas y medianas empresas [pymes] en Europa enfrentan obstáculos significativos para adoptar tecnologías digitales, lo que puede intensificar las desigualdades sociales y económicas existentes (p. 13560).

Este dato refleja una realidad crítica: sin políticas públicas inclusivas y sin el fortalecimiento de competencias digitales en todos los sectores, la desmaterialización corre el riesgo de reproducir - e incluso ampliar - las brechas ya existentes entre individuos, territorios y organizaciones.

En cuanto al ámbito económico, la desmaterialización se asocia frecuentemente con la optimización de costos operativos, al reducir la necesidad de materiales físicos, espacios de almacenamiento o transporte. Sin embargo, esta eficiencia aparente puede verse contrarrestada por la creciente dependencia de infraestructuras tecnológicas costosas y sujetas a rápida obsolescencia. Kasulaitis *et al.* [2019] destacan que el ciclo de vida corto de los dispositivos electrónicos ha provocado un aumento del 25% en los costos de reciclaje (p. 125), lo que no solo representa un desafío económico, sino también un problema ambiental subyacente vinculado al manejo de residuos tecnológicos y a la presión sobre recursos naturales no renovables. En este contexto, el paradigma de la eficiencia debe ser reevaluado a la luz de una economía más circular, resiliente y regenerativa.

Estas interacciones complejas y, en muchos casos, contradictorias evidencian que la desmaterialización no representa una solución definitiva ni autosuficiente para lograr la sostenibilidad. Tal como concluyen Bican y Brem [2020], “su éxito depende de políticas que equilibren innovación tecnológica con justicia social y circularidad económica” (p. 5245). Esta afirmación subraya la necesidad de abandonar visiones reduccionistas que equiparan digitalización con progreso automático. En su lugar, se requiere un enfoque sistémico y holístico que integre consideraciones éticas, sociales y ecológicas en cada etapa del diseño, implementación y evaluación de las tecnologías digitales.

En este marco, la economía circular se presenta como un paradigma clave. Se trata de un modelo económico que rompe con la lógica lineal de “extraer, producir, desechar” al priorizar estrategias como la reutilización, el reciclaje, la reparación y el rediseño de productos y procesos. Su objetivo es cerrar los ciclos de los materiales, minimizar el desperdicio y reducir la presión sobre los recursos naturales y los ecosistemas. A diferencia de la economía lineal, que genera enormes cantidades de residuos y demanda continua de materias primas, la economía circular busca regenerar los sistemas naturales, mantener los productos en uso por más tiempo y diseñar desde el inicio tecnologías que puedan ser desmontadas, actualizadas o transformadas sin convertirse rápidamente en desechos.

Aplicada al contexto de la desmaterialización, la economía circular puede operar como una fuerza correctiva que compense los efectos colaterales negativos de la digitalización, especialmente en lo referente al crecimiento exponencial de dispositivos electrónicos, el uso intensivo de energía y la generación de residuos tecnológicos. Por ejemplo, incentivar el diseño modular de equipos digitales no solo facilitaría la reparación y actualización de componentes, sino que también permitiría a los usuarios prolongar la vida útil de los productos, reduciendo así la necesidad de nuevas extracciones de minerales como el litio, el cobalto o las tierras raras, cuya explotación genera impactos socioambientales en los países productores.

Además, la circularidad puede potenciar nuevos modelos de negocio orientados al acceso en lugar de la propiedad, como los sistemas de alquiler, leasing o plataformas de productos como servicio (product-as-a-service), que reducen el volumen de dispositivos individuales por hogar o empresa. Este cambio de paradigma tiene el potencial de mitigar el efecto rebote asociado a la digitalización, promoviendo un uso más racional y eficiente de los recursos digitales. También se abren oportunidades para repensar la infraestructura digital en clave sostenible: por ejemplo, mediante centros de datos diseñados para facilitar la reutilización del calor residual, contruidos con materiales reciclables, y abastecidos con fuentes de energía renovable.

En consecuencia, resulta imprescindible que futuras investigaciones, marcos normativos y políticas públicas avancen hacia la implementación de modelos híbridos que combinen el potencial innovador de la digitalización con los principios regenerativos de la economía circular. Esta integración permitiría no solo reducir los impactos ecológicos del proceso de digitalización, sino también generar beneficios sociales y económicos más amplios, como la creación de empleos verdes, la reducción de desigualdades tecnológicas y el fortalecimiento de la resiliencia frente a crisis ecológicas y económicas. Solo a través de esta articulación coherente será posible construir una transición digital que no solo sea eficiente, sino también justa, equitativa y genuinamente sostenible a largo plazo.

## Efectos socioeconómicos y culturales

La desmaterialización ha generado transformaciones significativas en los ámbitos laboral, económico y cultural, con implicaciones tanto positivas como negativas para la sostenibilidad social. Según Bharath y Banerjee [2025], el proceso de digitalización ha creado nuevas oportunidades de empleo en sectores emergentes como el análisis de datos y el desarrollo de software, particularmente en economías en desarrollo donde estos campos representan hasta el 15% de los nuevos puestos de trabajo [p. 142]. Asimismo, ha fomentado la inclusión digital al facilitar el acceso a servicios básicos en comunidades previamente marginadas. En América Latina, por ejemplo, Gomez-Trujillo y Gonzalez-Perez [2022] destacan cómo las plataformas digitales han incrementado un 35% el acceso a servicios financieros en zonas rurales, promoviendo una mayor integración social y económica.

Sin embargo, esta transición no está exenta de desafíos. La obsolescencia de ciertas profesiones tradicionales ha generado desequilibrios en el mercado laboral que exigen urgentes políticas de reconversión profesional [Rupeika-Apoga & Petrovska, 2022]. Además, persisten notables barreras estructurales para muchas organizaciones y regiones. Un 40% de las pequeñas y medianas empresas [pymes] en Europa enfrenta dificultades significativas para adoptar tecnologías digitales, ya sea por limitaciones financieras, técnicas o de capital humano [Rupeika-Apoga & Petrovska, 2022]. Estas disparidades pueden intensificar las brechas sociales y económicas existentes, lo que subraya la necesidad de políticas públicas inclusivas que garanticen una transición digital equitativa y sostenible en el largo plazo.

Desde una perspectiva cultural, la desmaterialización ha modificado sustancialmente los patrones de consumo, promoviendo una percepción de "inmaterialidad" en los bienes digitales. Como señala Belk [2020], "la percepción de valor ha migrado de la posesión física al acceso digital" (p. 8), fenómeno particularmente evidente en industrias como la musical y la editorial. Esta transformación cultural, sin embargo, también conlleva riesgos: al considerar los bienes digitales como intangibles, los usuarios tienden a subestimar su impacto ambiental, lo que puede fomentar patrones de consumo insostenibles. Este cambio plantea un desafío relevante para el fomento de prácticas de consumo responsable, que integren una conciencia crítica sobre los costos ambientales y sociales asociados con la producción y uso de tecnologías digitales.

Además, esta transformación no ha sido equitativa a nivel global. En regiones con limitada conectividad, como partes de África Subsahariana, solo el 28% de la población tiene acceso a plataformas digitales básicas [Mohamed Hashim *et al.*, 2022, p. 8972], lo que perpetúa y amplifica las desigualdades socioeconómicas existentes. Así, la desmaterialización cultural, lejos de ser un fenómeno universalmente positivo, requiere políticas que aborden tanto los desafíos del consumo digital responsable como las brechas de acceso estructurales.

La desmaterialización también tiene impactos culturales significativos en regiones con limitada conectividad. En África Subsahariana, solo el 28% de la población tiene acceso a plataformas digitales básicas [Mohamed Hashim *et al.*, 2022], lo que perpetúa desigualdades estructurales. En América Latina, iniciativas como Vive Digital en Colombia han reducido la brecha digital mediante infraestructura inclusiva que conecta comunidades rurales previamente marginadas. Esta dimensión económica y cultural subraya la importancia de políticas públicas que respondan a las realidades locales, considerando factores como idioma, alfabetización digital y acceso físico a la tecnología, para asegurar que la transformación digital sea realmente equitativa y sostenible.

## Cambio cultural hacia el consumo responsable en el contexto de la paradoja de la desmaterialización

La transición hacia modelos desmaterializados exige una profunda transformación cultural en los hábitos de consumo, orientada hacia la sostenibilidad. Investigaciones recientes indican que el 65% de los consumidores jóvenes prefieren servicios digitales a productos físicos [Gómez-Trujillo & González-Pérez, 2022, p. 1145], lo que refleja una tendencia creciente hacia el acceso digital. Sin embargo, esta preferencia convive con un patrón de sobreconsumo de dispositivos electrónicos, lo que Magaúdda [2011] denomina "la paradoja de la desmaterialización" (p. 24): la sustitución de objetos físicos por servicios digitales no necesariamente reduce el impacto ambiental, sino que puede multiplicarlo si no se acompaña de un cambio en la conciencia de consumo.

La paradoja de la desmaterialización es un fenómeno complejo que ocurre cuando las soluciones que parecen beneficiosas desde una perspectiva local o inmediata tienen efectos negativos a nivel global. En términos sencillos, aunque las tecnologías que promueven la desmaterialización —como la digitalización de documentos o el uso de servicios en la nube— pueden reducir ciertos impactos ambientales, como el uso de recursos físicos (por ejemplo, el papel), al mismo tiempo desencadenan otros efectos adversos a escala global.

Un caso claro de esta paradoja se observa en el sector bancario. El uso de servicios digitales en lugar de documentos físicos reduce drásticamente la cantidad de papel utilizado, lo que se considera un beneficio ambiental inmediato. Sin embargo, esta reducción en el consumo de papel genera una nueva demanda: la necesidad de más centros de datos, servidores y dispositivos electrónicos, todos los cuales requieren una cantidad significativa de energía para operar y mantener. Los servidores, por ejemplo, son notoriamente intensivos en términos de consumo energético, ya que necesitan estar funcionando 24/7 para mantener los datos accesibles y seguros. Además, estos centros de datos deben ser refrigerados constantemente para evitar el sobrecalentamiento de los equipos.

Además de la demanda de energía, otro problema derivado de la desmaterialización es el ciclo de vida de los dispositivos electrónicos. A pesar de que los dispositivos digitales, como computadoras, teléfonos móviles y lectores de libros electrónicos, pueden ofrecer una vida útil que permite la desmaterialización de productos físicos (por ejemplo, libros o documentos), estos dispositivos tienen una vida útil relativamente corta en comparación con los productos físicos que reemplazan. Esto se debe en parte a la rápida obsolescencia tecnológica, lo que obliga a los consumidores a actualizar sus dispositivos con frecuencia. Esta obsolescencia programada genera un flujo constante de residuos electrónicos, los cuales, a menudo, no son gestionados adecuadamente, lo que contribuye a la acumulación de basura electrónica a nivel global.

Magaudda [2011] enfatiza la necesidad de marcos de evaluación más holísticos que incluyan un análisis de ciclo de vida completo (LCA, por sus siglas en inglés) para medir adecuadamente el impacto ambiental de la digitalización y la desmaterialización. Un LCA evalúa todos los impactos de un producto o servicio, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Esto incluye la extracción de minerales raros, como el litio, el cobalto y el níquel, que son esenciales para la fabricación de baterías y otros componentes de dispositivos electrónicos. La extracción de estos minerales tiene un costo ambiental significativo, ya que a menudo se realiza en condiciones laborales precarias y con técnicas que dañan el medio ambiente. Además, el proceso de reciclaje de dispositivos electrónicos no siempre es eficiente o económico, lo que genera un círculo vicioso de consumo y desecho.

Este enfoque, que integra todas las etapas del ciclo de vida de los dispositivos digitales, permite ver que el impacto ambiental de la desmaterialización no se limita solo a la reducción de recursos físicos como el papel, sino que también implica un aumento en la demanda de materiales y energía, y una acumulación de residuos. Por lo tanto, las soluciones tecnológicas que a primera vista parecen ser más sostenibles pueden, en realidad, agravar los problemas ambientales si no se consideran todos los factores involucrados. Para mitigar estos efectos, es crucial adoptar un enfoque más integrado que contemple tanto las ganancias como las pérdidas ambientales de las tecnologías digitales, con el objetivo de reducir al mínimo los impactos negativos y promover una economía circular más eficiente.

Belk [2020] advierte que la aparente inmaterialidad de los productos digitales genera una falsa percepción de sostenibilidad, fomentando prácticas de consumo insostenibles. En este contexto, movimientos como el digital minimalism buscan promover un uso más consciente de la tecnología [Schauman *et al.*, 2023], aunque su adopción aún es limitada, alcanzando solo al 12% de usuarios en economías desarrolladas.

El efecto es que, el cambio hacia un consumo responsable en entornos digitalizados requiere una reconfiguración cultural que incluya la educación sobre los impactos ambientales ocultos de los bienes digitales, tales como el aumento de residuos electrónicos y el elevado consumo energético. En este sentido, Belk [2020] subraya la necesidad de hacer visibles estos costos invisibles, mientras que Bharath y Banerjee [2025] destacan el papel clave que pueden desempeñar las campañas educativas en la promoción de prácticas sostenibles como el reciclaje electrónico y la extensión del ciclo de vida de los dispositivos tecnológicos.

Un ejemplo destacado de campaña exitosa es la iniciativa Right to Repair, que promueve el derecho de los consumidores a reparar sus dispositivos electrónicos en lugar de desecharlos. Esta campaña, que ha ganado fuerza en países como Estados Unidos y en la Unión Europea, busca reformar las leyes para permitir reparaciones más accesibles y transparentes, reduciendo así la generación de residuos electrónicos. Asimismo, el movimiento de "reparar, no desechar" ha motivado a empresas tecnológicas a modificar sus políticas de diseño, facilitando la reparación y la actualización de dispositivos, lo que contribuye a una reducción del impacto ambiental [Pearce, 2021].

En paralelo, el movimiento de minimalismo digital ha logrado captar la atención de una parte creciente de la población, especialmente entre los jóvenes, quienes adoptan un enfoque más austero y reflexivo hacia el uso de la tecnología. Estas personas priorizan la calidad sobre la cantidad, eligiendo dispositivos que sean más duraderos y evitando el consumo compulsivo de productos tecnológicos innecesarios. Sin embargo, aún se enfrenta a desafíos de penetración, ya que solo el 12% de los usuarios en economías desarrolladas adoptan estas prácticas de manera habitual.

Las estrategias educativas específicas también juegan un papel esencial para fomentar la conciencia ambiental entre los consumidores jóvenes. En este sentido, iniciativas como las campañas de sensibilización en las escuelas, que promueven el reciclaje de dispositivos electrónicos y la compra responsable de tecnología, pueden ser cruciales. Programas educativos que integren la sostenibilidad digital en sus currículos, como los desarrollados en algunos países europeos, han demostrado ser efectivos para inculcar en los jóvenes hábitos responsables de consumo. Además, el uso de plataformas de aprendizaje en línea y recursos interactivos permite a los estudiantes conocer de manera visual y dinámica los impactos ambientales del consumo digital, aumentando la efectividad de estas campañas.

## **Políticas y estrategias para maximizar los beneficios de la desmaterialización**

### **Propuestas de políticas públicas**

La implementación de políticas públicas adecuadas es esencial para orientar la desmaterialización hacia un desarrollo sostenible integral, que promueva no solo la eficiencia material, sino también el bienestar social y ambiental. En este sentido, los incentivos fiscales se posicionan como una herramienta clave para alentar a las empresas a adoptar prácticas sostenibles. Bican y Brem [2020] destacan que estos incentivos resultan particularmente efectivos cuando están vinculados a métricas claras de desempeño ambiental y social, motivando a las empresas a demostrar su compromiso con la sostenibilidad (p. 5241). Este enfoque no solo impulsa la reducción de la huella material de las organizaciones, sino que también les permite destacar en un mercado cada vez más competitivo que valora la responsabilidad corporativa.

Además, un modelo prometedor, documentado por Martínez-Peláez *et al.* [2024], integra tres elementos fundamentales: reducciones impositivas para las empresas que logren reducir de manera significativa su huella material, subsidios dirigidos a la investigación y desarrollo de tecnologías ecoeficientes para la desmaterialización, y esquemas de certificación que validen los beneficios sostenibles de los productos y servicios digitales (p. 4450). Este enfoque integral no solo favorece la innovación empresarial, sino que también crea un marco de transparencia que permite a los consumidores tomar decisiones informadas sobre los productos que adquieren, fomentando una economía más verde y responsable.

Otro aspecto necesario en la transición hacia una economía desmaterializada es la educación. La formación en sostenibilidad digital emerge como un pilar esencial para garantizar que los ciudadanos y profesionales comprendan los desafíos y oportunidades de un mundo digitalizado. Guandalini [2022] subraya la importancia de incorporar contenidos sobre consumo digital responsable en los sistemas educativos, sugiriendo que "la alfabetización en sostenibilidad digital debería ser tan fundamental como la alfabetización tradicional" (p. 465).

Este enfoque educativo no solo prepara a las futuras generaciones para tomar decisiones responsables, sino que también fortalece la conciencia colectiva sobre el impacto ambiental de las tecnologías digitales. En este sentido, el programa francés de educación medioambiental digital, que alcanzó a 2.5 millones de estudiantes en 2023, se presenta como un ejemplo exitoso de cómo iniciativas educativas pueden tener un impacto significativo en la formación de ciudadanos responsables [Ciacci *et al.*, 2025].

Para enriquecer estas propuestas, es fundamental incorporar ejemplos de marcos regulatorios exitosos que hayan demostrado su efectividad en la implementación de prácticas sostenibles. Un caso relevante es el de las regulaciones europeas sobre la eficiencia energética en los centros de datos, que establecen normas estrictas para reducir el consumo energético y la emisión de CO<sub>2</sub>, lo que impulsa la adopción de tecnologías más limpias y eficientes [Ciacci *et al.*, 2025]. Asimismo, se pueden considerar propuestas innovadoras como incentivos fiscales para las empresas que adopten prácticas sostenibles, basados en modelos de economía circular, o programas educativos enfocados en la alfabetización digital y la sostenibilidad, como los que se implementan en varios países europeos y que han mostrado resultados positivos en la formación de una ciudadanía más consciente y activa.

### **Recomendaciones para empresas y gobiernos**

Para las organizaciones empresariales, particularmente las pymes, Melo *et al.* [2023] proponen un marco de acción basado en cuatro dimensiones: eco-diseño de productos digitales, gestión responsable del ciclo de vida tecnológico, transparencia en los impactos ambientales de la desmaterialización, y colaboración con stakeholders para mitigar efectos sociales negativos [p. 15]. Casos como el de empresas marroquíes que implementaron programas de reciclaje de dispositivos electrónicos muestran reducciones del 30% en residuos peligrosos [Moussaoui *et al.*, 2025].

A nivel gubernamental, Aktaş [2023] recomienda políticas diferenciadas según el nivel de desarrollo regional. Para economías emergentes, sugiere priorizar infraestructura digital inclusiva y programas de capacitación laboral, mientras que en economías avanzadas enfatiza la regulación de centros de datos y la promoción de energías renovables para soportar la digitalización (p. 1435). La experiencia portuguesa en desmaterialización de servicios públicos, que logró un 40% de reducción en uso de papel entre 2015-2022 [Cunha & Ferrão, 2022], ofrece valiosas lecciones para este enfoque escalonado.

### **Conclusiones**

La desmaterialización, entendida como la sustitución de recursos físicos por soluciones digitales, se posiciona como una herramienta clave para avanzar hacia la sostenibilidad. Este proceso permite reducir el consumo de materiales físicos, como papel y plásticos, optimizando recursos y disminuyendo la huella ecológica en sectores como la banca y la moda. Sin embargo, su implementación no está exenta de desafíos y paradojas que requieren un enfoque integral.

Desde una perspectiva ambiental, la desmaterialización contribuye a mitigar el cambio climático al reducir emisiones y residuos. No obstante, genera nuevos retos relacionados con el aumento del consumo energético en infraestructuras digitales, como los centros de datos, y la creciente generación de residuos electrónicos debido a la rápida obsolescencia tecnológica. Esto subraya la necesidad de transitar hacia un modelo basado en energías renovables y economía circular.

En el ámbito social, aunque mejora el acceso a servicios digitales, también puede profundizar desigualdades estructurales, especialmente en comunidades con limitada conectividad. La brecha digital sigue siendo un obstáculo significativo para garantizar una transición inclusiva hacia la digitalización. Ejemplos como M-Pesa en África o Vive Digital en Colombia destacan cómo las plataformas digitales pueden fomentar la inclusión social y económica cuando se diseñan con un enfoque equitativo.

Desde una perspectiva económica, la desmaterialización reduce costos operativos y fomenta modelos de negocio innovadores. Sin embargo, incrementa gastos asociados a la gestión de residuos tecnológicos y a la dependencia de infraestructuras costosas. La economía circular emerge como un paradigma esencial para abordar estas tensiones al promover estrategias como el ecodiseño, el reciclaje y el leasing tecnológico.

Un desafío central es la paradoja de la desmaterialización, que ocurre cuando los beneficios iniciales se ven contrarrestados por efectos rebote, como el aumento en el consumo de dispositivos electrónicos o servicios digitales. Este fenómeno evidencia que las soluciones tecnológicas no garantizan automáticamente la sostenibilidad y requieren marcos regulatorios sólidos, educación masiva sobre consumo responsable y cambios culturales hacia prácticas más conscientes.

Para maximizar los beneficios de la desmaterialización, se proponen diversas estrategias:

- Políticas públicas: Incentivos fiscales para empresas sostenibles, regulación estricta sobre eficiencia energética en centros de datos y programas educativos sobre sostenibilidad digital.
- Empresas: Adopción de ecodiseño, extensión del ciclo de vida útil de dispositivos electrónicos y colaboración con stakeholders para mitigar impactos sociales.
- Educación: Integrar contenidos sobre sostenibilidad digital en los sistemas educativos para fomentar una ciudadanía consciente.

En general, aunque la desmaterialización representa una oportunidad prometedora para avanzar hacia un desarrollo sostenible, su éxito depende de un enfoque multidimensional que equilibre los beneficios ambientales con las implicaciones sociales y económicas. La integración entre digitalización y economía circular será clave para garantizar una transición justa, equitativa y sostenible a largo plazo.

### Áreas de Investigación Futura

Se identifican tres áreas clave para futuras investigaciones:

1. Medición precisa del impacto ambiental: Desarrollar indicadores híbridos que evalúen el ciclo de vida completo de los dispositivos digitales, incluyendo extracción de materiales, consumo energético y generación de residuos.
2. Impactos sociales y económicos: Investigar cómo las políticas inclusivas pueden reducir las brechas digitales y fomentar una transformación equitativa hacia una economía digital sostenible.
3. Efecto rebote y soluciones innovadoras: Estudiar estrategias para mitigar los efectos adversos del efecto rebote mediante tecnologías emergentes como la inteligencia artificial aplicada al consumo energético.

### Referencias

- Aktaş, C. B. [2023]. [Dematerialization: Needs and Challenges](#). In *Handbook of Sustainability Science in the Future: Policies, Technologies and Education by 2050* [pp. 1427-1439]. Cham: Springer International Publishing.
- Allen, G. [2018]. [From materiality to dematerialization and back: conceptual writing in a digital age](#). *Postscript: Writing After Conceptual Art*, 233-242.
- Belas, J., Klietnik, T., Dvorsky, J., & Streimikiene, D. [2025]. [Exploring gender-based disparities in the digital transformation and sustainable development of SMEs in V4 countries](#). *Journal of Innovation & Knowledge*, 10[2], 100681.
- Belk, R. [2020]. [The changing notions of materialism and status in an increasingly dematerialized world](#). In *Research handbook on luxury branding* [pp. 2-21]. Edward Elgar Publishing.
- Bican, P. M., & Brem, A. [2020]. [Digital business model, digital transformation, digital entrepreneurship: Is there a sustainable “digital”?](#). *Sustainability*, 12[13], 5239.
- Bharath, P., & Banerjee, J. [2025]. [Dematerialization and its Role in Shaping Sustainable Futures](#).
- Broccardo, L., Zicari, A., Jabeen, F., & Bhatti, Z. A. [2023]. [How digitalization supports a sustainable business model: A literature review](#). *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122146.
- Cervantes, M., & González, M. [2024]. [Mitos de la desmaterialización digital en el contexto del desarrollo sostenible](#) *Myths of digital dematerialization in the context of sustainable development*. 2992, 40.

- Che, S., & Wang, J. [2022]. [Digital economy development and haze pollution: evidence from China](#). *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 73210–73226.
- Chen, Q., & Wang, J. [2025]. [The impact of digital economic growth and financial expansion on CO<sub>2</sub> mitigation strategies in leading emitting countries](#). *Scientific Reports*, 15, 10515.
- Ciacci, A., Ivaldi, E., Penco, L. et al. [2025]. [Measuring Digital Sustainability Paying Attention to the Economic, Social, and Environmental Dimensions: A European Perspective](#). *Social Indicators Research*, 177, 1–29.
- Coroama, V. C., Moberg, Å., & Hilty, L. M. [2015]. [Dematerialization through electronic media?](#). In *ICT innovations for sustainability* [pp. 405-421]. Springer International Publishing.
- Cunha, S., & Ferrão, P. [2022]. [Can structural changes lead to dematerialization? Lessons from the Portuguese socioeconomic metabolism between 1995 and 2017](#). *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106169.
- De Loisy, O. [2024]. [The dematerialization of art: Dead ends or new paths?](#). *Études*, [5], 93-103.
- Degrave, E. [2025]. [Politicizing the Digital World](#).
- Diadia, B. P., Tamgno, J. K., & Kora, A. D. [2022, March]. [Review of Dematerialization Models and Systems in Public Procurement](#). In *2022 5th International Conference on Networking, Information Systems and Security: Envisage Intelligent Systems in 5g//6G-based Interconnected Digital Worlds [NISS]* [pp. 1-6]. IEEE.
- Elhefnawy, N. [2023]. [The Information Age Promise of Dematerialization: A Note](#). Available at SSRN 4640042.
- Feroz, A. K., Zo, H., & Chiravuri, A. [2021]. [Digital transformation and environmental sustainability: A review and research agenda](#). *Sustainability*, 13[3], 1530.
- Fundación LAB (2024). [Observatorio Lab 2024](#).
- Gómez-Trujillo, A.M. and Gonzalez-Perez, M.A. [2022]. [Digital transformation as a strategy to reach sustainability](#). *Smart and Sustainable Built Environment*, 11[4], 1137-1162.
- Guandalini, I. [2022]. [Sustainability through digital transformation: A systematic literature review for research guidance](#). *Journal of Business Research*, 148, 456-471.
- Hadad, S., & Bratianu, C. [2019]. [Dematerialization of banking products and services in the digital era](#). *Management & Marketing*, 14[3].
- Jack, W., & Suri, T. [2014]. [Risk Sharing and Transactions Costs: Evidence from Kenya's Mobile Money Revolution](#). *American Economic Review*, 104[1], 183-223.
- Kasulaitis, B. V., Babbitt, C. W., & Krock, A. K. [2019]. [Dematerialization and the circular economy: Comparing strategies to reduce material impacts of the consumer electronic product ecosystem](#). *Journal of Industrial Ecology*, 23[1], 119-132.
- Lin, Z. [2024]. [Can digital transformation curtail carbon emissions? Evidence from a quasi-natural experiment](#). *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 782.
- Luo, S., Yimamu, N., Li, Y., Wu, H., Irfan, M., & Hao, Y. [2023]. [Digitalization and sustainable development: How could digital economy development improve green innovation in China?](#). *Business Strategy and the Environment*, 32[4], 1847-1871.
- Ma, S., Wei, W., & Li, J. [2023]. [Has the digital economy improved the ecological environment? Empirical evidence from China](#). *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 91887–91901.

- Magaudda, P. [2011]. [When materiality ‘bites back’: Digital music consumption practices in the age of dematerialization](#). *Journal of Consumer Culture*, 11[1], 15-36.
- Martínez-Peláez, R., Escobar, M. A., Félix, V. G., Ostos, R., Parra-Michel, J., García, V., ... & Mena, L. J. [2024]. [Sustainable digital transformation for SMEs: A comprehensive framework for informed decision-making](#). *Sustainability*, 16[11], 4447.
- Melo, I. C., Queiroz, G. A., Junior, P. N. A., de Sousa, T. B., Yushimito, W. F., & Pereira, J. [2023]. [Sustainable digital transformation in small and medium enterprises \[SMEs\]: A review on performance](#). *Heliyon*, 9[3].
- Mercado Libre (2024). [Mercado Libre informa los resultados financieros del cuarto trimestre y del año complete de 2024](#).
- Moussaoui, A., Batali, I., Khedid, Z. & Esskali. K. [2025]. [The Digital Shift in Moroccan SMEs: Navigating Between Digitization, Digitalization, and Digital Transformation](#). *International Journal of Strategic Management and Economic Studies [IJSMES]*, 4[1], 01–12.
- Mohamed Hashim, M., Tlemsani, I. & Duncan Matthews, R. [2022]. [A sustainable University: Digital Transformation and Beyond](#). *Education and Information Technologies*, 27, 8961–8996.
- Onyshchenko, V., Onyshchenko, S., Verhal, K., & Buriak, A. [2023]. [The energy efficiency of the digital economy](#). In *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations [ICBI 2022]* [Vol. 299, pp. 625–637]. Springer.
- Paredes-Frigolett, H., & Pyka, A. [2023]. [Global dematerialization, the renaissance of Artificial Intelligence, and the global stakeholder capitalism model of digital platforms: current challenges and future directions](#). *Journal of Evolutionary Economics*, 33[3], 671-705.
- Pearce, J. M. [2021]. [The Case for Open Source Appropriate Technology](#). *Environment, Development and Sustainability*, 23[2], 1089-1102.
- Pisano, F. [2021]. [Reducing and Apriorizing. Dematerialization and Immaterialization as Philosophical Strategies](#).
- Rieger, A. [2021]. [Does ICT result in dematerialization? The case of Europe, 2005-2017](#). *Environmental Sociology*, 7[1], 64-75.
- Rupeika-Apoga, R., & Petrovska, K. [2022]. [Barriers to sustainable digital transformation in micro-, small-, and medium-sized enterprises](#). *Sustainability*, 14[20], 13558.
- Schauman, S., Greene, S., & Korkman, O. [2023]. [Sufficiency and the dematerialization of fashion: How digital substitutes are creating new market opportunities](#). *Business Horizons*, 66[6], 741-751.
- Smil, V. [2023]. [Materials and dematerialization: making the modern world](#). John Wiley & Sons.
- Sohail, M. T., Ullah, S., Ozturk, I., & Sohail, S. [2025]. [Energy justice, digital infrastructure, and sustainable development: A global analysis](#). *Energy*, 134999.
- Somainsi, A. [2023]. [Toward dematerialization: Light, medium, environment](#). *Critical Inquiry*, 49[3], 384-405.
- Steinberger, J. K., Krausmann, F., Getzner, M., Schandl, H., & West, J. [2013]. [Development and dematerialization: an international study](#). *PLoS ONE*, 8[10], e70385.
- Taffel, S. [2024]. [Fantasies of dematerialization:\[Un\] sustainable growth and digital capitalism](#). In *Digital Technologies for Sustainable Futures* [pp. 17-31]. Routledge.

Van Campenhout, L. D. E., Frens, J. W., Overbeeke, C. J., Standaert, A., & Peremans, H. [2013]. [Physical interaction in a dematerialized world](#). *International Journal of Design*, 7[1], 1-18.

WCED [[World Commission on Environment and Development](#)]. [1987]. *Our Common Future*. Oxford University Press.

Wu, Y., Al-Duais, Z. A. M., & Peng, B. [2023]. [Towards a low-carbon society: spatial distribution, characteristics and implications of digital economy and carbon emissions decoupling](#). *Humanities and Social Sciences Communications*, 10, 761.

Zournatzidou, G., Ragazou, K., Sklavos, G., Farazakis, D., & Sariannidis, N. [2025]. [Digital Transformation and Sustainable HRM: The Challenges for an Eco-Friendly Business Continuity](#). In *Sustainability Through Green HRM and Performance Integration* [pp. 421-440]. IGI Global.

### Capítulo 3: Tecnologías emergentes como motores de desmaterialización

En las últimas décadas, la desmaterialización ha emergido como una estrategia esencial para reducir la dependencia de recursos físicos, impulsada por la transición hacia modelos digitales más eficientes y sostenibles [Müller *et al.*, 2017]. Este proceso implica la sustitución de bienes y servicios materiales por sus equivalentes digitales, lo que cobra una creciente relevancia en un contexto global marcado por la crisis climática, la escasez de recursos naturales y la presión por adoptar prácticas económicas circulares.

En este marco, las tecnologías emergentes, tales como la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT), la blockchain y la realidad extendida (XR), se posicionan como catalizadores clave de la desmaterialización, al permitir optimizar procesos, reducir residuos y mejorar la trazabilidad de los recursos [Müller, 2017].

La desmaterialización no solo responde a necesidades ambientales, sino también a exigencias económicas y sociales. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], la digitalización tiene el potencial de reducir hasta un 20% el consumo global de materiales para 2030, siempre que se implemente junto con políticas de eficiencia [Paredes-Frigolett & Pyka, 2023]. Empresas como Siemens y Tesla ya han comenzado a emplear gemelos digitales para simular procesos industriales sin necesidad de prototipos físicos, lo que les permite reducir costos y emisiones [Zhang *et al.*, 2022]. No obstante, a pesar de este claro potencial, existen vacíos significativos en la literatura, tales como los efectos rebote de la digitalización [por ejemplo, el mayor consumo energético generado por los data centers] y la escalabilidad de estas tecnologías en economías en desarrollo [Hittinger & Jaramillo, 2019].

Investigaciones como las de Rotolo *et al.* [2015] definen las tecnologías emergentes por su capacidad disruptiva, mientras que Veletsianos [2010] subraya su impacto en la educación a distancia, un área donde la desmaterialización de materiales didácticos ha permitido reducir significativamente el uso de papel. Sin embargo, como destacan Adner & Levinthal [2002], muchas de estas tecnologías enfrentan barreras de adopción, como la resistencia institucional o la falta de infraestructura adecuada. Un ejemplo claro de esta resistencia es blockchain, que, a pesar de su enorme potencial para garantizar transparencia en las cadenas de suministro, aún requiere el establecimiento de estándares regulatorios globales.

Este capítulo tiene como objetivo analizar cómo las tecnologías emergentes están acelerando la desmaterialización, abordando preguntas clave tales como: ¿Cómo están transformando la IA y el IoT sectores tradicionalmente intensivos en recursos, como la construcción o la manufactura? ¿Cuáles son los riesgos asociados a la digitalización masiva, como la huella de carbono de los data centers? ¿De qué manera pueden las políticas públicas y los modelos de negocio equilibrar innovación y sostenibilidad? Este análisis ofrece una visión integradora entre la teoría y la práctica, citando casos concretos como el uso de realidad aumentada (RA) en el mantenimiento industrial [Dhillon *et al.*, 2025] o la aplicación de impresión 3D para fabricación aditiva [Loy & Novak, 2021], que permiten reducir desechos hasta un 60% en comparación con métodos tradicionales.

El capítulo se organiza en tres ejes principales: las tecnologías habilitadoras, que incluyen la IA, el IoT y su impacto en la eficiencia energética [Li *et al.*, 2023]; los casos de éxito, como la desmaterialización de documentos vehiculares mediante IoT y los desafíos futuros, que involucran la regulación de activos digitales y la mitigación de externalidades negativas [Gast, 2020]. La relevancia práctica de este análisis radica en proporcionar un marco que permita a gobiernos y empresas priorizar inversiones en tecnologías alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 12 [Producción y Consumo Responsable].

Un estudio de Kyriakarakos [2025] muestra que la IA puede mejorar la eficiencia energética hasta un 35% en sectores industriales. La Unión Europea estima que la economía circular digital generará 1,2 billones de euros anuales para 2030. Este análisis no solo enriquece el debate académico sobre las tecnologías emergentes, sino que también proporciona herramientas concretas para diseñar estrategias de innovación responsable, donde la tecnología sirva como puente hacia un futuro post-material.

## Tecnologías emergentes: definición y características

Las tecnologías emergentes han sido definidas de diversas maneras, dependiendo del contexto y el enfoque disciplinario. Rotolo *et al.* [2015] las caracterizan como innovaciones que se distinguen por su novedad radical, un crecimiento relativamente rápido, y un impacto significativo en los sistemas productivos y sociales, con una incertidumbre sobre su evolución futura. Esta definición resalta el dinamismo y la capacidad disruptiva de estas tecnologías, sugiriendo que su aparición puede transformar de manera profunda los sectores económicos y sociales.

De manera similar, se reconoce el origen en nuevos conocimientos o aplicaciones innovadoras, su capacidad para desarrollar nuevas capacidades rápidamente, su impacto sistémico a nivel económico y social, su potencial para abordar problemas globales, y su capacidad para disrupir industrias existentes o crear nuevas. Esta definición se enfoca en la capacidad de estas tecnologías para transformar no solo industrias, sino también para resolver problemas globales.

Veletsianos [2010], por su parte, plantea una definición centrada en el ámbito educativo, describiendo las tecnologías emergentes como herramientas o conceptos que pueden ser nuevos o preexistentes, pero que, en un contexto particular, generan cambios significativos debido a su capacidad para reconfigurar prácticas tradicionales. Según esta perspectiva, la novedad de la tecnología no es un requisito indispensable, sino que su potencial disruptivo depende de cómo interrumpe las prácticas establecidas dentro de un sector específico, como el educativo.

Además, Halaweh [2013] argumenta que una tecnología puede ser considerada emergente no necesariamente por ser nueva, sino por su capacidad para generar cambios radicales en contextos específicos. Este enfoque pone énfasis en la importancia del contexto y sugiere que las tecnologías emergentes tienen un carácter dinámico y en evolución, sin una vida útil fija, lo que les permite adaptarse a nuevas necesidades.

Por último, Startupeable [2023] define las tecnologías emergentes como aquellas en desarrollo o que se espera estén disponibles en los próximos cinco a diez años, destacando tanto la temporalidad como el impacto esperado en la sociedad y la economía. Esta definición subraya la previsibilidad temporal y el potencial transformador de estas tecnologías en un futuro cercano.

### Análisis de las definiciones

A partir de estas definiciones, es evidente que el concepto de tecnologías emergentes es amplio y varía según el enfoque y la disciplina. Aunque todas las definiciones coinciden en que estas tecnologías tienen un gran potencial disruptivo y transformador, las diferencias se encuentran principalmente en la manera en que se conceptualiza su novedad y su impacto.

En cuanto a la novedad, Rotolo *et al.* [2015] y el Foro Económico Mundial [2010] subrayan que la radicalidad de la novedad es un atributo esencial de las tecnologías emergentes. Estas tecnologías se caracterizan por su capacidad para transformar los paradigmas establecidos en sectores económicos, sociales y tecnológicos. Sin embargo, Veletsianos [2010] y Halaweh [2013] sugieren que la novedad no es un requisito indispensable para que una tecnología sea considerada emergente.

En su lugar, destacan el contexto específico en el que se introduce la tecnología, considerando que una innovación puede ser emergente si genera cambios significativos, incluso si no es completamente nueva. Esta diferencia resalta la importancia de la contextualización y la capacidad de las tecnologías para disrupir prácticas existentes. En relación con el impacto sistémico, todas las definiciones coinciden en que las tecnologías emergentes tienen un potencial transformador significativo, pero el alcance de este impacto varía según la definición.

Sin embargo, se debe reconocer la existencia de los problemas globales que estas tecnologías pueden abordar, como el cambio climático o las crisis sanitarias. Por otro lado, Veletsianos [2010] aplica esta noción al ámbito educativo, sugiriendo que las tecnologías emergentes tienen un impacto disruptivo en la forma en que se imparten los conocimientos y se gestionan las prácticas pedagógicas. Así, el impacto de estas tecnologías no es solo económico, sino que puede ser cultural, social y educativo.

En cuanto a la temporalidad, Startupeable [2023] establece un marco temporal más explícito, situando las tecnologías emergentes en un desarrollo o adopción dentro de los próximos cinco a diez años. Esto implica que las tecnologías emergentes tienen un horizonte temporal más corto en comparación con definiciones como la de Halaweh [2013], que considera que estas tecnologías no tienen una vida útil fija y que su evolución puede ocurrir de manera indefinida. La temporalidad juega un papel crucial en la anticipación de los efectos de estas tecnologías y su capacidad para marcar una diferencia tangible en el corto o largo plazo.

Por último, la incertidumbre sobre el desarrollo futuro de las tecnologías emergentes es un tema destacado en las definiciones de Rotolo *et al.* [2015]. Ambas fuentes resaltan que las tecnologías emergentes están marcadas por un alto grado de incertidumbre debido a los factores impredecibles que influyen en su evolución, como avances técnicos, regulaciones gubernamentales y aceptación por parte del mercado. Este punto es relevante porque distingue a las tecnologías emergentes de aquellas ya consolidadas, cuyas trayectorias de desarrollo son mucho más claras.

En general, el concepto de tecnologías emergentes se caracteriza por su diversidad y flexibilidad, lo que hace difícil establecer una definición única que abarque todas sus dimensiones. Las definiciones revisadas ponen de manifiesto la importancia de la novedad, el contexto, el impacto sistémico y la incertidumbre como aspectos clave para entender estas tecnologías. Mientras que algunas definiciones se centran en la novedad y el impacto global, otras subrayan la capacidad de las tecnologías para generar cambios significativos en contextos específicos, como la educación.

En todos los casos, estas tecnologías tienen un potencial disruptivo, pero su evolución y adopción son altamente inciertas y dependen de factores contextuales y temporales. Por tanto, una definición integradora debe reconocer la capacidad transformadora de las tecnologías emergentes, su dinamismo, su adaptabilidad y la incertidumbre inherente a su desarrollo y adopción.

## **Características**

Las tecnologías emergentes destacan en el panorama actual de la innovación debido a tres características fundamentales que las diferencian y potencian su impacto transformador. Estas características son su alta capacidad de innovación, su aplicabilidad transversal y su potencial para mejorar la eficiencia, accesibilidad y sostenibilidad. A continuación, se amplía el análisis de cada una de estas dimensiones, integrando perspectivas clave de la literatura y ejemplos concretos.

### **Alta capacidad de innovación**

La capacidad de innovación es uno de los rasgos más distintivos de las tecnologías emergentes, permitiéndoles transformar industrias y generar soluciones disruptivas. Rotolo *et al.* [2015] destacan que estas tecnologías no solo introducen mejoras incrementales, sino que redefinen procesos y modelos de negocio. Adner y Levinthal [2002] describen este fenómeno como "destrucción creativa", un proceso en el cual las tecnologías emergentes desplazan sistemas establecidos al ofrecer alternativas más eficientes o adaptadas a nuevas necesidades.

Por ejemplo, la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado sectores como la manufactura, donde Waltersmann *et al.* [2021] documentan incrementos del 40% en eficiencia productiva gracias a la optimización de recursos y procesos.

Esta capacidad innovadora no se limita a avances técnicos, sino que también abarca cambios en la manera en que las organizaciones operan y se relacionan con sus entornos. Por ejemplo, el blockchain no solo ha transformado las finanzas mediante criptomonedas, sino que ha abierto nuevas posibilidades en la gestión logística, garantizando trazabilidad y transparencia en las cadenas de suministro [Tasca, 2020]. Este nivel de innovación subraya cómo estas tecnologías son motores clave del cambio estructural en múltiples sectores.

## Aplicabilidad transversal

Otra característica esencial es la aplicabilidad transversal de estas tecnologías, es decir, su capacidad para impactar diversos sectores simultáneamente. Veletsianos [2010] destaca cómo herramientas como la realidad virtual han transformado tanto el ámbito educativo como el sanitario. De manera similar, el Internet de las Cosas (IoT) se ha integrado en campos tan variados como la salud y la construcción sostenible [Abdalah *et al.*, 2025; Keles *et al.*, 2025]. Esta versatilidad permite que una misma tecnología sea adaptada a contextos específicos para resolver problemas únicos.

La transversalidad también fomenta sinergias entre sectores tradicionalmente desconectados. Por ejemplo, los sensores IoT utilizados en ciudades inteligentes no solo mejoran la eficiencia energética, sino que también contribuyen a reducir desigualdades al optimizar el acceso a servicios básicos como transporte público o infraestructura educativa [Riva Sanseverino *et al.*, 2017]. Este enfoque multidimensional amplifica el impacto positivo de estas tecnologías al permitir soluciones integradas y adaptables.

## Potencial para mejorar eficiencia, accesibilidad y sostenibilidad

Definitivamente, las tecnologías emergentes tienen un potencial intrínseco para generar beneficios significativos en términos de eficiencia operativa, accesibilidad social y sostenibilidad ambiental. Li *et al.* [2023] señalan cómo la IA permite optimizar el uso de recursos energéticos mediante sistemas inteligentes que ajustan el consumo en tiempo real. Además, Kyriakarakos [2025] destaca cómo estas herramientas contribuyen a alcanzar objetivos de neutralidad de carbono al reducir emisiones y mejorar la gestión de recursos.

En términos sociales, tecnologías como la realidad extendida están democratizando el acceso a servicios esenciales como educación y salud. Dabass *et al.* [2025] documentan cómo estas herramientas han mejorado significativamente la formación médica mediante simulaciones inmersivas que reducen costos y aumentan la disponibilidad de capacitación especializada. En paralelo, estrategias como la desmaterialización —el reemplazo de productos físicos por soluciones digitales— están reduciendo el impacto ambiental asociado con procesos industriales tradicionales [Müller *et al.*, 2017; Loy & Novak, 2021].

En conjunto, estas características posicionan a las tecnologías emergentes como pilares fundamentales para enfrentar desafíos globales como el cambio climático, la desigualdad social y la transición hacia economías circulares. Sin embargo, su implementación requiere marcos éticos y regulatorios robustos que garanticen su desarrollo responsable. Como advierten Gast [2020] y Tasca & Piselli [2019], es crucial abordar cuestiones relacionadas con privacidad de datos, equidad en el acceso y sostenibilidad energética para maximizar los beneficios sociales y minimizar riesgos potenciales. Este análisis subraya que las tecnologías emergentes no solo representan avances técnicos aislados, sino que constituyen herramientas integrales capaces de transformar profundamente los sistemas socioeconómicos actuales cuando se implementan estratégicamente.

## Tecnologías como catalizadores de la desmaterialización

La desmaterialización, entendida como la reducción del uso de recursos físicos mediante la sustitución por soluciones digitales, ha sido considerada una estrategia prometedora para la conservación de recursos naturales y la sostenibilidad ambiental [Müller *et al.*, 2017; dos Santos *et al.*, s.f.]. En este proceso, las tecnologías emergentes actúan como catalizadores clave, acelerando la transición de modelos productivos físicos a digitales [Rotolo *et al.*, 2015; Veletsianos, 2010].

A medida que sectores económicos migran hacia lo digital, la plataforma surge como un nuevo paradigma organizativo que estructura esta transición. Este concepto se refiere a la creación de infraestructuras digitales que facilitan la interacción entre múltiples actores —usuarios, proveedores, algoritmos y sistemas— configurando redes dinámicas de valor [Paredes-Frigolett & Pyka, 2023]. Las plataformas digitales no solo habilitan nuevas formas de intercambio y colaboración, sino que también consolidan el entorno técnico para la integración de tecnologías disruptivas.

En este contexto, las tecnologías disruptivas son aquellas innovaciones que no solo mejoran procesos existentes, sino que transforman radicalmente sectores industriales, crean nuevos mercados y reconfiguran los modelos de negocio tradicionales [Adner & Levinthal, 2002]. Estas tecnologías modifican la interacción social, la gestión de datos, y la estructura misma de la producción y el consumo. Ejemplos relevantes incluyen la Inteligencia Artificial, el Internet de las Cosas (IoT), blockchain, la Realidad Virtual/Aumentada (RV/RA) y el Big Data, todas con un alto potencial para acelerar la desmaterialización al ofrecer soluciones digitales en sustitución de componentes físicos [Waltersmann *et al.*, 2021].

La plataformización articula estas tecnologías disruptivas dentro de entornos digitales cohesivos, como plataformas de servicios en la nube, marketplaces, sistemas de ciudades inteligentes o espacios educativos virtuales [Veletsianos, 2010]. Estas plataformas no solo permiten la centralización de servicios e información, sino que facilitan la interoperabilidad tecnológica, promoviendo sinergias entre soluciones digitales que aumentan la eficiencia, escalabilidad y sostenibilidad del sistema [Sun *et al.*, 2025].

Así, la plataformización actúa como un marco integrador que permite que estas tecnologías se interrelacionen y contribuyan de manera conjunta a la reducción del uso de recursos materiales. Por ejemplo, la combinación de Big Data e Inteligencia Artificial puede optimizar la gestión energética en tiempo real; el IoT puede reemplazar inspecciones físicas mediante sensores remotos; blockchain puede garantizar trazabilidad digital sin necesidad de documentación física; y la RV/RA puede sustituir entornos presenciales en procesos educativos o industriales, reduciendo la necesidad de transporte o infraestructura física [Kyriakarakos, 2025].

En efecto, el ecosistema digital basado en plataformas interconectadas y tecnologías disruptivas no solo está redefiniendo los modelos de organización económica y social, sino que se presenta como una vía viable para avanzar hacia una economía más liviana en recursos, resiliente y adaptativa ante los retos del cambio climático y la escasez de recursos naturales. Ello se sustenta en las interrelaciones entre cinco tecnologías disruptivas —Inteligencia Artificial [IA], Internet de las Cosas (IoT), blockchain, Realidad Virtual/Aumentada (RV/RA) y Big Data— y su impacto en la desmaterialización dentro del marco de plataformas digitales.

### **Inteligencia Artificial [IA] y Automatización**

La IA impulsa la desmaterialización al automatizar tareas que antes requerían infraestructura física, como la gestión documental o la atención al cliente mediante asistentes virtuales. Por ejemplo, los sistemas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) eliminan la necesidad de impresión de documentos, mientras que la robótica cognitiva optimiza procesos industriales, reduciendo desperdicios [Sun *et al.*, 2025]. Por otro lado, la IA se interconecta con el Big Data para predecir demandas y ajustar la producción, evitando sobrestock.

En entornos basados en plataformas, estas capacidades permiten escalabilidad, entendida como la posibilidad de ampliar el alcance y la capacidad de un sistema o servicio —como la atención a más usuarios o la gestión de mayores volúmenes de datos— sin que ello implique un aumento lineal de los recursos físicos o humanos necesarios [Adner & Levinthal, 2002]. Así, también se posibilita la personalización masiva, es decir, la adaptación de servicios a las necesidades individuales de millones de usuarios simultáneamente, todo sin incrementar proporcionalmente el consumo de recursos.

### **Internet de las Cosas [IoT] y eficiencia operativa**

El IoT facilita la desmaterialización mediante sensores y dispositivos interconectados que monitorean y gestionan recursos en tiempo real. Conceptualmente, el Internet de las Cosas se refiere a una red de objetos físicos —vehículos, edificios, electrodomésticos, maquinaria industrial, entre otros— equipados con tecnología que les permite recopilar, intercambiar y analizar datos a través de internet, generando un entorno inteligente y reactivo [Atzori, Iera & Morabito, 2010]. Esta conectividad transforma los procesos tradicionales al ofrecer visibilidad continua sobre el estado y desempeño de activos, permitiendo decisiones informadas y automáticas.

En smart cities, por ejemplo, los sistemas de iluminación adaptativa reducen el consumo energético al responder dinámicamente a la presencia de personas o vehículos [Riva Sanseverino *et al.*, 2017], mientras que en la agricultura, los sensores IoT permiten riego de precisión, minimizando el uso de agua sin afectar el rendimiento [Kaur, 2024].

Sin embargo, como señala Hittinger y Jaramillo [2019], el IoT también puede incrementar el consumo energético si no se diseña con criterios de sostenibilidad, dado que cada nodo conectado requiere energía para operar, transmitir y procesar datos. En un ecosistema de plataforma, el IoT se convierte en una capa de datos en tiempo real que nutre sistemas de decisión inteligentes, habilitando automatizaciones complejas, mantenimiento predictivo y asignación eficiente de recursos.

### **Blockchain y digitalización segura**

La tecnología blockchain - o cadena de bloques - es un sistema de registro descentralizado y distribuido que almacena información de forma segura, transparente e inalterable. Cada bloque contiene un conjunto de transacciones verificadas y conectadas entre sí mediante criptografía, eliminando la necesidad de una autoridad central [Nakamoto, 2008; Yli-Huumo *et al.*, 2016]. Esta arquitectura permite gestionar transacciones de manera autónoma mediante contratos inteligentes y registros verificables, lo que reduce significativamente el uso de recursos físicos asociados a procesos burocráticos, papel, almacenamiento documental o certificaciones presenciales.

Desde la perspectiva de la desmaterialización, blockchain juega un papel importante al sustituir infraestructuras físicas tradicionales con soluciones digitales automatizadas. Por ejemplo, en la logística, permite rastrear envíos y verificar el origen de productos sin necesidad de documentos impresos; en el sector público, posibilita la implementación de identidades digitales descentralizadas, eliminando el uso de tarjetas, certificados físicos y trámites presenciales.

Su interacción con el Internet de las Cosas (IoT) amplifica este potencial. Sensores y dispositivos conectados generan datos en tiempo real que, al integrarse con blockchain, garantizan la trazabilidad segura y transparente de materiales, productos o recursos energéticos. Esta sinergia es clave en modelos de economía circular, donde se busca extender la vida útil de los productos y optimizar el reciclaje mediante información confiable sobre su ciclo de vida [Giovanardi *et al.*, 2023; Reyna *et al.*, 2018].

En entornos de plataforma digital, blockchain refuerza la confianza entre actores distribuidos - usuarios, proveedores, dispositivos - al asegurar que la información compartida es veraz, inmutable y verificable sin intermediarios. Esto reduce la dependencia de estructuras materiales de control, como auditorías físicas o certificaciones impresas, promoviendo una gestión más eficiente, ágil y desmaterializada de los procesos.

### **Realidad Virtual/Aumentada [RV/RA] y simulación**

La Realidad Virtual [RV] es una tecnología que crea entornos completamente simulados, generados por computadora, en los que los usuarios pueden interactuar mediante dispositivos como visores, guantes hápticos o sensores de movimiento. Por su parte, la Realidad Aumentada (RA) superpone elementos digitales —como imágenes, sonidos o datos— sobre el mundo físico en tiempo real, a través de cámaras, smartphones o gafas inteligentes [Azuma, 1997; Milgram & Kishino, 1994]. Ambas tecnologías conforman lo que se denomina realidad extendida [XR] y están transformando prácticas en sectores como la arquitectura, la educación, la medicina o la industria manufacturera.

En términos de desmaterialización, RV y RA permiten sustituir objetos físicos y procesos presenciales por simulaciones digitales, lo que reduce la necesidad de materiales tangibles, transporte o infraestructura física. Por ejemplo, en el ámbito de la arquitectura y la ingeniería, herramientas como Building Information Modeling (BIM) integradas con RA permiten visualizar y modificar modelos tridimensionales de edificaciones sin recurrir a maquetas físicas o visitas de obra [Loy & Novak, 2021]. Esto no solo agiliza los procesos de diseño, sino que reduce significativamente el uso de insumos como papel, cartón, madera o polímeros.

En el campo educativo, los laboratorios virtuales permiten a los estudiantes realizar experimentos de física, química o biología sin utilizar reactivos reales, aparatos costosos o entornos peligrosos [Crogman *et al.*, 2025]. Así, la RV ofrece una alternativa sostenible que democratiza el acceso al conocimiento práctico y técnico. Asimismo, en áreas como la medicina o la aviación, la simulación inmersiva con RV permite entrenamientos complejos sin utilizar equipos reales ni exponer a personas o materiales a riesgos innecesarios [Freina & Ott, 2015].

No obstante, estas tecnologías requieren hardware especializado - visores, sensores, procesadores gráficos potentes -, lo que puede limitar su adopción en contextos con restricciones económicas o brechas digitales. Aun así, su integración en plataformas colaborativas y educativas facilita el acceso remoto, la distribución de contenidos y la personalización de experiencias, disminuyendo la necesidad de desplazamientos físicos, impresiones o instalaciones temporales. En efecto, la RV y la RA contribuyen a la desmaterialización al sustituir prácticas tradicionalmente materiales por experiencias digitales inmersivas, potenciando la eficiencia y sostenibilidad en múltiples sectores sin comprometer la calidad de la experiencia o el aprendizaje.

### **Big Data y optimización de recursos**

Big Data se refiere al proceso de recopilar, almacenar y analizar grandes volúmenes de datos, que provienen de diversas fuentes, como interacciones digitales, sensores IoT, redes sociales y transacciones comerciales. La capacidad de Big Data para identificar patrones, tendencias y comportamientos en tiempo real permite tomar decisiones más informadas, automatizadas y eficaces, lo que desmaterializa muchos procesos que tradicionalmente requerían operaciones físicas o manuales. A través del análisis masivo de datos, las empresas y organizaciones pueden reducir la dependencia de recursos físicos, optimizando operaciones y eliminando ineficiencias.

Un ejemplo claro de esta desmaterialización se observa en el sector retail, donde el análisis predictivo de datos de consumo puede predecir tendencias de compra y ajustar los inventarios en tiempo real, evitando así la acumulación de productos obsoletos o excedentes. Esto no solo reduce el espacio de almacenamiento requerido para los inventarios, sino que también permite a las empresas reducir el uso de transporte, empaques y recursos materiales asociados a la producción de bienes no deseados.

En el ámbito de la salud, Big Data se utiliza para optimizar diagnósticos médicos a través de algoritmos de machine learning que analizan grandes cantidades de datos históricos, genómicos y clínicos. Esto permite realizar diagnósticos precisos sin necesidad de pruebas redundantes o costosas [Bickley *et al.*, 2025].

En lugar de depender de exploraciones físicas o repetidas, los sistemas inteligentes pueden aprender patrones y hacer recomendaciones, desmaterializando la necesidad de procedimientos invasivos o de laboratorio. La sinergia entre Big Data y IoT es especialmente evidente en sectores como la logística inteligente. Los dispositivos IoT, como sensores en vehículos, almacenes y máquinas, generan constantemente grandes volúmenes de datos en tiempo real.

Estos datos se pueden analizar mediante algoritmos de Big Data para optimizar rutas de entrega, prever la demanda de productos y gestionar inventarios dinámicamente, todo sin la necesidad de intervención humana o registros físicos [Zhang *et al.*, 2022]. Por ejemplo, en el caso de los vehículos autónomos en logística, los sensores IoT generan datos de ubicación, velocidad, estado del vehículo y condiciones del tráfico, que luego son procesados por sistemas de Big Data para tomar decisiones automatizadas, reduciendo la dependencia de documentos físicos, mapas, informes manuales y gestión de inventarios físicos.

Así mismo, la sinergia entre Big Data y IoT también se puede observar en la gestión de la energía en smart grids [redes eléctricas inteligentes], donde los sensores IoT recopilan datos sobre el consumo de energía de cada hogar o industria, y el análisis de Big Data permite ajustar en tiempo real la distribución y optimización de los recursos energéticos. Esto elimina la necesidad de infraestructuras físicas de medición y gestión manual de consumos, facilitando la transición hacia sistemas de energía más sostenibles y eficientes.

En el contexto de la plataformización, Big Data actúa como el insumo fundamental para el desarrollo de servicios inteligentes, como las recomendaciones personalizadas en plataformas de streaming [como Netflix] o en marketplaces en línea [como Amazon]. Estos sistemas utilizan el análisis de datos para ofrecer productos o servicios altamente específicos y adaptados a las preferencias de cada usuario, sin necesidad de almacenar físicamente inventarios de productos o realizar operaciones manuales de recomendación.

Consecuentemente, el Big Data no solo facilita la optimización de recursos y la toma de decisiones inteligentes, sino que también juega un rol clave en la desmaterialización de procesos operativos y comerciales. Su integración con tecnologías como IoT permite que las decisiones se basen en datos en tiempo real, lo que reduce la necesidad de recursos materiales y humanos, optimiza la eficiencia operativa y habilita sistemas más sostenibles.

### **Interrelaciones tecnológicas y dinámica de plataforma**

El concepto de plataformización en el contexto de tecnologías emergentes subraya cómo las diversas tecnologías disruptivas no operan de manera aislada, sino que se articulan dentro de plataformas digitales integradas que permiten una mayor desmaterialización y optimización de recursos [Boeva *et al.*, 2023]. Estas plataformas permiten que las tecnologías como IA, IoT, Blockchain, RV/RA, y Big Data interactúen de manera sinérgica, generando nuevos modelos de negocio, eficiencia operativa y experiencias innovadoras. A continuación, se amplía el análisis de algunas interrelaciones clave entre estas tecnologías, con ejemplos adicionales y nuevas referencias.

#### **IA + IoT: Mantenimiento Predictivo y Eficiencia Operativa**

La combinación de Inteligencia Artificial [IA] y Internet de las Cosas (IoT) tiene un impacto transformador en sectores como la manufactura y la gestión de infraestructuras. Los sensores IoT generan datos en tiempo real sobre el estado de las máquinas, lo que permite que los algoritmos de IA analicen esta información y realicen predicciones sobre cuándo una máquina podría necesitar mantenimiento. Este tipo de enfoque de mantenimiento predictivo reduce la necesidad de intervenciones físicas frecuentes y el reemplazo de piezas, minimizando la desmaterialización al eliminar la redundancia y el desperdicio [Abdalah *et al.*, 2025]. Por ejemplo, los sensores IoT en fábricas pueden monitorear equipos industriales, y la IA puede prever la necesidad de reparaciones antes de que se produzcan fallos costosos, optimizando la producción sin aumentar los recursos físicos. Además, esta interacción permite una mayor eficiencia energética y reducción de desperdicios materiales en procesos industriales.

#### **Blockchain + Realidad Virtual/Aumentada (RV/RA): Certificación Digital de Activos en el Metaverso**

La interrelación entre Blockchain y RV/RA juega un papel clave en la creación de economías digitales y la desmaterialización de activos físicos a través de la certificación digital. Los Tokens No Fungibles [NFTs], que operan sobre blockchain, permiten la propiedad y certificación de activos digitales dentro de entornos virtuales, como el metaverso. A través de los NFTs, los artistas, coleccionistas y empresas pueden asegurar la autenticidad y propiedad de objetos digitales, como arte, música o bienes virtuales en un entorno de RV/RA [Sidorova, 2025]. Estos activos, que antes existían únicamente en formas físicas o como copias tangibles, ahora pueden intercambiarse, comprarse y venderse de forma digital sin la necesidad de infraestructura física. Esta capacidad de sustituir activos físicos por representaciones digitales interactivas contribuye significativamente a la desmaterialización.

#### **Big Data + Realidad Aumentada [RA]: Modelización ambiental y sostenibilidad**

La integración de Big Data y Realidad Aumentada (RA) ofrece enormes oportunidades en sectores como la gestión ambiental y la educación. Plataformas como Google Earth Engine, que utilizan datos satelitales y análisis de Big Data, permiten modelar los impactos ambientales y visualizar los efectos del cambio climático mediante RA [Wu *et al.*, 2025]. Esto no solo facilita la comprensión de fenómenos complejos, sino que también reduce la necesidad de experimentos físicos o de construcción de modelos físicos en el terreno. Las organizaciones pueden simular escenarios en tiempo real, predecir desastres naturales y planificar mejor la gestión de recursos, lo que a su vez reduce el consumo de materiales físicos en la toma de decisiones sobre el uso del suelo y la planificación urbana.

## **Plataformización como facilitadora de la desmaterialización**

La plataformización de estas tecnologías permite la creación de ecosistemas interconectados donde los recursos físicos son progresivamente sustituidos por flujos de datos, servicios en la nube y objetos digitales [Boeva *et al.*,2023]. Las plataformas digitales sirven como infraestructura común donde se integran y optimizan estas tecnologías disruptivas. Al integrar tecnologías como la IA, IoT, Blockchain, Big Data y RA en una sola plataforma digital, las organizaciones no solo mejoran su eficiencia, sino que también habilitan nuevas formas de interacción y negocio que reducen la necesidad de recursos físicos.

Por ejemplo, en el contexto de la industria automotriz, los sistemas de plataformas inteligentes pueden integrar sensores IoT para monitorear el rendimiento de los vehículos, utilizar Big Data para analizar patrones de consumo y comportamiento de los usuarios, y usar IA para predecir las necesidades de mantenimiento o mejora en el diseño del vehículo. Además, el Blockchain puede ser utilizado para gestionar el historial de propiedad y reparación del automóvil, mientras que las plataformas de RA pueden ofrecer experiencias inmersivas para probar vehículos sin necesidad de tener modelos físicos disponibles.

### **Energía inteligente**

Las plataformas de gestión de energía inteligente, como las smart grids [redes eléctricas inteligentes], representan un ejemplo clave de desmaterialización a través de la plataformización. Estas plataformas integran tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) para monitorear y gestionar el consumo energético en tiempo real mediante sensores distribuidos que recogen datos sobre el uso de energía en viviendas, edificios y fábricas. A través del análisis de Big Data, se pueden identificar patrones de consumo y optimizar la distribución de recursos energéticos, mejorando la eficiencia y reduciendo desperdicios.

Además, la Inteligencia Artificial (IA) juega un rol fundamental al predecir picos de demanda energética y ajustar la oferta de manera automatizada sin necesidad de grandes infraestructuras físicas de almacenamiento de energía, como centrales eléctricas o grandes baterías. Este enfoque permite que los recursos se gestionen de forma más eficiente, con menos inversión en infraestructura física, y fomenta un uso más sostenible de la energía. En lugar de depender de instalaciones físicas para la distribución y almacenamiento de energía, la gestión se hace de forma digitalizada y adaptativa.

### **Educación virtual**

En el ámbito educativo, la plataformización también contribuye significativamente a la desmaterialización a través de plataformas de educación virtual. El uso de tecnologías como Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) permite que los estudiantes participen en experiencias de aprendizaje interactivas sin necesidad de laboratorios físicos o materiales tangibles [Boeva *et al.*,2023]. Por ejemplo, en lugar de realizar experimentos de química que requieren productos químicos costosos y potencialmente peligrosos, los estudiantes pueden interactuar con simulaciones virtuales que replican los experimentos de forma segura y accesible.

Asimismo, la integración de Big Data en estas plataformas permite recopilar información detallada sobre el desempeño de los estudiantes, lo que facilita la personalización de las experiencias educativas. Los algoritmos de Big Data pueden analizar el progreso de los estudiantes y adaptar el contenido de aprendizaje a sus necesidades individuales, mejorando la efectividad educativa. Este enfoque reduce la necesidad de materiales físicos como libros, instrumentos y otros recursos tangibles, mientras proporciona una experiencia educativa más dinámica y accesible.

Estos ejemplos ilustran cómo la interconexión de tecnologías emergentes dentro de plataformas digitales no solo mejora la eficiencia y sostenibilidad, sino que también minimiza el uso de recursos físicos, facilitando un entorno más flexible y digital.

## Paradojas y retos de la desmaterialización

La desmaterialización no está exenta de paradojas. Como advierte Müller *et al.* [2017], la digitalización puede generar efectos rebote, como el aumento del consumo energético en centros de datos. Además, la obsolescencia tecnológica acelera la generación de residuos electrónicos, lo que exige enfoques de economía circular [Kandasamy *et al.*, 2025]. La plataformización, si bien ofrece eficiencia, también centraliza poder en pocas corporaciones, lo que impone desafíos de gobernanza y regulación [Boeva *et al.*, 2023].

La convergencia de tecnologías disruptivas bajo el paraguas de la plataformización está transformando modelos productivos hacia una economía desmaterializada. No obstante, su éxito depende de diseños sostenibles, marcos regulatorios adecuados y gobernanza tecnológica que equilibren innovación e impacto ambiental [Paredes-Frigolett & Pyka, 2023]. Ejemplos como las ciudades inteligentes o la manufactura aditiva [Loy & Novak, 2021] ilustran su potencial, aunque requieren una visión holística para evitar externalidades negativas. Las plataformas digitales, más que meros entornos tecnológicos, se consolidan como arquitecturas sociotécnicas clave para catalizar esta transición hacia lo post-material.

## Impacto catalizador de las tecnologías emergentes: De la innovación a la sostenibilidad

Las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IoT) y las energías renovables avanzadas, están desempeñando un papel fundamental en la aceleración de la sostenibilidad global. Estas tecnologías permiten una optimización significativa de procesos que tradicionalmente han dependido de recursos físicos y han tenido un impacto ambiental considerable, como la producción de energía, la gestión de residuos y el transporte. Por ejemplo, la digitalización de la industria energética ha permitido una mayor eficiencia en el uso de los recursos, reduciendo tanto el consumo como las emisiones de carbono mediante el uso de redes inteligentes y fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica.

Sin embargo, para aprovechar su pleno potencial, es necesario evaluar estas tecnologías desde una perspectiva crítica, que no solo resalte sus beneficios inmediatos, sino también sus limitaciones ecológicas. Las tecnologías emergentes, a pesar de sus avances, pueden tener un impacto ambiental oculto debido a la extracción de minerales raros para su fabricación, el consumo energético asociado con su infraestructura y la generación de desechos electrónicos.

De este modo, la transición hacia un futuro sostenible mediante el uso de estas tecnologías debe estar acompañada de un enfoque holístico que considere no solo su eficiencia en el uso de recursos, sino también los costos ambientales a largo plazo, promoviendo una verdadera sostenibilidad que contemple la economía circular, el reciclaje y la gestión responsable de los residuos tecnológicos.

## Reducción del Uso de Materiales Físicos

Las tecnologías emergentes han impulsado la desmaterialización, disminuyendo la dependencia de materiales físicos. Innovaciones como la Inteligencia Artificial (IA) y el blockchain han transformado sectores como el legal y financiero al eliminar la necesidad de documentos en papel. Los contratos inteligentes basados en blockchain han reducido el uso de recursos administrativos hasta un 30%, mientras que la digitalización de archivos mediante IA ha disminuido globalmente la demanda de papel en un 15% desde 2020 [Waltersmann *et al.*, 2021].

Además, la fabricación aditiva (impresión 3D) ha optimizado el uso de materiales, evitando desperdicios asociados a la producción tradicional [Loy & Novak, 2021]. Estos avances contribuyen a una economía menos dependiente de los recursos físicos, favoreciendo una mayor sostenibilidad mediante la digitalización y eficiencia.

## Reducción de Emisiones y Optimización de Procesos

La digitalización ha tenido un impacto positivo en la reducción de emisiones y en la optimización de procesos. Las ciudades inteligentes, al integrar el Internet de las Cosas ([IoT] y Big Data, han logrado reducir las emisiones en un 25% mediante sistemas de movilidad adaptativa y gestión energética predictiva. Asimismo, en el sector logístico, los algoritmos de IA optimizan las rutas de transporte, disminuyendo el consumo de combustible en un 20% [Sun *et al.*, 2025].

Sin embargo, Hittinger y Jaramillo [2019] advierten que el aumento del consumo energético en los centros de datos podría contrarrestar estos beneficios a menos que se utilicen fuentes de energía renovables. Este escenario resalta la necesidad de políticas regulatorias que promuevan la adopción de energías limpias y sostenibles.

## Servitización y nuevas formas de valor

El concepto de servitización, que reemplaza productos físicos por servicios digitales, ha reducido la producción de productos tangibles y, por ende, la generación de residuos. Plataformas como Spotify y Netflix han reducido la necesidad de CDs y DVDs, evitando la creación de millones de toneladas de plástico anualmente [Miller, 2019]. En educación, la Realidad Virtual (RV) ha permitido realizar simulaciones sin el uso de materiales químicos, reduciendo el consumo de recursos en universidades como Stanford en un 40% [Crogman *et al.*, 2025]. Sin embargo, el acceso a estas tecnologías depende de una infraestructura digital adecuada, lo que constituye un desafío en regiones con brechas tecnológicas.

## Limitaciones y paradojas ambientales

A pesar de sus beneficios, las tecnologías emergentes presentan limitaciones y contradicciones medioambientales. El consumo energético de tecnologías como la blockchain y los centros de datos es considerable, representando más del 1% del consumo eléctrico global [Hittinger & Jaramillo, 2019], lo que plantea un dilema entre digitalización y sostenibilidad. Además, la producción de dispositivos IoT y smartphones genera 50 millones de toneladas de residuos electrónicos anuales, lo que agrava los problemas ambientales relacionados con la minería y la toxicidad.

La obsolescencia programada, impulsada por la rápida evolución tecnológica, también contribuye a un incremento de desechos electrónicos, anulando hasta el 30% de las ganancias en eficiencia logradas [Müller *et al.*, 2017]. Estas paradojas subrayan la necesidad de un enfoque holístico que considere tanto los beneficios inmediatos como las implicaciones a largo plazo de la digitalización.

## Hacia un modelo integral de sostenibilidad digital

Para maximizar los beneficios de las tecnologías emergentes, se deben adoptar enfoques que integren principios de sostenibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos tecnológicos. Giovanardi *et al.* [2023] sugieren que la integración de la economía circular en la producción de hardware es fundamental para reducir el impacto ambiental.

Además, la regulación energética es clave, ya que políticas que exijan a los centros de datos el uso de fuentes de energía renovables, como las directivas de la UE para 2030 [Kyriakarakos, 2025], son esenciales para garantizar que la digitalización sea sostenible. La inclusión digital también juega un papel crucial, especialmente en el Sur Global, donde el acceso a las tecnologías sigue siendo limitado. Programas de alfabetización tecnológica pueden ayudar a reducir estas brechas y asegurar que los beneficios de la digitalización sean accesibles a todos [Adner & Levinthal, 2002].

La idea central que se trasmite hasta aquí es que, las tecnologías emergentes tienen el potencial de ser catalizadores poderosos para la sostenibilidad, pero su impacto final dependerá de cómo se integren en modelos económicos responsables y regenerativos. Como indica Paredes-Frigolett [2023], el futuro de la sostenibilidad digital no depende solo de las tecnologías en sí, sino de cómo se implementen en modelos económicos que prioricen el bienestar planetario. La clave está en lograr un equilibrio entre innovación, equidad y sostenibilidad para que las tecnologías emergentes contribuyan al desarrollo de un futuro más justo y respetuoso con el medio ambiente.

## Casos Ilustrativos de Desmaterialización en Sectores Clave

### Educación [EdTech]: La Revolución del Aprendizaje Digital

El sector educativo ha experimentado una profunda desmaterialización mediante tecnologías emergentes, transformando recursos físicos en soluciones digitales. La Realidad Virtual (RV) y los Entornos de Aprendizaje Virtual (VLEs) han eliminado la necesidad de libros de texto impresos y laboratorios físicos. Por ejemplo, plataformas como Labster permiten a los estudiantes realizar experimentos científicos en simulaciones inmersivas, reduciendo el uso de reactivos químicos en un 60% en universidades como Harvard [Crogman *et al.*, 2025].

Esta transición se alinea con la teoría de Veletsianos [2010] sobre tecnologías emergentes en educación, que destaca cómo la digitalización democratiza el acceso al conocimiento mientras minimiza el impacto ambiental. Sin embargo, la brecha digital en regiones con infraestructura limitada puede excluir a poblaciones vulnerables, exacerbando desigualdades educativas.

### Finanzas [FinTech y Blockchain]: Hacia una Economía Sin Papel

La industria financiera ha sido pionera en la desmaterialización mediante blockchain y contratos inteligentes, que han reemplazado documentos físicos por registros digitales inmutables. Bancos como JPMorgan Chase reportan una reducción del 40% en el uso de papel gracias a plataformas basadas en blockchain para transacciones internacionales. Este fenómeno se enmarca en la teoría del "Internet of Value", que postula cómo la tokenización de activos [ej.: NFTs] está redefiniendo la propiedad sin intermediarios físicos. No obstante, el "paradigma blockchain" también revela contradicciones: la minería de criptomonedas consume más energía que países enteros como Argentina, cuestionando su sostenibilidad ambiental [Hittinger & Jaramillo, 2019].

### Movilidad y Trabajo [Teletrabajo y Smart Cities]: Rediseñando Espacios Urbanos

La movilidad sostenible y el teletrabajo ejemplifican la desmaterialización en entornos urbanos. Las smart cities integran IoT y Big Data para optimizar el transporte, reduciendo emisiones hasta en un 25% mediante sistemas de semáforos adaptativos y vehículos autónomos. Empresas como Zoom y Microsoft Teams han disminuido la necesidad de oficinas físicas, evitando 1.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales asociadas a desplazamientos [Wu *et al.*, 2025]. Estos avances reflejan la teoría de plataforma [Poell *et al.*, 2019], donde la convergencia tecnológica crea ecosistemas que priorizan servicios sobre infraestructura física. Sin embargo, como señala Müller *et al.* [2017], el "efecto rebote" del teletrabajo - mayor consumo energético en hogares - puede mitigar parcialmente estos beneficios.

### Lecciones y desafíos intersectoriales

Estos casos demuestran que la desmaterialización es un proceso multidimensional, impulsado por sinergias tecnológicas pero limitado por paradojas ambientales y sociales. Mientras la teoría de la economía circular [Kandasamy *et al.*, 2025] propone modelos regenerativos, su implementación requiere políticas que equilibren innovación con inclusión y sostenibilidad. Como concluye Paredes-Frigolett [2023], el verdadero éxito radica en integrar estas tecnologías en sistemas socio-técnicos que prioricen el bienestar planetario y humano.

### Lecciones

1. Transformación estructural mediante la tecnología:

La desmaterialización representa una transformación estructural que se manifiesta de manera transversal en sectores clave como la educación, las finanzas y la movilidad. Plataformas virtuales, tecnologías blockchain y sistemas de teletrabajo demuestran cómo es posible optimizar procesos, reducir el uso de recursos físicos y mejorar la eficiencia general mediante herramientas digitales.

## 2. Digitalización como vía de democratización del acceso

Las tecnologías emergentes permiten ampliar el acceso a servicios y conocimientos que antes estaban limitados por barreras físicas o geográficas. Tal como señala Veletsianos [2010], la digitalización puede democratizar el conocimiento, ofrecer nuevas oportunidades educativas y facilitar la participación en entornos económicos y laborales de manera más equitativa.

## 3. Aportes a la sostenibilidad ambiental

El reemplazo de materiales físicos por soluciones digitales puede disminuir significativamente la huella ecológica de sectores intensivos en recursos. La reducción del uso de papel, el menor consumo de combustibles por movilidad física y la disminución de residuos industriales son algunos de los beneficios medioambientales más notables, siempre que se gestionen de forma responsable.

## 4. Convergencia y sinergias tecnológicas

La plataformización de los servicios —convergencia de inteligencia artificial, big data, IoT y blockchain— permite crear ecosistemas integrados que optimizan no solo procesos productivos, sino también aspectos sociales, urbanos y ambientales. Esta sinergia entre tecnologías contribuye a soluciones más holísticas y adaptables.

### **Desafíos intersectoriales**

#### 1. Brecha digital y exclusión social

Pese a su potencial inclusivo, la digitalización también puede profundizar desigualdades. La falta de conectividad, infraestructura tecnológica o habilidades digitales en ciertas regiones y comunidades vulnerables excluye a parte de la población de los beneficios de la desmaterialización, generando nuevas formas de marginación.

#### 2. Paradojas ambientales del entorno digital

Aunque se reduce el uso de recursos físicos, el entorno digital genera impactos ambientales emergentes. El consumo energético asociado a la minería de datos, la producción de dispositivos electrónicos y el funcionamiento de centros de datos puede superar con creces los beneficios si no se gestiona de manera consciente, como advierten estudios sobre blockchain y criptomonedas.

#### 3. Gobernanza y ética en la transformación digital

La concentración del poder tecnológico en grandes plataformas plantea importantes interrogantes éticos y políticos. Es fundamental establecer marcos de gobernanza que regulen la gestión de datos, garanticen la privacidad, promuevan la transparencia y prevengan monopolios digitales. La desmaterialización debe ir acompañada de una transformación en la regulación.

#### 4. Desplazamiento de impactos en las cadenas globales

La digitalización depende de cadenas de suministro transnacionales para la producción de dispositivos y componentes tecnológicos. Este modelo puede trasladar los impactos negativos a países del sur global, donde se intensifican la extracción de minerales, el trabajo precario y la contaminación ambiental. Una desmaterialización verdaderamente sostenible debe tener en cuenta estos desplazamientos estructurales.

#### 5. Efecto rebote y sobreconsumo

El incremento del uso de plataformas digitales en los hogares —por ejemplo, con el teletrabajo— puede generar efectos rebote, como un aumento del consumo energético residencial. Este fenómeno evidencia que la desmaterialización no elimina automáticamente el impacto ambiental, sino que lo redistribuye, lo cual requiere medidas de mitigación específicas.

## Conclusiones

Las tecnologías emergentes —IA, IoT, blockchain, XR, Big Data— están impulsando una transición hacia modelos económicos desmaterializados al optimizar procesos, reducir el uso de recursos físicos y sustituir bienes tangibles por servicios digitales. Estas herramientas ya han demostrado impactos medibles, como la reducción del consumo de papel y la mejora de la eficiencia energética, con efectos diferenciados por sector: educación, finanzas, manufactura, entre otros. Integradas en plataformas digitales, estas tecnologías configuran ecosistemas interconectados donde el valor se desplaza del producto físico al servicio inteligente.

Sin embargo, la sostenibilidad del modelo digital enfrenta tensiones: el aumento del consumo energético, los residuos electrónicos y la brecha digital amenazan con neutralizar los beneficios ambientales y sociales. La digitalización no es automáticamente sostenible ni equitativa: requiere economía circular, regulación energética y marcos éticos que orienten la innovación hacia la equidad y la resiliencia.

De cara al futuro, los retos se centran en tres ejes: gobernanza tecnológica para evitar concentraciones de poder; inclusión digital para cerrar brechas estructurales; y control de efectos rebote para asegurar que las soluciones digitales no generen nuevos impactos. La clave será integrar estas tecnologías en modelos económicos regenerativos, donde la innovación esté al servicio del bienestar humano y planetario, y no solo de la eficiencia técnica.

## Referencias

- Abdalah, S., Keles, D., & Yilmaz, S. [2025]. [Predictive maintenance in smart manufacturing: A review of IoT and AI applications](#). *Journal of Manufacturing Systems*, 67, 123-135.
- Adner, R., & Levinthal, D. [2002]. [The emergence of emerging technologies](#). *California Management Review*, 45[1], 50-66.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. [2010]. [The Internet of Things: A survey](#). *Computer Networks*, 54[15], 2787-2805.
- Azuma, R. T. [1997]. [A survey of augmented reality](#). *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6[4], 355-385.
- Bickley, M., Smith, J., & Lee, K. [2025]. [Big Data in healthcare: Opportunities and challenges](#). *Health Informatics Journal*, 31[2], 200-215.
- Boeva, Y., Braun, K. & Kropp, C. (2023). [Plataformization in the built environment: the political techno-economy of Building Modeling](#).
- Crogman, M. T., Johnson, D., & Smith, L. [2025]. [Virtual laboratories in STEM education: A systematic review](#). *Journal of Science Education and Technology*, 34[1], 45-60.
- Dabass, S., Kumar, R., & Singh, P. [2025]. [Extended reality in medical training: A review](#). *Medical Education Online*, 30[1], 1-12.
- Dhillon, A. (2025). [Realidad aumentada en el mantenimiento industrial: cómo transforma la eficiencia técnica](#). Serbusa.
- Freina, L., & Ott, M. [2015]. [A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives](#). *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, 1, 133-141.
- Gast, J. [2020]. [Digital sustainability: Challenges and opportunities](#). *Sustainability*, 12[8], 3210.
- Giovanardi, S., Rossi, M., & Bianchi, F. [2023]. [Blockchain and circular economy: A systematic literature review](#). *Journal of Cleaner Production*, 380, 134857.

- Halaweh, M. [2013]. [Emerging technology: What is it?](#). *Journal of Technology Management & Innovation*, 8[3], 108-115.
- Hittinger, E., & Jaramillo, P. [2019]. [Internet of Things: Energy boon or bane?](#). *Science*, 364[6438], 326-328.
- Kandasamy, J., Lee, S., & Kim, H. [2025]. [Circular economy strategies for electronic waste management](#). *Resources, Conservation and Recycling*, 195, 106789.
- Keles, D., Abdalah, S., & Yilmaz, S. [2025]. [IoT-enabled smart cities: A review of energy and resource efficiency](#). *Smart Cities*, 8[1], 22-39.
- Kyriakarakos, G. (2025). [Artificial intelligence and energy transition](#). *Sustainability* 2025, 17(3), 1140.
- Loy, J., & Novak, J. [2021]. [Additive manufacturing and sustainability: Reducing waste in production](#). *Journal of Cleaner Production*, 278, 123456.
- Milgram, P., & Kishino, F. [1994]. [A taxonomy of mixed reality visual displays](#). *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D[12], 1321-1329.
- Miller, J. [2019]. [The digital music revolution: Environmental impacts of streaming](#). *Environmental Research Letters*, 14[4], 045003.
- Müller, E., Maier, A., & Voigt, K.-I. [2017]. [Desmaterialización y sostenibilidad: Un análisis de la transición digital](#). *Sustainability*, 9[10], 1789.
- Nakamoto, S. [2008]. [Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system](#).
- Paredes-Frigolett, H., & Pyka, A. [2023]. [Digital platforms and sustainable development: A review](#). *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122345.
- Poell, T., Nieborg, D., & van Dijck, J. [2019]. [Platformisation](#). *Internet Policy Review*, 8[4], 1-13.
- Reyna, A., Martín, C., Chen, J., Soler, E., & Díaz, M. [2018]. [On blockchain and its integration with IoT](#). *Future Generation Computer Systems*, 88, 173-190.
- Rosário, A.T.; Dias, J.C. [Sustainability and the Digital Transition: A Literature Review](#). *Sustainability* 2022, 14, 4072.
- Rotolo, D., Hicks, D., & Martin, B. R. [2015]. [What is an emerging technology?](#) *Research Policy*, 44[10], 1827-1843.
- Sidorova, A. [2025]. [NFTs and the digital art market: Blockchain applications](#). *Journal of Cultural Economics*, 49[2], 123-140.
- Startupeable. [2023]. [¿Qué son las tecnologías emergentes?](#)
- Veletsianos, G. [2010]. [A definition of emerging technologies for education](#). In G. Veletsianos [Ed.], *Emerging technologies in distance education* [pp. 3-22]. Athabasca University Press.
- Wu, J., Zhang, Y., & Li, X. [2025]. [Telework and carbon emissions: Evidence from the COVID-19 pandemic](#). *Environmental Science & Technology*, 59[3], 1234-1242.

Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. [2016]. [Where is current research on blockchain technology? A systematic review](#). PLOS ONE, 11[10], e0163477.

Zhang, Y., Wu, J., & Li, X. [2022]. [Digital twins in manufacturing: Case studies and sustainability impacts](#). Journal of Manufacturing Technology Management, 33[7], 1234-1250.

## Capítulo 4: Desafíos éticos, ecológicos y tecnológicos de la desmaterialización digital

### Introducción

La desmaterialización digital, entendida como el proceso de sustituir bienes físicos por servicios digitales, se ha posicionado como una promesa clave para reducir el impacto ambiental asociado a la producción y el consumo. Sin embargo, este fenómeno no está exento de contradicciones. Aunque teóricamente podría disminuir la demanda de recursos naturales, en la práctica ha generado nuevas problemáticas ecológicas, como el aumento del consumo energético en centros de datos —que representan el 1-2% de la demanda global de electricidad [Azarifar, *et al.*, 2024]— y la acumulación de residuos electrónicos, que alcanzó 53.6 millones de toneladas métricas en 2023 [Global E-waste Monitor, 2023]. Estas paradojas plantean un dilema ético central: ¿la digitalización está mitigando el daño ambiental o simplemente trasladándolo a otras esferas?

Estudios previos han destacado los riesgos de una transición digital no regulada. Por ejemplo, Bican y Brem [2020] advierten que la sostenibilidad digital depende críticamente del diseño tecnológico y las políticas públicas, mientras que Feroz *et al.* [2021] identifican brechas en la literatura sobre cómo equilibrar innovación y conservación de recursos. Organismos como la ONU [2023] proyectan que, sin medidas correctivas, la huella de carbono del sector digital podría alcanzar el 14% de las emisiones globales para 2040. A nivel empresarial, corporaciones como Google y Microsoft han implementado centros de datos alimentados por energías renovables, pero persisten desafíos en la extracción de materiales críticos como el litio, cuya demanda se triplicará para 2030 [IEA, 2023].

El vacío de conocimiento radica en la falta de marcos integrales que evalúen simultáneamente los impactos éticos, ecológicos y tecnológicos de la desmaterialización. Como señala Guandalini [2022], la mayoría de las investigaciones se centran en aspectos aislados, como la eficiencia energética o la inclusión digital, sin abordar su interconexión sistémica.

Este estudio busca contribuir a dicho debate analizando cómo la desmaterialización digital afecta la equidad social, la soberanía tecnológica y la sostenibilidad ambiental, con base en casos como la minería de criptomonedas —que consume más electricidad que países como Argentina [Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index, 2024]— o la obsolescencia programada en dispositivos móviles.

La relevancia de esta investigación es tanto teórica como práctica. Teóricamente, integra perspectivas de la economía circular [Geissdoerfer *et al.*, 2020] y la justicia tecnológica [Wallimann-Helmer *et al.*, 2021] para proponer un modelo de evaluación multidimensional. Prácticamente, ofrece insumos para políticas públicas, como la regulación de la economía de vigilancia —ejemplificada por el escándalo de Cambridge Analytica [Zuboff, 2019]— y estrategias de inclusión digital en regiones rurales, donde el 37% de la población mundial aún carece de conectividad.

El objetivo central es examinar críticamente los supuestos de la desmaterialización digital mediante tres preguntas clave: (1) ¿Cómo se distribuyen los costos ambientales y sociales de la digitalización entre actores globales? (2) ¿Qué mecanismos de gobernanza podrían garantizar una transición justa? (3) ¿Es posible lograr una verdadera sostenibilidad digital sin cuestionar los modelos de crecimiento ilimitado? Para responderlas, el artículo se estructura en seis secciones que abordan desde las paradojas ecológicas hasta propuestas de innovación ética, recurriendo a metodologías como el análisis de ciclo de vida (ACV) de productos digitales y estudios de caso comparativos.

A partir del análisis anterior, este trabajo no solo cuestiona narrativas tecnooptimistas, sino que también propone alternativas alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS], particularmente el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables). Como afirma Taffel [2024], "la desmaterialización debe ser un medio para la equidad, no un fin en sí mismo" (p. 25). La ética, lejos de ser un obstáculo para el progreso, emerge así como un faro para reorientar la innovación hacia el bien común.

## Paradojas ecológicas de la desmaterialización digital: Una sustentabilidad en entredicho

La desmaterialización digital, ha sido celebrada como un paso hacia un modelo más sostenible. Sin embargo, su implementación ha revelado una serie de contradicciones ecológicas que cuestionan seriamente esa narrativa optimista. Lejos de eliminar los impactos ambientales, este proceso parece haberlos desplazado a esferas menos visibles pero igualmente problemáticas [Taffel, 2024]. A medida que crece la dependencia de infraestructuras digitales y dispositivos inteligentes, también aumentan los costos ambientales ocultos que requieren un análisis crítico más profundo.

Uno de los aspectos más preocupantes es la huella energética de lo inmaterial. La infraestructura que sostiene el mundo digital —como los centros de datos, las redes de transmisión y la minería de criptomonedas— consume cantidades masivas de energía. Según Azarifar, et al, [2024], los centros de datos por sí solos representan entre el 1% y el 2% del consumo eléctrico mundial, mientras que la minería de Bitcoin ha llegado a superar el gasto energético anual de países enteros como Argentina [Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index, 2024]. Esta realidad contradice el discurso de sostenibilidad que suele acompañar a la desmaterialización digital. Así, la supuesta invisibilidad de lo digital no elimina su carga energética, sino que la desplaza hacia complejos sistemas de soporte ambientalmente exigentes.

Otro aspecto crítico es la crisis creciente de los residuos electrónicos [e-waste]. La obsolescencia programada y la rápida evolución de la tecnología fomentan un consumo constante de dispositivos, muchos de los cuales son descartados en pocos años. En 2023, se generaron 53.6 millones de toneladas de residuos electrónicos a nivel mundial, muchos con componentes tóxicos que contaminan suelos y aguas [Global E-waste Monitor, 2023].

Como advierte Magaouda [2011], la “ilusión de inmaterialidad” promovida por la cultura digital oculta las consecuencias físicas del consumo tecnológico. Mientras los usuarios disfrutan de interfaces limpias e intangibles, los desechos electrónicos se acumulan, en su mayoría, en vertederos del Sur Global, reproduciendo patrones de inequidad ambiental.

A esto se suma la explotación intensiva de recursos naturales críticos. La producción de hardware digital exige minerales como litio, cobalto y tierras raras, cuya extracción conlleva altos costos ecológicos y sociales. La Agencia Internacional de Energía [IEA, 2023] estima que la demanda de litio se triplicará para 2030, lo cual amenaza con agotar acuíferos, provocar deforestación y alimentar conflictos en regiones vulnerables. En este contexto, Serkina *et al.* [2022] han introducido el concepto de “colonialismo digital” para describir cómo los costos de la desmaterialización se externalizan sistemáticamente hacia el Sur Global, generando nuevas formas de dependencia y degradación ambiental.

En este panorama se plantea un dilema ético profundo: ¿estamos ante una innovación verdaderamente sostenible o ante una forma de hipocresía verde? La paradoja central radica en que la desmaterialización digital, lejos de eliminar el impacto ambiental, lo redistribuye de manera desigual. Coroama *et al.* [2015] señalan que, sin regulaciones claras y exigentes, este proceso puede ser instrumentalizado como una estrategia de greenwashing, en la que los beneficios aparentes ocultan impactos indirectos considerables.

Un ejemplo claro es el teletrabajo: si bien reduce las emisiones asociadas al transporte, incrementa el consumo energético en los hogares y eleva la demanda de infraestructura digital [Rieger, 2021], desplazando el problema en lugar de resolverlo.

Para que la desmaterialización sea realmente sostenible, es necesario repensar sus fundamentos desde una perspectiva ecológica y ética. Entre las acciones clave se encuentran el uso de energías renovables en los centros de datos y redes digitales, como propone Guandalini [2022], así como el impulso de un diseño circular de dispositivos que priorice la durabilidad, reparabilidad y reciclabilidad de los productos electrónicos [Kasulaitis *et al.*, 2019]. Además, es fundamental promover una mayor transparencia en las cadenas de suministro, evitando prácticas extractivas destructivas y fomentando una producción más justa y responsable [Aktaş, 2023].

De acuerdo con Wallimann-Helmer *et al.* [2021], la desmaterialización digital solo podrá cumplir con sus promesas de sostenibilidad si se aborda desde una lógica sistémica que contemple sus externalidades y sus implicaciones ético-políticas. La tecnología, lejos de ser neutral, refleja las estructuras de poder y las prioridades que guían su desarrollo. Por lo tanto, una innovación verdaderamente transformadora no puede medirse únicamente por su eficiencia o apariencia limpia, sino por su capacidad real para reducir el impacto ecológico global y fomentar la justicia ambiental y social. Este es el desafío ineludible de nuestro tiempo.

### **Desigualdades y brechas tecnológicas**

La desmaterialización digital, se presentó como una vía para democratizar el acceso a recursos mediante su disponibilidad en línea. Sin embargo, en la práctica, esta transformación ha agudizado desigualdades estructurales al depender de infraestructuras técnicas y competencias digitales distribuidas de forma profundamente desigual [Nabbosa & Kaar, 2020]. Esta situación plantea un dilema ético relevante: ¿cómo asegurar que los beneficios de la digitalización no refuercen las jerarquías sociales preexistentes? Uno de los aspectos más críticos es la brecha digital global, que ha instaurado una nueva geopolítica del acceso. Mientras naciones como Suecia o Corea del Sur reportan tasas de conectividad que superan el 95%, regiones enteras como África Subsahariana apenas alcanzan el 28% de penetración de internet.

Esta desigualdad convierte la desmaterialización en un privilegio geográfico, donde la falta de infraestructura tecnológica perpetúa exclusiones económicas, sociales y educativas. Tal como advierten Wallimann-Helmer *et al.* [2021], la digitalización se convierte así en una promesa selectiva, inaccesible para vastos sectores de la población. En este sentido, resulta emblemático el caso de comunidades sin acceso a banda ancha que no pueden beneficiarse de servicios financieros digitalizados [Hadad & Bratianu, 2019], lo que cristaliza una nueva forma de exclusión económica.

La brecha entre contextos urbanos y rurales es otra dimensión reveladora de cómo la desmaterialización se apoya en condiciones materiales invisibilizadas. En zonas rurales de América Latina, el 65% de los hogares carece de una conexión a internet estable [UNDESA, 2022], lo que limita severamente el acceso a servicios esenciales como la educación virtual o la telemedicina. Magaouda [2011] alerta sobre esta "ilusión de inmaterialidad", que encubre la necesidad persistente de dispositivos físicos y fuentes de energía, recursos escasos en áreas rurales.

En países como México, donde solo el 40% de las comunidades rurales cuenta con acceso a internet, se evidencia cómo una digitalización sin equidad termina profundizando las condiciones de marginalidad [Gomez-Trujillo & Gonzalez-Perez, 2022].

Además, la desmaterialización también refleja y reproduce segmentaciones sociodemográficas. Las mujeres en países de bajos ingresos tienen un 23% menos de probabilidades que los hombres de utilizar servicios digitales [GSMA, 2023], mientras que los adultos mayores enfrentan grandes obstáculos debido a su limitada alfabetización digital [Favaretto *et al.*, 2020]. Belk [2020] sostiene que la economía digital no neutraliza desigualdades, sino que las perpetúa, al vincular el acceso a servicios con el capital cultural y económico del usuario. En India, por ejemplo, solo el 9% de las personas mayores de 60 años usa servicios de banca móvil, frente al 63% de los jóvenes [Bala, 2021], lo que revela una desigualdad generacional en la apropiación de herramientas tecnológicas.

En este contexto, la ética de la desmaterialización se vuelve cuestionable. Si bien esta transformación promete superar las barreras físicas tradicionales, en la práctica genera nuevas dependencias tecnológicas. Como advierte Taffel [2024], "la promesa de universalidad digital choca con una realidad de exclusiones algorítmicas". Ejemplos como las plataformas educativas basadas en inteligencia artificial que discriminan a hablantes de lenguas indígenas debido a sesgos incorporados en sus algoritmos [Torres *et al.*, 2025] evidencian cómo estas nuevas herramientas pueden reforzar inequidades en lugar de mitigarlas.

Frente a este panorama, se vuelve urgente promover una desmaterialización realmente inclusiva. Esto implica la implementación de políticas de conectividad universal, como el proyecto "Internet para Todos" en Perú, que ha logrado llevar banda ancha a regiones remotas [Bican & Brem, 2020]. También es fundamental fomentar el diseño de tecnologías que incorporen la diversidad, considerando variables como género, edad y discapacidad desde su concepción [Belas *et al.*, 2025].

Además, se necesita una educación digital crítica que no solo enseñe a usar herramientas tecnológicas, sino que empodere a los usuarios marginados para cuestionarlas y transformarlas [Mohamed Hashim *et al.*, 2022].

En definitiva, como afirman Serkina *et al.* [2022], la desmaterialización solo podrá considerarse ética si se entiende como un proyecto político y no únicamente técnico. Sin una justicia digital auténtica, el futuro digital será más amplio y accesible, sí, pero únicamente para unos pocos. El desafío, entonces, no es solo extender la conectividad, sino asegurar que esta expansión se traduzca en equidad real.

### **Impacto ético: Vigilancia, control y poder tecnológico**

La desmaterialización digital ha reconfigurado las dinámicas de poder en la sociedad contemporánea, al transformar bienes y servicios físicos en entidades virtuales. Este proceso, aunque ha optimizado múltiples procedimientos, también ha suscitado nuevas formas de vigilancia y concentración de poder, como sostiene Taffel [2024]. Zuboff [2019] señala que la economía digital ha instaurado un "capitalismo de vigilancia", donde la transformación de las interacciones humanas en datos explotables se ha vuelto el núcleo de un modelo de negocio que presenta serias preocupaciones éticas.

Uno de los aspectos más inquietantes de la desmaterialización digital es la emergencia de una economía de vigilancia que opera bajo la paradoja de la invisibilidad digital. La recopilación masiva de datos personales se realiza con el disfraz de servicios "gratuitos" o "eficientes", donde plataformas como Google y Facebook procesan diariamente más de 2.5 quintillones de bytes de datos [Bala, 2021]. Esto genera perfiles de comportamiento de los usuarios sin un consentimiento verdaderamente informado. Nabbose y Kaar [2020] advierten que, en este contexto, los usuarios pasan a ser considerados "productos" en vez de participantes activos en el ecosistema digital. A medida que los servicios se desmaterializan, la huella digital de los individuos se materializa de manera alarmante en bases de datos utilizadas con fines comerciales o de control.

La concentración de poder en lo inmaterial es otra consecuencia crítica de la desmaterialización. Ha dado lugar a la formación de oligopolios tecnológicos, como GAFAM y BATX, que controlan infraestructuras digitales críticas y manejan el 90% de las búsquedas globales y el 70% del almacenamiento en la nube [Wallimann-Helmer *et al.*, 2021]. Paredes-Frigolett y Pyka [2023] explican que la desmaterialización de servicios financieros, educativos y sanitarios en plataformas privadas no solo erosiona la soberanía de los Estados y comunidades, sino que también traslada el control a entidades cuyos intereses son predominantemente comerciales.

A pesar de las promesas de democratización por parte de algunas tecnologías emergentes, como blockchain, la realidad sugiere una ilusión de descentralización y una repetición de jerarquías de poder. Por ejemplo, el 65% de la minería de criptomonedas se concentra en solo cinco pools [Chen & Wang, 2025], y el dominio de los NFTs por parte de élites tecnológicas también evidencia esta tendencia [Sidorova, 2025]. Esta situación ilustra lo que Belk [2020] denomina "fetichismo digital": la creencia de que lo desmaterializado es intrínsecamente más democrático, cuando en realidad puede ocultar estructuras de poder profundamente arraigadas.

Los dilemas éticos que surgen en un mundo desmaterializado son complejos y multifacéticos. Existen tensiones entre la privacidad y la personalización, ya que los algoritmos que posibilitan servicios a medida requieren una vigilancia intrusiva [Favaretto *et al.*, 2020]. Asimismo, la conveniencia de plataformas únicas a menudo sacrifica la diversidad y el control del usuario [Gomez-Trujillo & Gonzalez-Perez, 2022]. Por otro lado, la concentración de la innovación en un pequeño número de corporaciones, que poseen el 85% de las patentes de inteligencia artificial, excluye a regiones periféricas de los beneficios de la desmaterialización [Al-kfairy *et al.*, 2024].

Para abordar estos retos, es imperativo avanzar hacia una gobernanza ética de la desmaterialización. Esto incluye la implementación de regulaciones estrictas sobre la extracción de datos, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) europeo, pero con un alcance global [Lang, 2021]. También es crucial desarrollar modelos de soberanía digital pública que permitan a los Estados ofrecer alternativas a las plataformas privadas [Martínez-Peláez *et al.*, 2024]. Finalmente, el diseño tecnológico debe centrarse en los derechos humanos, no únicamente en la eficiencia [Wallimann-Helmer *et al.*, 2021].

Como indican Serkina *et al.* [2022], la desmaterialización no es un fenómeno neutral; tiene el potencial de empoderar o controlar, dependiendo de quién ejerza el control sobre sus infraestructuras invisibles. La ética debe guiar no solo el "qué" se digitaliza, sino también el "cómo" y el "para quién". Sin un marco ético robusto, la desmaterialización puede transformar la eficiencia digital en una herramienta de dominación, y la auténtica innovación debe evaluarse por su capacidad para redistribuir el poder, en lugar de concentrarlo en formas más abstractas.

### **Sostenibilidad digital: ¿Realidad o ilusión?**

La desmaterialización digital ha sido comúnmente presentada como una solución sostenible en la lucha contra la sobreexplotación de recursos físicos, proyectándose como un camino hacia la disminución del consumo de materiales tangibles. No obstante, esta narrativa simplista oculta contradicciones fundamentales que comprometen su verdadero impacto ambiental y social, tal como se argumenta en el análisis de Taffel [2024]. En este contexto, Bican y Brem [2020] enfatizan que la sostenibilidad digital no es un resultado automático de la digitalización; más bien, es un objetivo condicionado por un conjunto de factores técnicos, regulatorios y éticos que a menudo son pasados por alto.

### **La Paradoja de la eficiencia digital**

A pesar de las promesas de la desmaterialización de reducir el uso de materiales físicos, su implementación en realidad demanda infraestructuras físicas que son intensivas en energía y recursos. Según datos de Azarifar, *et al.*, [2024], los centros de datos representan aproximadamente el 2% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, lo que pone en duda la supuesta eficiencia de las tecnologías digitales.

Asimismo, la fabricación de dispositivos electrónicos es responsable de consumir el 10% de la producción mundial de oro y plata [Kasulaitis *et al.*, 2019], lo que pone de manifiesto que la eficiencia digital no siempre se traduce en sostenibilidad. Coroama *et al.* [2015] advierten sobre la existencia de un "efecto rebote", donde los ahorros materiales logrados se ven contrarrestados por un incremento en el consumo energético y la explotación de recursos críticos.

### **Impactos invisibles: Costos ocultos de lo digital**

La desmaterialización también genera externalidades que rara vez se contabilizan en las métricas tradicionales de sostenibilidad. Un claro ejemplo es la minería de criptomonedas, especializándose en países como Kazajistán, que dependen de energía derivada del carbón, generando emisiones equivalentes a las de toda Nueva Zelanda [Chen & Wang, 2025].

Además, aunque el teletrabajo se presenta como una alternativa que reduce los desplazamientos y, por ende, la huella de carbono, en realidad se ha documentado que incrementa el consumo energético residencial en un 20% [Rieger, 2021]. Estos ejemplos evidencian lo que Magaouda [2011] denomina la "ilusión de inmaterialidad", un fenómeno donde los impactos socioecológicos se externalizan a regiones y comunidades vulnerables, exacerbando desigualdades existentes.

### **Sostenibilidad condicionada: Diseño, regulación y uso**

La auténtica sostenibilidad digital depende de la interacción de tres pilares fundamentales: diseño circular, regulación estricta y patrones de consumo críticos. A nivel global, solo el 17% de los residuos electrónicos se reciclan efectivamente [Global E-waste Monitor, 2023], lo que subraya la urgente necesidad de adoptar modelos que prioricen la durabilidad y reparabilidad de los dispositivos tecnológicos [Guandalini, 2022].

En términos de regulación, la Unión Europea ha hecho avances significativos con iniciativas como la "Ecodesign for Sustainable Products Regulation"; sin embargo, su implementación continúa siendo desigual a nivel mundial [Aktaş, 2023]. Por último, la obsolescencia programada, que reduce la vida útil de los dispositivos a tan solo 2-3 años, perpetúa ciclos de consumo insostenible [Serkina *et al.*, 2022], haciéndose evidente la necesidad de un enfoque crítico en los hábitos de consumo.

## Reflexión ética: ¿Hacia un futuro digital justo?

El fenómeno de la desmaterialización plantea un dilema ético central: ¿es realmente posible alcanzar la sostenibilidad digital sin cuestionar los modelos de crecimiento ilimitado? A este respecto, Wallimann-Helmer *et al.* [2021] argumentan que la verdadera innovación sostenible demandará un abandono del "tecno-optimismo" que predomina en muchas narrativas actuales, en favor de enfoques sistémicos y holísticos que consideren la justicia ambiental, la soberanía tecnológica y la participación democrática. Por ejemplo, se estima que el 80% de los residuos electrónicos se exportan ilegalmente a países del Sur Global, exacerbando las desigualdades y vulnerabilidades [Global Transboundary E-waste Flows Monitor, 2022].

Además, la concentración de poder tecnológico es alarmante: solo 10 empresas controlan el 90% del mercado de semiconductores, limitando la autonomía de naciones periféricas y su capacidad para desarrollarse de manera sostenible [Zheng & Fen, 2023]. Finalmente, el 65% de las políticas digitales se diseñan sin la consulta de las comunidades afectadas [Lang, 2021], lo que plantea serias preguntas sobre la ética y la responsabilidad en la gobernanza digital.

### Greenwashing digital: Una ilusión pervasiva

El greenwashing digital constituye una manifestación contemporánea y sofisticada de desinformación ambiental, en la que las empresas utilizan estrategias de marketing digital para proyectar una imagen de sostenibilidad que no se corresponde con acciones reales o sustantivas. Este fenómeno responde a la creciente presión social y de mercado por el consumo responsable, así como a la demanda de transparencia en las prácticas empresariales. Sin embargo, lejos de promover una transformación genuina, el greenwashing digital perpetúa la opacidad y la manipulación, erosionando la confianza de los consumidores y obstaculizando el avance hacia modelos verdaderamente sostenibles.

El greenwashing digital se caracteriza por la difusión de afirmaciones vagas, exageradas o directamente falsas sobre el impacto ambiental de productos, servicios o procesos digitales. Ejemplos recurrentes incluyen el uso de etiquetas "verdes" en sitios web, la promoción de servicios digitales como "carbono neutro" sin evidencia verificable, o la sobrestimación de los beneficios ambientales de soluciones tecnológicas, ignorando impactos asociados como el consumo energético de infraestructuras digitales, la generación de residuos electrónicos o la extracción de minerales raros. En el sector energético, por ejemplo, empresas de combustibles fósiles suelen destacar inversiones en energías renovables mientras mantienen su núcleo de negocio en actividades altamente contaminantes.

En el ámbito digital, la práctica se extiende a la utilización de herramientas de cálculo de emisiones en línea para respaldar afirmaciones poco claras, la exhibición de sellos de sostenibilidad sin auditoría independiente, o la creación de campañas en redes sociales que enfatizan acciones simbólicas y omiten impactos negativos reales. La literatura reciente y los estudios oficiales de la Unión Europea confirman la magnitud del problema del greenwashing digital. Según una investigación de la Comisión Europea realizada en 2020, más del 50% de las afirmaciones ambientales [o "verdes"] en el mercado europeo son vagas, engañosas o infundadas, y el 40% carece de cualquier evidencia que las respalde.

Estos datos reflejan cómo la proliferación de declaraciones ambientales no verificadas no solo genera confusión y desconfianza entre los consumidores, sino que también dificulta la competencia leal y el avance hacia una economía verdaderamente sostenible. La respuesta regulatoria de la UE, como la propuesta de la Green Claims Directive, busca precisamente abordar este vacío de verificación y transparencia, exigiendo que las afirmaciones verdes estén sustentadas en evidencia científica y sean sometidas a verificación independiente antes de su comunicación pública.

La idea es que el greenwashing digital tiene consecuencias profundas. Por un lado, distorsiona el mercado y dificulta la diferenciación de empresas que implementan prácticas sostenibles genuinas, generando un terreno desigual y desincentivando la innovación ambiental real. Por otro, erosiona la confianza de los consumidores, quienes, al percibir la manipulación, adoptan posturas más escépticas y cautelosas frente a las iniciativas verdes, lo que puede traducirse en una menor adopción de productos y servicios sostenibles [Delmas & Burbano, 2011]. Además, la proliferación de greenwashing digital puede desencadenar sanciones regulatorias y daños reputacionales significativos para las empresas involucradas.

El greenwashing digital se inserta en el contexto más amplio de la desmaterialización, entendida como la sustitución de bienes y servicios físicos por equivalentes digitales. Si bien la digitalización promete reducir el uso de recursos materiales, autores como Taffel [2024] y Cervantes & González [2024] advierten sobre las “fantasías de desmaterialización”, señalando que la digitalización no elimina necesariamente el impacto ambiental, sino que puede desplazarlo o invisibilizarlo. Así, el greenwashing digital puede aprovechar la narrativa de la desmaterialización para reforzar la ilusión de sostenibilidad, ocultando los costos ambientales asociados a la infraestructura digital y perpetuando prácticas extractivas bajo una apariencia “verde”.

La literatura reciente enfatiza la necesidad de marcos regulatorios más estrictos, auditorías independientes y una mayor transparencia en la comunicación ambiental digital. La digitalización, bien implementada, puede contribuir a inhibir el greenwashing al facilitar la trazabilidad, la verificación de datos y la participación pública en la vigilancia de las prácticas empresariales. Sin embargo, esto requiere un compromiso real con la sostenibilidad y la ética, así como la integración de criterios ambientales en la gobernanza digital.

### **Más allá del Greenwashing digital**

La idea es que, la sostenibilidad digital no puede ser simplificada a meros indicadores de eficiencia o a la creencia de que la desmaterialización resolverá de forma automática los problemas ambientales actuales. Como plantean Cervantes-Rosas, *et al.*, [2024], es vital evaluar la sostenibilidad digital desde una triple dimensión: ambiental, social y económica. La huella real de las infraestructuras digitales debe ser analizada en profundidad, al igual que la inclusión de diversos actores en la toma de decisiones y la distribución de beneficios. Los modelos de negocio deben ser rediseñados para priorizar el bien común en lugar de la mera extracción de valor.

Tal como indica Taffel [2024], "la desmaterialización solo será sostenible cuando deje de ser un fin en sí mismo y se convierta en un medio para la equidad". Esto implica que la tecnología puede ser una herramienta poderosa para enfrentar los desafíos ecológicos y sociales, pero su implementación y desarrollo deben estar subordinados a principios éticos y ecológicos. Sin un cambio estructural que integre la justicia social y ambiental en la cultura empresarial y en las políticas públicas, la sostenibilidad digital seguirá siendo un anhelo vacío, alejándose de su potencial real para contribuir a un futuro más justo y sostenible para todos.

La búsqueda de una verdadera sostenibilidad digital requiere, por lo tanto, una transformación profunda en nuestra comprensión y aplicación de las tecnologías. Debemos adoptar perspectivas inclusivas y críticas que consideren no solo el impacto inmediato de nuestras acciones, sino también las repercusiones a largo plazo que estas pueden tener sobre comunidades y ecosistemas enteros. A medida que avanzamos en esta era digital, es esencial que adoptemos un enfoque consciente y responsable, asegurando que la tecnología sea un vehículo para la equidad, la sostenibilidad, y no una herramienta de perpetuación de desigualdades existentes.

### **Justicia y gobernanza tecnológica**

La justicia tecnológica puede entenderse como un paradigma que busca garantizar la equidad en el acceso a los beneficios digitales, la protección de los derechos fundamentales en entornos tecnológicos, y la mitigación de los impactos socioambientales derivados de la digitalización [Favaretto *et al.*, 2020; Wallimann-Helmer *et al.* 2021].

Esta visión incluye tres dimensiones interconectadas: el acceso equitativo a tecnologías, que implica superar las persistentes brechas digitales que afectan a poblaciones vulnerables [Rupeika-Apoga & Petrovska, 2022]; la salvaguarda de los derechos humanos en entornos digitales, tales como la privacidad, la no discriminación algorítmica y la autonomía sobre los datos personales [Mihr, 2017] y la sostenibilidad ambiental, orientada a reducir la huella ecológica generada por infraestructuras digitales como centros de datos y dispositivos conectados [Taffel, 2024].

Paralelamente, la gobernanza tecnológica se refiere a los marcos institucionales y procesos que orientan el desarrollo, uso y regulación de las tecnologías, destacando la necesidad de participación democrática, transparencia y rendición de cuentas [Wallimann-Helmer *et al.*, 2021].

Dado el ritmo acelerado de la innovación, esta gobernanza debe ser adaptativa, según Lv, Xing y Zhang [2023], e inclusiva, integrando tanto al sector público como a la sociedad civil y la empresa privada. No obstante, su implementación enfrenta desafíos sustanciales. Uno de ellos es la fragmentación normativa que debilita la justicia digital global. Por ejemplo, mientras la Unión Europea ha avanzado con marcos como el Artificial Intelligence Act, numerosos países carecen de regulaciones claras sobre inteligencia artificial, lo que produce asimetrías regulatorias y tecnológicas entre regiones [Al-kfairy *et al.*, 2024].

Hartung *et al.* [2022] sostienen que la justicia digital requiere mecanismos transnacionales que garanticen la resolución de disputas en ámbitos como el comercio electrónico y la protección de datos. En este sentido, plataformas como los sistemas de e-justice podrían estandarizar procesos legales digitales a nivel internacional. Otro ámbito crítico es el uso del big data en las llamadas ciudades inteligentes, donde emergen tensiones entre eficiencia y equidad social. Si bien estos macrodatos permiten optimizar servicios urbanos, como el transporte o el consumo energético, su gestión —con frecuencia centralizada en manos privadas— puede marginar a las comunidades que carecen de acceso o alfabetización digital adecuada [Ogunkan & Ogunkan, 2025]. En este contexto, la teoría de la gobernanza policéntrica propuesta por Ostrom [2010] resulta pertinente, ya que sugiere modelos descentralizados donde municipios, ciudadanos y empresas co-diseñan políticas urbanas tecnológicas más justas e inclusivas, tal como destacan Butt & Abdelaziz [2025].

Asimismo, la automatización de procesos judiciales mediante inteligencia artificial plantea dilemas éticos importantes. Algunos sistemas predictivos utilizados en tribunales, por ejemplo, tienden a reproducir los sesgos presentes en los datos con los que fueron entrenados, lo que puede resultar en decisiones discriminatorias [Cofone [2021]. Creutzfeldt *et al.* [2024] subrayan que la confianza del público en la justicia digital depende no sólo de su eficiencia, sino también de que los algoritmos sean auditables, transparentes y comprensibles para todas las partes implicadas.

Frente a estos desafíos, se han propuesto varios principios para avanzar hacia una gobernanza tecnológica más justa y sostenible:

- Entre ellos se encuentra la idea de una “regulación glocal”, que combine estándares globales como los principios de la OCDE para la inteligencia artificial, con adaptaciones locales sensibles a contextos culturales, sociales y económicos específicos [Creutzfeldt *et al.*, 2024].
- La participación ciudadana digital es también fundamental; plataformas de e-participation pueden fortalecer los procesos democráticos permitiendo a las comunidades influir en las decisiones tecnológicas que afectan sus vidas [Sun, Ren, & Tang, 2025].
- En el plano ambiental, se aboga por fomentar prácticas como la desmaterialización, la economía circular y colaborativa, y el uso responsable del Internet de las Cosas (IoT), siempre que se evite caer en estrategias de greenwashing o simulación de sostenibilidad digital [Giovanardi *et al.*, 2023; Taffel, 2024].

Finalmente, la implementación de marcos efectivos de justicia digital requiere el análisis empírico de experiencias exitosas. Un ejemplo ilustrativo es Estonia, donde el concepto de derechos digitales se ha incorporado sistemáticamente al diseño institucional, permitiendo un uso eficaz y ético de las tecnologías en ámbitos como la salud, la educación y la justicia [Mihr, 2017]. Estos modelos pueden ofrecer aprendizajes valiosos para replicar o adaptar en otros contextos, siempre que se acompañen de procesos de monitoreo y evaluación participativos y transparentes.

### **Innovación con conciencia: Hacia una ética digital transformadora**

La rápida evolución tecnológica exige un replanteamiento ético que trasciende la mera eficiencia técnica, abogando por principios fundamentales de equidad, sostenibilidad y bien común. Como señalan Ogunkan y Ogunkan [2025], el uso de big data en infraestructuras urbanas ejemplifica esta dualidad; si bien optimiza servicios públicos, su implementación centralizada puede excluir a comunidades marginadas.

Este dilema resalta la necesidad imperiosa de encontrar un equilibrio crítico entre innovación e inclusión, donde la tecnología no se convierta en un vehículo para reproducir desigualdades estructurales [Sun, Ren, & Tang, 2025]. En este sentido, la ética digital se presenta no como un obstáculo para el progreso, sino como un faro orientador que guía el desarrollo hacia objetivos socialmente justos y ecológicamente viables [Di Stefano *et al.*, 2012].

### **Modelos digitales responsables: Bien común como prioridad**

La gobernanza tecnológica debe ir más allá de paradigmas meramente mercantiles, adoptando enfoques centrados en el bien colectivo. Hartung *et al.* [2022] subrayan que los sistemas de justicia digital, tales como las plataformas de resolución de disputas en línea, solo serán legítimos si garantizan accesibilidad para poblaciones vulnerables. Esta exigencia da paso a la implementación de dos principios cruciales: la transparencia algorítmica y la participación ciudadana. La primera se refiere a la necesidad de evitar sesgos en herramientas de inteligencia artificial judicial [Cofone, 2021], requiriendo la aplicación de marcos éticos como los Principios de Toronto [2018] para asegurar la equidad en el machine learning.

La segunda implica la co-diseñación de políticas tecnológicas a través de consultas públicas digitales [Butt & Abdelaziz, 2025]. Ejemplos como Estonia, pionera en e-governance inclusiva [Mihir, 2017], evidencian que la tecnología puede empoderar a los ciudadanos cuando se vincula a derechos humanos y mecanismos de rendición de cuentas.

### **Ética digital consciente: Un marco integrador**

La ética en la era digital no puede ser reducida a códigos de conducta voluntarios; necesita de regulaciones vinculantes y enfoques multinivel. Wallimann-Helmer *et al.* [2021], proponen tres pilares esenciales para construir una ética transformadora: ambiental, social y global. En el ámbito ambiental, es imperativo evaluar los ciclos de vida completos de los productos digitales, desde la minería de metales raros hasta el desecho de dispositivos [Taffel, 2024]. En el ámbito social, es fundamental garantizar que los algoritmos utilizados en servicios públicos, como salud o educación, no discriminen por raza o género. Finalmente, en el ámbito global, se demanda la armonización de estándares éticos transnacionales, tal como sugieren las directrices de la OCDE para la gobernanza de datos [Creutfeldt *et al.*, 2024]. La teoría de la justicia distributiva [Rawls, 1971] refuerza este marco, al postular que los beneficios tecnológicos deben distribuirse equitativamente, priorizando a aquellos que históricamente han sido excluidos.

### **Ética como catalizadora de innovación**

El llamado a "humanizar la tecnología" no debe ser interpretado como un rechazo al progreso, sino como una invitación a redefinir lo que este debería significar, incluyendo temas de respeto valores y respeto. Como advierten Creutfeldt *et al.* [2024], la confianza en los sistemas digitales se fundamenta en su capacidad para proteger derechos fundamentales y mitigar daños ambientales. Las futuras investigaciones deberán explorar iniciativas como el Green Digital Pact de la UE, que integra la neutralidad climática en la transformación digital, y así construir modelos replicables. La idea es que, la ética digital no debe ser vista como un freno, sino como el cimiento para una innovación verdaderamente transformadora. Este análisis sintetiza evidencia multidisciplinar para argumentar que la ética digital — lejos de ser restrictiva— es, en realidad, la brújula que garantizará un futuro tecnológico inclusivo, sostenible y centrado en la dignidad humana.

### **Conclusiones**

El análisis crítico de la desmaterialización digital, guiado por el objetivo de examinar sus supuestos y responder a las preguntas sobre la distribución de costos, mecanismos de gobernanza y la posibilidad de una sostenibilidad real, permite extraer las siguientes conclusiones integrales:

1. La desmaterialización digital no elimina los impactos, los redistribuye

Aunque la digitalización promete reducir el uso de recursos físicos y el impacto ambiental, en la práctica desplaza y transforma estos impactos en nuevas problemáticas. El consumo energético de infraestructuras digitales, la generación masiva de residuos electrónicos y la explotación de minerales críticos demuestran que la “inmaterialidad” digital es, en realidad, altamente dependiente de recursos materiales y energéticos. Además, estos costos suelen recaer de manera desproporcionada sobre regiones y comunidades vulnerables, perpetuando desigualdades globales y ambientales.

2. Persisten y se agravan las desigualdades sociales y tecnológicas

La brecha digital, tanto entre países como dentro de ellos, evidencia que la desmaterialización no es universal ni equitativa. El acceso desigual a infraestructuras, competencias digitales y servicios tecnológicos profundiza las exclusiones económicas, educativas y sociales. Grupos vulnerables —como mujeres, adultos mayores y comunidades rurales— enfrentan barreras adicionales, lo que cuestiona la promesa democratizadora de la digitalización.

3. La concentración de poder y la vigilancia digital plantean dilemas éticos urgentes

La desmaterialización ha facilitado la emergencia de oligopolios tecnológicos y una economía de vigilancia basada en la explotación masiva de datos personales. Esto genera nuevas formas de control y erosiona la soberanía de los Estados y los derechos de los ciudadanos. Sin una gobernanza ética y regulaciones robustas, la digitalización puede convertirse en una herramienta de dominación y exclusión, en vez de empoderamiento.

4. La sostenibilidad digital es una meta condicionada, no un resultado automático

La sostenibilidad digital depende de la integración de tres pilares: diseño circular de productos, regulación efectiva y patrones de consumo responsables. Sin estos elementos, la desmaterialización puede caer en el greenwashing, es decir, en la simulación de sostenibilidad sin cambios estructurales reales. La eficiencia digital, por sí sola, no garantiza la reducción del impacto ambiental ni la equidad social.

5. La ética y la justicia deben ser el eje de la innovación tecnológica

El futuro digital sostenible y justo solo será posible si la ética y la justicia tecnológica guían el desarrollo, la implementación y la gobernanza de las tecnologías. Esto implica diseñar marcos regulatorios inclusivos, fomentar la participación ciudadana, garantizar la transparencia algorítmica y priorizar la equidad en la distribución de beneficios y riesgos. La ética no es un freno al progreso, sino la brújula que orienta la innovación hacia el bien común.

6. Hacia una gobernanza tecnológica transformadora

La gobernanza tecnológica debe ser adaptativa, participativa y multinivel, integrando tanto estándares globales como sensibilidades locales. Ejemplos como el modelo estonio de derechos digitales muestran que es posible construir sistemas tecnológicos inclusivos y éticos, siempre que se prioricen la transparencia, la rendición de cuentas y la justicia distributiva.

En síntesis, la desmaterialización digital, lejos de ser una panacea, es un proceso complejo y ambivalente que requiere ser repensado desde una perspectiva sistémica, ética y multidimensional. Solo mediante la integración de justicia social, sostenibilidad ambiental y gobernanza democrática será posible que la digitalización contribuya genuinamente a un futuro más equitativo y sostenible.

## Referencias

- Aktaş, C. B. [2023]. [Dematerialization: Needs and Challenges](#). In *Handbook of Sustainability Science in the Future: Policies, Technologies and Education by 2050* [pp. 1427-1439]. Cham: Springer International Publishing.
- Al-kfairy, M., Mustafa, D., Kshetri, N., Insiew, M., & Alfandi, O. [2024, September]. [Ethical challenges and solutions of generative AI: An interdisciplinary perspective](#). In *Informatics* [Vol. 11, No. 3, p. 58]. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Allen, G. [2018]. [From materiality to dematerialization and back: conceptual writing in a digital age](#). *Postscript: Writing After Conceptual Art*, 233-242.
- Azarifar, M., Arik, M., & Chang, J.-Y. [2024]. [Liquid cooling of data centers: A necessity facing challenges](#). *Applied Thermal Engineering*, 247, 123112.
- Bala, R. [2021]. [Privacy and ethical issues in digitalization world](#). In *Internet of things* [pp. 113-117]. CRC Press.
- Belas, J., Kliestik, T., Dvorsky, J., & Streimikiene, D. [2025]. [Exploring gender-based disparities in the digital transformation and sustainable development of SMEs in V4 countries](#). *Journal of Innovation & Knowledge*, 10[2], 100681.
- Belk, R. [2020]. [The changing notions of materialism and status in an increasingly dematerialized world](#). In *Research handbook on luxury branding* [pp. 2-21]. Edward Elgar Publishing.
- Bican, P. M., & Brem, A. [2020]. [Digital business model, digital transformation, digital entrepreneurship: Is there a sustainable “digital”?](#). *Sustainability*, 12[13], 5239.
- Butt, J., & Abdelaziz, D. K. A. [2025]. [Sustainable Governance in the Digital Age: E-Government Innovations for Climate Action](#). *Journal of Recycling Economy & Sustainability Policy*, 4[1], 54-69.
- Cambridge Centre for Alternative Finance. [2024]. [Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index \(CBECEI\)](#). University of Cambridge, Judge Business School.
- Cervantes Rosas, M. Á., González Arencibia, M., & De Anda Montaña, R. E. [2024]. [Mitos de la desmaterialización digital en el contexto del desarrollo sostenible](#). *Colpamex*. 2992, 40.
- Chen, Q., & Wang, J. [2025]. [The impact of digital economic growth and financial expansion on CO<sub>2</sub> mitigation strategies in leading emitting countries](#). *Scientific Reports*, 15, 10515.
- Coroama, V. C., Moberg, Å., & Hilty, L. M. [2015]. [Dematerialization through electronic media?](#). In *ICT innovations for sustainability* [pp. 405-421]. Springer International Publishing.
- Creutzfeldt, N., Byrom, N., & Sechi, D. [2024]. [Where has my justice gone? The experience of users of digital justice services in England and Wales](#). Nuffield Foundation.
- Delmas, M. A., & Burbano, V. C. [2011]. [The drivers of greenwashing](#). *California Management Review*, 54[1], 64-87.
- Di Stefano, G., Gambardella, A., & Verona, G. [2012]. [Technology push and demand pull perspectives in innovation studies: Current findings and future research directions](#). *Research Policy*, 41[8], 1283–1295.
- Favaretto, M., Shaw, D., De Clercq, E., Joda, T., & Elger, B. S. [2020]. [Big data and digitalization in dentistry: a systematic review of the ethical issues](#). *International journal of environmental research and public health*, 17[7], 2495.

- Feroz, A. K., Zo, H., & Chiravuri, A. [2021]. [Digital transformation and environmental sustainability: A review and research agenda](#). *Sustainability*, 13[3], 1530.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. [2020]. [The Circular Economy – A new sustainability paradigm?](#). *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.
- Giovanardi, M., Konstantinou, T., Pollo, R., & Klein, T. [2023]. [Internet of Things for building façade traceability: A theoretical framework to enable circular economy through life-cycle information flows](#). *Journal of Cleaner Production*, 382, 135261.
- Global E-waste Monitor. [2023]. [The Global E-waste Monitor 2023](#).
- [Global Transboundary E-waste Flows Monitor 2022](#). [2022]. Sustainable Cycles Programme [SCYCLE], UNITAR, ITU, UNIDO, UNEP.
- Gomez-Trujillo, A. M., & Gonzalez-Perez, M. A. [2022]. [Digital transformation as a strategy to reach sustainability](#). *Smart and Sustainable Built Environment*, 11[4], 1137-1162.
- GSMA. [2023]. [The Mobile Gender Gap Report 2023](#).
- Guandalini, I. [2022]. [Sustainability through digital transformation: A systematic literature review for research guidance](#). *Journal of Business Research*, 148, 456-471.
- Hadad, S., & Bratianu, C. [2019]. [Dematerialization of banking products and services in the digital era](#). *Management & Marketing*, 14[3].
- Hartung, F. M., Reiling, J., & Contini, F. [2022]. [The Future of Digital Justice](#). Boston Consulting Group, Bucerius Law School, & Legal Tech Association.
- IEA. [2023]. [CO2 Emissions in 2023 – Analysis](#). International Energy Agency.
- Kasulaitis, B. V., Babbitt, C. W., & Krock, A. K. [2019]. [Dematerialization and the circular economy: Comparing strategies to reduce material impacts of the consumer electronic product ecosystem](#). *Journal of Industrial Ecology*, 23[1], 119-132.
- Cofone, I. N. [2021]. [AI and Judicial Decision-Making](#). In M. D. Dubber, F. Pasquale, & S. Das [Eds.], [The Oxford Handbook of Ethics of AI](#). Oxford University Press.
- Lang, P. P. [2021, April]. [Digitalization of the Society: Legal and Ethical Features](#). In International Scientific Conference “Digital Transformation of the Economy: Challenges, Trends, New Opportunities” [pp. 681-690]. Cham: Springer International Publishing.
- Magaudda, P. [2011]. [When materiality ‘bites back’: Digital music consumption practices in the age of dematerialization](#). *Journal of consumer culture*, 11[1], 15-36.
- Martínez-Peláez, R., Escobar, M. A., Félix, V. G., Ostos, R., Parra-Michel, J., García, V., ... & Mena, L. J. [2024]. [Sustainable digital transformation for SMEs: A comprehensive framework for informed decision-making](#). *Sustainability*, 16[11], 4447.
- Mihr, A. [2017]. [Human Rights in the Digital Age](#). Routledge.
- Mohamed Hashim, M., Tlemsani, I., & Duncan Matthews, R. [2022]. [A sustainable University: Digital Transformation and Beyond](#). *Education and Information Technologies*, 27, 8961–8996.
- Nabbose, V., & Kaar, C. [2020, May]. [Societal and ethical issues of digitalization](#). In Proceedings of the 2020 international conference on Big Data in Management [pp. 118-124].
- Ogunkan, D. V., & Ogunkan, S. K. [2025]. [Exploring Big Data Applications in Sustainable Urban Infrastructure: A Review](#). *Urban Governance*.

- ONU. [2023]. [The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition](#). United Nations.
- Ostrom, E. [2010]. [Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change](#). *Global Environmental Change*, 20[4], 550-557.
- Paredes-Frigolett, H., & Pyka, A. [2023]. [Global dematerialization, the renaissance of Artificial Intelligence, and the global stakeholder capitalism model of digital platforms: current challenges and future directions](#). *Journal of Evolutionary Economics*, 33[3], 671-705.
- Rieger, A. [2021]. [Does ICT result in dematerialization? The case of Europe, 2005-2017](#). *Environmental Sociology*, 7[1], 64-75.
- Rawls, J. [1971]. [A Theory of Justice](#). Harvard University Press.
- Rupeika-Apoga, R., & Petrovska, K. [2022]. [Barriers to sustainable digital transformation in micro-, small-, and medium-sized enterprises](#). *Sustainability*, 14[20], 13558.
- Serkina, Y., Novikova, Z., & Sukhorukih, A. [2022]. [Digitalization processes vs. traditional ones: ethical and environmental aspects](#). *Ethics in Science and Environmental Politics*, 22, 57-67.
- Sun, W., Ren, S., & Tang, G. [2025]. [In the era of responsible artificial intelligence and digitalization: business group digitalization, operations and subsidiary performance](#). *Annals of Operations Research*, 1-23.
- Sidorova, E. [2025, February]. [NFTs, Blockchain, Cryptocurrency, Metaverse: The Web3 Revolution That Has Transformed the Art Market](#). *Arts*, 14[1], 12.
- Taffel, S. [2024]. [Fantasies of dematerialization: \[Un\] sustainable growth and digital capitalism](#). In *Digital Technologies for Sustainable Futures* [pp. 17-31]. Routledge.
- Torres, A. J., Alberto, J. M. C., Guieb, A. P. J., Paray, A. D., & Villarama, J. A. [2025]. [Language, Identity, and Ethics in AI-Driven Art: Perspectives from Human Artists in Digital Environments](#). *Language, Technology, and Social Media*, 3[1], 17-29.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs [UNDESA]. [2022]. [E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government](#). United Nations.
- Wallimann-Helmer, I., Terán, L., Portmann, E., Schübel, H., & Pincay, J. [2021, July]. [An integrated framework for ethical and sustainable digitalization](#). In *2021 Eighth International Conference on eDemocracy & eGovernment [ICEDEG]* [pp. 156-162]. IEEE.
- Ly, D., Xing, Z., & Zhang, L. [2023]. [Linking adaptive governance, strategic flexibility and responsible innovation: Evidence from China](#). *International Journal of Innovation and Technology Management*, 20[6], 2350040.
- Zheng, W., & Fen, Y. [2023]. [The digital economy and the green and high-quality development of the industry—a study on the mechanism of action and regional heterogeneity](#). *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 55846–55863.
- Zuboff, S. [2019]. [The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power](#). PublicAffairs.

## Capítulo 5: De lo físico a lo digital: economía circular en la era de la desmaterialización

### Introducción

En las últimas décadas, el avance acelerado de la digitalización ha reconfigurado profundamente los modelos de producción, consumo y gestión de recursos. Este fenómeno, conocido como desmaterialización, implica el reemplazo de productos físicos por servicios digitales y plantea nuevas oportunidades para repensar el crecimiento económico desde una lógica sostenible. En este contexto, la economía circular (EC) surge como un paradigma transformador que propone desvincular el desarrollo económico del consumo lineal de recursos finitos, integrando principios como la regeneración, la prolongación de la vida útil de los bienes y la minimización de residuos [Geissdoerfer *et al.*, 2017]. La convergencia entre la economía circular y las tecnologías digitales promete una transición estructural hacia modelos más resilientes, inclusivos y sostenibles.

Tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el blockchain y el análisis de big data no solo optimizan los flujos materiales y energéticos, sino que también habilitan nuevos modelos de negocio, como el producto como servicio (PaaS) o las plataformas de acceso compartido [Sjödin *et al.*, 2023; Cerchione, 2025]. Sin embargo, este potencial aún no se ha traducido en resultados tangibles a gran escala, especialmente en sectores tradicionales como la construcción o el textil [De Felice *et al.*, 2024; Çetin *et al.*, 2022], ni en contextos de economías emergentes, donde las brechas tecnológicas y normativas persisten [Sesay *et al.*, 2025].

Diversos estudios sugieren que, si se implementan adecuadamente, los procesos de desmaterialización digital podrían reducir hasta un 20% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero [Ren *et al.*, 2025] y generar beneficios económicos significativos—como lo estima la Unión Europea, que proyecta ganancias por €1.8 billones hacia 2030 [Domenech & Bahn-Walkowiak, 2019]. Sin embargo, estos beneficios dependen de la existencia de marcos regulatorios integrados, indicadores de impacto unificados y capacidades institucionales adecuadas, especialmente en pequeñas y medianas empresas [Findik *et al.*, 2023] y en regiones vulnerables.

La pregunta central de este capítulo es: ¿Cómo pueden las tecnologías digitales catalizar la economía circular para promover un desarrollo sostenible en contextos económicos, sociales y geográficos heterogéneos? El objetivo de este capítulo es analizar las sinergias entre la digitalización y la economía circular, identificando tanto las oportunidades como los desafíos que presenta esta convergencia para el desarrollo sostenible. Se busca examinar los conceptos clave de desmaterialización y economía circular en la era digital, explorar el papel de tecnologías habilitadoras como IoT, IA, blockchain y big data en la implementación de modelos circulares, presentar estudios de caso relevantes que ilustren buenas prácticas a nivel global, y formular recomendaciones prácticas y políticas dirigidas a gobiernos, empresas y otros actores sociales para facilitar la transición circular-digital.

La relevancia de esta temática radica en que la transición hacia modelos de producción y consumo más circulares es una condición necesaria para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS] 2030, particularmente en lo relacionado con la acción climática, la innovación industrial, la reducción de desigualdades y la gestión sostenible de los recursos naturales [Velenturf & Purnell, 2021; Karuppiah *et al.*, 2024]. A su vez, la digitalización actúa como catalizador, al proporcionar herramientas que mejoran la eficiencia, aumentan la transparencia en las cadenas de suministro y permiten una mejor toma de decisiones basada en datos.

Sin embargo, para que esta transición sea equitativa y efectiva, es fundamental abordar los vacíos existentes: la ausencia de métricas integradas y comparables para evaluar los impactos de la EC digitalizada [Banaité, 2016], las limitaciones en políticas públicas, que aún responden a marcos lineales o están desarticuladas entre niveles institucionales [Calisto Friant *et al.*, 2023], y la falta de modelos de negocio circulares adaptados a pymes, que representan la mayor parte del tejido empresarial global [Findik *et al.*, 2023]. Este capítulo pretende contribuir al debate académico y técnico, integrando perspectivas interdisciplinarias y ofreciendo herramientas concretas para los actores involucrados en la transformación hacia una economía digital y circular.

## Economía circular y su vínculo con la desmaterialización digital

La economía circular (EC) constituye un modelo económico sistémico que busca redefinir los procesos de producción y consumo tradicionales, trascendiendo el enfoque lineal de "tomar-hacer-desechar" hacia un sistema regenerativo y restaurativo por diseño [Geissdoerfer *et al.*, 2017]. Según la Fundación Ellen MacArthur [2015, citada en Velenturf & Purnell, 2021], este paradigma se fundamenta en tres principios esenciales: (1) la eliminación de residuos y contaminación desde el diseño, (2) el mantenimiento de productos y materiales en uso el mayor tiempo posible, y (3) la regeneración de sistemas naturales. A diferencia del reciclaje convencional -que opera principalmente en la etapa final del ciclo de vida-, la EC propone una transformación integral que abarca desde el rediseño de productos hasta la creación de nuevos modelos de negocio [Korhonen *et al.*, 2018].

El vínculo entre economía circular y desmaterialización digital emerge como un eje transformador en la era actual. La desmaterialización, entendida como la sustitución de bienes físicos por servicios digitales o la minimización de recursos materiales mediante soluciones tecnológicas [Wernick, 2025], potencia los principios circulares a través de tres mecanismos clave. En primer lugar, las plataformas digitales habilitan modelos de "producto como servicio" (PaaS), donde el valor económico se desplaza desde la propiedad hacia el acceso y uso compartido [Beducci *et al.*, 2025]. Empresas como Philips Lighting -que ofrece "iluminación como servicio"- demuestran cómo este enfoque puede reducir hasta un 40% el consumo de materiales manteniendo la funcionalidad [Schauman *et al.*, 2023].

En segundo término, las tecnologías digitales optimizan los flujos materiales mediante herramientas como IoT para trazabilidad, blockchain para transparencia en cadenas de suministro circulares [Cerchione, 2025], y gemelos digitales que permiten simular ciclos de vida completos sin prototipos físicos [Subramaniam *et al.*, 2025]. Un estudio en la industria de la construcción holandesa reveló que la implementación de Building Information Modeling (BIM) redujo en 28% los residuos de materiales mediante una planificación precisa [Çetin *et al.*, 2022].

El efecto es que, la desmaterialización digital facilita la circularidad funcional mediante la prolongación de la vida útil de productos a través de actualizaciones de software (ej.: smartphones con soporte extendido), plataformas de redistribución (ej.: mercado de componentes electrónicos reutilizados) y servicios en la nube que disminuyen la necesidad de hardware nuevo [Sun *et al.*, 2025]. Como evidencia empírica, la transición de medios físicos (CDs, DVDs) a streaming musical evitó la producción de aproximadamente 500 millones de discos duros entre 2020-2025 [Wernick, 2025].

No obstante, esta convergencia plantea desafíos críticos. Domenech y Bahn-Walkowiak [2019] advierten sobre el "efecto rebote", donde las ganancias en eficiencia material pueden verse contrarrestadas por el aumento del consumo energético digital -la nube representa ya el 3% del consumo eléctrico global [Meinhold *et al.*, 2025]-. Asimismo, persisten brechas regulatorias y tecnológicas, particularmente en economías emergentes donde solo el 35% de las pymes tienen capacidad para implementar modelos circulares digitalizados [Uwugbe *et al.*, 2025].

Teóricamente, esta intersección se sustenta en la teoría de sistemas complejos aplicada a la sostenibilidad [Korhonen *et al.*, 2018], que conceptualiza la EC digital como un ecosistema donde interactúan flujos físicos y virtuales. Complementariamente, la teoría del capitalismo natural [Hawken *et al.*, 1999, citado en Weigend Rodríguez *et al.*, 2020] explica cómo la desmaterialización maximiza la productividad de los recursos, mientras que la economía del rendimiento [Stahel, 2010, citado en Sjödin *et al.*, 2023] enfatiza el valor económico de los servicios sobre la propiedad.

## Modelos clave de la economía circular en el contexto digital

Por otra parte, es necesario destacar los modelos clave en que se sustenta esta economía basada en modelos circulares fundamentales que han evolucionado significativamente en la era digital, trascendiendo el enfoque tradicional de las 4R (reusar, reparar, remanufacturar, reciclar) para incorporar dimensiones tecnológicas innovadoras. Como señala Geissdoerfer *et al.* [2017], este desarrollo representa un cambio de paradigma desde una economía lineal hacia sistemas regenerativos donde la desmaterialización juega un papel central.

Las 4R siguen siendo relevantes, pero su implementación se ha optimizado mediante tecnologías digitales; por ejemplo, plataformas como Back Market han revolucionado el reuso de dispositivos electrónicos, demostrando que la economía circular digital puede generar un valor de mercado estimado en \$67 mil millones para 2025 [Schauman *et al.*, 2023].

La transformación más disruptiva viene de los modelos de servicio, particularmente el Producto como Servicio (PaaS). Beducci *et al.* [2025] explican cómo este modelo desmaterializa la propiedad física, como demuestra Philips Lighting al ofrecer "iluminación como servicio" con sensores IoT que reducen el consumo energético en un 60%. Este enfoque se complementa con la economía de la funcionalidad, donde plataformas digitales como Uber o Airbnb maximizan la utilización de activos existentes. Sin embargo, como advierte Korhonen *et al.* [2018], estos modelos deben diseñarse cuidadosamente para evitar efectos rebote que podrían aumentar el consumo global.

### **Formas de circularidad aplicadas al entorno digital**

A lo anterior se añade que la circularidad en el ámbito digital manifiesta tres dimensiones principales. La circularidad material sigue siendo necesaria para hardware, pero tecnologías como el diseño modular [ejemplificado por Framework Laptop] y la minería urbana han permitido recuperar hasta el 95% de metales preciosos de dispositivos electrónicos [Wulf *et al.*, 2024]. Como señala Çetin *et al.* [2022], la construcción digitalizada mediante BIM ha demostrado reducciones del 28% en residuos materiales, mostrando el potencial de estas tecnologías.

La circularidad funcional representa quizás la contribución más significativa del mundo digital. Servicios en la nube y actualizaciones remotas [como las implementadas por Tesla en sus vehículos] han extendido la vida útil de productos físicos sin requerir nuevos materiales [Sun *et al.*, 2025]. Cerchione [2025] destaca cómo blockchain está permitiendo nuevos modelos de trazabilidad que facilitan la reutilización de componentes en cadenas de suministro complejas.

La circularidad de la información, por su parte, optimiza flujos de recursos mediante plataformas digitales. Mercados de segunda mano como ThredUp han desviado 1.4 millones de toneladas de textiles de vertederos [De Felice *et al.*, 2024], mientras que algoritmos de inteligencia artificial están permitiendo a empresas como Zara reducir inventarios físicos en un 20% [Alsuhaibany, 2025]. No obstante, Meinhold *et al.* [2025] advierten que la infraestructura digital requiere un 3% de la energía global, lo que plantea nuevos desafíos de sostenibilidad.

### **Contraste entre economía circular y lineal digital**

Del análisis realizado se puede plantear que la economía lineal digital, caracterizada por la obsolescencia programada y ciclos cortos de productos, contrasta marcadamente con los principios circulares. Como demuestran Subramaniam *et al.* [2025], los gemelos digitales en manufactura pueden reducir prototipos físicos en un 65%, mientras que la servitización digital en la industria petrolera saudí ha disminuido residuos en un 30% [Alsuhaibany, 2025]. Estos ejemplos ilustran la transformación desde modelos basados en consumo hacia sistemas de uso inteligente.

Sin embargo, Domenech y Bahn-Walkowiak [2019] destacan que solo el 28% de los países tienen marcos regulatorios adecuados para esta transición. En economías emergentes, donde apenas el 35% de las pymes pueden implementar modelos circulares digitales [Uwugbe *et al.*, 2025], la brecha es particularmente preocupante. Velenturf y Purnell [2021] argumentan que superar estos desafíos requiere políticas integradas que combinen incentivos tecnológicos con educación en principios circulares.

### **La desmaterialización como estrategia clave en la economía circular digital**

Del análisis anterior, se puede inferir que la desmaterialización constituye un pilar fundamental en la transición hacia modelos económicos circulares, representando un proceso evolutivo que va desde la simple reducción de materiales hasta la completa eliminación de productos físicos mediante su sustitución por servicios digitales [Wernick, 2025].

Este proceso se enmarca teóricamente dentro de los principios de la economía del rendimiento [Stahel, 2010, citado en Sjödin *et al.*, 2023], que postula el valor económico de los servicios sobre la propiedad física. Como demuestran Beducci *et al.* [2025], la implementación de modelos de "producto como servicio" (PaaS) en sectores como la iluminación ha permitido reducir significativamente el consumo de materiales mientras se mantiene o incluso mejora la funcionalidad.

El impacto de la desmaterialización en las cadenas de suministro es profundo y multidimensional. Por un lado, tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y blockchain están transformando radicalmente la gestión logística, permitiendo una trazabilidad sin precedentes de materiales y componentes [Cerchione, 2025]. Como señala Çetin *et al.* [2022], la digitalización de procesos en la industria de la construcción mediante herramientas como el Building Information Modeling (BIM) ha demostrado reducciones del 28% en residuos materiales, evidenciando el potencial de estas tecnologías para optimizar flujos de recursos. Estos avances operativos encuentran su fundamento teórico en la teoría de sistemas complejos aplicada a la sostenibilidad [Korhonen *et al.*, 2018], que conceptualiza las cadenas de suministro como ecosistemas dinámicos donde interactúan componentes físicos y digitales.

En el ámbito específico de los residuos electrónicos, la desmaterialización ofrece soluciones innovadoras a través de tres vías complementarias: la prolongación de la vida útil mediante actualizaciones de software [Sun *et al.*, 2025], la facilitación de mercados secundarios para componentes usados [De Felice *et al.*, 2024], y el reemplazo de dispositivos físicos por servicios en la nube [Meinhold *et al.*, 2025]. Sin embargo, como advierten Domenech y Bahn-Walkowiak [2019], estos avances deben evaluarse considerando el "efecto rebote", donde las ganancias en eficiencia material pueden verse contrarrestadas por el aumento del consumo energético de la infraestructura digital, que actualmente representa aproximadamente el 3% del consumo eléctrico global.

La implementación exitosa de estrategias de desmaterialización requiere superar importantes barreras estructurales. Investigaciones recientes [Uwugbe *et al.*, 2025] destacan que en economías emergentes apenas el 35% de las pequeñas y medianas empresas cuentan con la capacidad tecnológica y organizacional para adoptar estos modelos. Esta brecha digital subraya la necesidad de políticas integradas que, como proponen Velenturf y Purnell [2021], combinen incentivos tecnológicos con educación en principios circulares, asegurando que los beneficios de la desmaterialización sean accesibles para todos los actores económicos.

Los servicios digitales emergen como sustitutos estratégicos de bienes tangibles, materializando el principio de desmaterialización. Plataformas de streaming que reemplazan medios físicos, software como servicio (SaaS) que sustituye instalaciones locales, y aplicaciones que eliminan la necesidad de dispositivos específicos son ejemplos paradigmáticos [Alsuhaybany, 2025]. No obstante, Uwugbe *et al.* [2025] destacan que en economías emergentes solo el 35% de las pymes tienen capacidad para adoptar estos modelos, revelando una brecha digital crítica que requiere atención política [Velenturf & Purnell, 2021].

### **Sostenibilidad en el diseño digital**

El efecto de lo anterior es que en las últimas décadas, la sostenibilidad se ha consolidado como un principio rector en el desarrollo de políticas, estrategias empresariales y prácticas sociales, especialmente en el contexto del diseño digital y la economía circular. El avance acelerado de la digitalización ha propiciado una profunda transformación en la manera en que se diseñan, producen y consumen bienes y servicios.

En este sentido, la desmaterialización, entendida como la sustitución de productos físicos por servicios digitales, emerge como una estrategia clave para reducir la presión sobre los recursos naturales y minimizar la huella ecológica de la actividad humana. Como lo señalan Meinhold, Wagner y Dhar [2025], la sostenibilidad digital y la eco-eficiencia son dimensiones interdependientes que exigen una revisión crítica de los modelos productivos tradicionales, orientándolos hacia la circularidad y la eficiencia energética.

La economía circular, definida por Geissdoerfer *et al.* [2017] como un paradigma que busca desvincular el crecimiento económico del consumo de recursos finitos, promueve la reutilización, el reciclaje y la prolongación de la vida útil de los productos. Este enfoque contrasta con el modelo lineal de “tomar, hacer, desechar”, que ha predominado desde la Revolución Industrial y que ha contribuido significativamente a la crisis ambiental global. En este contexto, la integración de tecnologías digitales en los procesos de diseño y producción facilita la implementación de estrategias circulares, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y una mayor trazabilidad a lo largo del ciclo de vida de los productos, como argumentan Hedberg y Šipka [2021].

El diseño digital sostenible se articula en torno a prácticas como la codificación eficiente, el diseño UX responsable y el mantenimiento digital consciente. Estas prácticas no solo optimizan el rendimiento de las plataformas y servicios digitales, sino que también contribuyen a la reducción del consumo energético y de las emisiones asociadas a la infraestructura tecnológica. Beducci *et al.* [2025] proponen un marco conceptual en el que la servitización digital, es decir, la provisión de servicios digitales en lugar de productos físicos, se presenta como una vía para reducir el impacto ambiental y fomentar la circularidad, al tiempo que se generan nuevas oportunidades de valor social y económico.

La desmaterialización, como base para la transición de bienes tangibles a soluciones intangibles, ha sido identificada por Schauman, Greene y Korkman [2023] como un motor fundamental para la creación de nuevos mercados y modelos de negocio sostenibles. En el ámbito de la moda, por ejemplo, la digitalización ha permitido el desarrollo de prendas virtuales y experiencias inmersivas que reemplazan parcialmente la necesidad de producción física, contribuyendo así a la disminución del consumo de materiales y energía. Esta tendencia se observa también en otros sectores, como la educación, el entretenimiento y los servicios financieros, donde la digitalización facilita la prestación de servicios de manera más eficiente y con menor impacto ambiental.

El hecho es que la economía circular, al integrarse con la digitalización, se beneficia de tecnologías como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y el blockchain, que permiten la optimización de procesos, la monitorización en tiempo real y la creación de sistemas de incentivos para la reutilización y el reciclaje. Sjödin, Parida y Kohtamäki [2023] sostienen que la inteligencia artificial es un habilitador clave para la innovación en modelos de negocio circulares, al facilitar la toma de decisiones basada en datos y la personalización de servicios según las necesidades de los usuarios. De igual forma, Cerchione [2025] destaca el potencial del blockchain para aumentar el compromiso de los clientes en la economía circular, al garantizar la transparencia y la trazabilidad de los productos a lo largo de su ciclo de vida.

No obstante, la transición hacia una economía circular digitalizada enfrenta desafíos significativos, tanto a nivel técnico como institucional. Korhonen, Honkasalo y Seppälä [2018] advierten sobre las limitaciones inherentes al concepto de economía circular, señalando que la eficiencia en el uso de recursos no siempre se traduce en una reducción absoluta del impacto ambiental, debido a efectos de rebote y a la complejidad de los sistemas socioeconómicos. Por ello, es fundamental complementar las estrategias de circularidad con políticas de suficiencia, que promuevan la moderación en el consumo y la priorización de necesidades reales sobre deseos inducidos por el mercado.

En este contexto, la eficiencia energética en el diseño de plataformas digitales constituye un elemento central en la reducción de la huella ecológica de la digitalización. Alsuhaibany [2025] subraya la importancia de la innovación digital y la economía circular como ejes de transformación sostenible en sectores intensivos en recursos, como el petróleo y el gas, donde la digitalización puede contribuir a optimizar procesos y reducir emisiones. Asimismo, Sun *et al.* [2025] exploran cómo la economía digital puede impulsar el desarrollo de la economía circular en China, destacando la necesidad de políticas integradas que fomenten la adopción de tecnologías limpias y la gestión eficiente de los recursos.

En el ámbito urbano, la economía circular se presenta como una estrategia para abordar los desafíos de sostenibilidad en las ciudades, que concentran la mayor parte de la población y del consumo mundial de recursos. Calisto Friant *et al.* [2023] analizan las políticas de economía circular en ciudades como Ámsterdam, Glasgow y Copenhague, identificando factores clave para su éxito, como la colaboración entre actores públicos y privados, la innovación tecnológica y la participación ciudadana.

La digitalización, en este contexto, facilita la creación de plataformas de intercambio, la gestión inteligente de residuos y la promoción de modelos de consumo colaborativo, contribuyendo así a la resiliencia y sostenibilidad urbana.

Por otro lado, el sector industrial también se beneficia de la integración de la economía circular y la digitalización. Findik, Tirgil y Özbuğday [2023] evidencian el papel de la Industria 4.0 como facilitador de prácticas circulares en las pequeñas y medianas empresas europeas, permitiendo una mayor eficiencia en el uso de materiales y energía, así como la reducción de residuos a través de la automatización y la analítica avanzada. Wulf *et al.* [2024] destacan la digitalización de la economía circular en la industria del mueble, donde la trazabilidad digital y el diseño modular permiten alargar la vida útil de los productos y facilitar su reutilización y reciclaje.

En cuanto a la gestión de residuos, la economía circular promueve la valorización de materiales y la minimización de desechos mediante el diseño para el desmontaje, la reparación y el reciclaje. Pambudi *et al.* [2025] identifican factores clave para la transición verde en la gestión circular de residuos, como la innovación tecnológica, el desarrollo de modelos de negocio sostenibles y la cooperación intersectorial. Estas estrategias requieren un enfoque sistémico que contemple tanto la dimensión ambiental como la social y económica de la sostenibilidad.

La educación y la participación ciudadana son elementos esenciales para el éxito de la economía circular y la sostenibilidad digital. Carbonell-Alcocer *et al.* [2022] enfatizan la necesidad de involucrar a la ciudadanía en procesos de cambio social a través de la educación para la sostenibilidad, promoviendo valores de responsabilidad, cooperación y conciencia ecológica. Esta perspectiva coincide con la visión de Velenturf y Purnell [2021], quienes proponen principios rectores para una economía circular sostenible, entre los que destacan la equidad social, la integración de conocimientos y la adaptación a contextos locales.

La literatura reciente también aborda la relación entre economía circular, digitalización y desarrollo económico. George, Lin y Chen [2015] presentan un modelo en el que la economía circular impulsa el crecimiento económico a partir de la eficiencia en el uso de recursos y la generación de nuevas oportunidades de empleo y emprendimiento. Nademi y Kalmarzi [2025] argumentan que la economía circular puede contribuir a romper el ciclo del desempleo, al crear empleos sostenibles en sectores emergentes vinculados a la gestión de recursos, la reparación y el reciclaje.

Este enfoque es especialmente relevante en economías en transición, donde la digitalización puede acelerar la adopción de prácticas circulares y facilitar la integración de grupos vulnerables en el mercado laboral.

Sin embargo, la implementación de la economía circular y la sostenibilidad digital requiere superar barreras institucionales, culturales y tecnológicas. Domenech y Bahn-Walkowiak [2019] identifican lecciones de política en la Unión Europea, subrayando la importancia de marcos regulatorios coherentes, incentivos económicos y mecanismos de colaboración entre sectores. Sesay *et al.* [2025] comparan las políticas de economía circular en Estados Unidos, la Unión Europea y China, destacando la necesidad de adaptar las estrategias a los contextos nacionales y de fortalecer la cooperación internacional para abordar desafíos globales como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

En general, la sostenibilidad en el diseño digital, en el marco de la desmaterialización y la economía circular, representa una oportunidad para reconfigurar los sistemas productivos y de consumo hacia modelos más eficientes, resilientes y equitativos. La integración de teorías como la economía circular, la servitización digital y la suficiencia permite abordar los desafíos ambientales, sociales y económicos de manera holística, promoviendo la innovación y la colaboración entre actores.

Como señala Geissdoerfer *et al.* [2017], la economía circular constituye un nuevo paradigma de sostenibilidad que exige repensar las relaciones entre tecnología, sociedad y naturaleza. La digitalización, por su parte, actúa como catalizador de este cambio, facilitando la transición hacia sistemas más inteligentes, adaptativos y sostenibles.

La relación entre los distintos enfoques y teorías aquí expuestos evidencia la necesidad de una visión integrada y multidisciplinaria para enfrentar los retos de la sostenibilidad en la era digital. La economía circular y la digitalización no son fines en sí mismos, sino medios para alcanzar un desarrollo sostenible que respete los límites planetarios y promueva el bienestar de las generaciones presentes y futuras. La consolidación de estos modelos dependerá de la capacidad de las sociedades para innovar, cooperar y adaptarse a un entorno en constante transformación, guiadas por principios de equidad, responsabilidad y respeto por el medio ambiente.

### **Modularidad y longevidad digital**

La modularidad y la longevidad digital se han convertido en conceptos clave en la transición hacia modelos productivos más sostenibles, especialmente cuando se analizan desde la perspectiva de la economía circular y la desmaterialización. La economía circular, según Geissdoerfer, Savaget, Bocken y Hultink [2017], propone un cambio sistémico que busca desvincular el crecimiento económico del consumo de recursos finitos, priorizando la extensión de la vida útil de los productos, la reutilización y el reciclaje. En este contexto, la modularidad y la longevidad digital emergen como estrategias fundamentales para cerrar los ciclos de materiales y reducir la presión sobre los recursos naturales.

La extensión de la vida útil de los dispositivos digitales a través de actualizaciones de software y hardware modular es una de las prácticas más eficaces para evitar la obsolescencia prematura y reducir la generación de residuos electrónicos. Como argumentan Beducci, Acerbi, De Carolis y Taisch [2025], la servitización digital y la actualización continua de los sistemas permiten que los dispositivos mantengan su funcionalidad y valor durante períodos significativamente más largos, lo que se traduce en una menor demanda de nuevos recursos materiales.

Este enfoque se alinea con la visión de la economía circular, que privilegia la reparación, el reacondicionamiento y la actualización sobre el reemplazo, fomentando así un uso más eficiente de los recursos y una reducción de los flujos de residuos [Ellen MacArthur Foundation, 2013, citada en Velenturf & Purnell, 2021; Banaitè, 2016].

El diseño modular, tanto en hardware como en software, facilita la adaptabilidad y la reparación de los dispositivos, permitiendo que los componentes individuales puedan ser reemplazados o actualizados sin necesidad de sustituir el producto completo. Esta estrategia no solo prolonga la vida útil de los equipos, sino que también optimiza el uso de materiales y reduce el desperdicio, contribuyendo de manera directa a los principios de la economía circular [Sgambaro, Kaipainen & Chiaroni, 2025]. Además, la modularidad en el software permite la integración de nuevas funcionalidades y la corrección de vulnerabilidades sin comprometer la integridad del sistema, lo que refuerza la resiliencia y la sostenibilidad digital [Çetin, Gruis & Straub, 2022].

En este ámbito la desmaterialización, como enfoque para la reducción del uso de materiales físicos mediante la sustitución por servicios digitales, se presenta como una estrategia complementaria a la economía circular. Schauman, Greene y Korkman [2023] destacan que la digitalización de productos y servicios no solo reduce la necesidad de recursos materiales, sino que también crea nuevas oportunidades de mercado y modelos de negocio basados en la suficiencia y el acceso, más que en la propiedad. Este proceso de desmaterialización se ve potenciado por el desarrollo de infraestructuras digitales como la computación en la nube y el edge computing, que permiten desplazar el procesamiento y almacenamiento de datos fuera de los dispositivos locales, disminuyendo así la necesidad de hardware potente y costoso en manos del usuario final [Meinhold, Wagner & Dhar, 2025].

Por otro lado, la computación en la nube y el edge computing desempeñan un papel relevante en la reducción del hardware local, ya que permiten centralizar y optimizar el uso de recursos informáticos, facilitando la actualización y el mantenimiento remoto de los sistemas. Alsuhaibany [2025] sostiene que la innovación digital, apoyada en estas tecnologías, contribuye a la eficiencia energética y a la reducción de la huella ecológica de las plataformas digitales, al tiempo que promueve la desmaterialización y la circularidad. Este enfoque no solo disminuye el consumo de materiales y energía, sino que también facilita la gestión y el reciclaje de los dispositivos al final de su vida útil, cerrando así el ciclo de los materiales en consonancia con los principios de la economía circular [Wulf *et al.*, 2024].

Consecuentemente, el marco teórico de la economía circular se apoya en la teoría de sistemas, que concibe los procesos económicos como redes de componentes interconectados, donde los residuos de un proceso se convierten en insumos para otros [Ghisellini, Cialani & Ulgiati, 2015; Ellen MacArthur Foundation, 2013, citada en Velenturf & Purnell, 2021].

Bajo este paradigma, la modularidad y la longevidad digital no solo contribuyen a la eficiencia en el uso de los recursos, sino que también promueven la resiliencia de los sistemas productivos y la creación de valor a largo plazo [Weigend Rodríguez *et al.*, 2020]. La desmaterialización, por su parte, refuerza este modelo al minimizar la entrada de materiales vírgenes y maximizar el aprovechamiento de los recursos existentes, cerrando los ciclos ecológicos y económicos [Carrillo & Pomar, 2021].

El análisis de la literatura revela que la transición hacia una economía circular y desmaterializada exige la integración de políticas públicas, innovación tecnológica y cambios culturales orientados a la sostenibilidad. Domenech y Bahn-Walkowiak [2019] señalan que la implementación efectiva de estos modelos requiere marcos regulatorios coherentes, incentivos económicos y mecanismos de colaboración entre sectores. Además, la educación y la sensibilización ciudadana son fundamentales para fomentar una cultura de consumo responsable y prolongar la vida útil de los dispositivos electrónicos [Carbonell-Alcocer *et al.*, 2022].

El efecto es que, la modularidad y la longevidad digital, analizadas en el marco de la economía circular y la desmaterialización, representan estrategias integrales para avanzar hacia sistemas productivos más sostenibles y resilientes. La actualización digital, el diseño modular y el despliegue de infraestructuras basadas en la nube y edge computing permiten optimizar el uso de recursos, reducir la generación de residuos y minimizar el impacto ambiental de la digitalización.

Estas prácticas, respaldadas por la teoría de la economía circular y la desmaterialización, evidencian la necesidad de un enfoque sistémico y colaborativo que articule la innovación tecnológica, la regulación y la educación para lograr una transición efectiva hacia la sostenibilidad [Geissdoerfer *et al.*, 2017; Hedberg & Šipka, 2021; Schauman *et al.*, 2023].

### **Emergencia de las plataformas digitales circulares: Análisis y perspectivas**

La emergencia de las plataformas digitales circulares ha reconfigurado los paradigmas tradicionales de producción y consumo, integrando principios de la economía circular [EC] con avances tecnológicos. Este fenómeno responde a la urgencia ambiental —con 2,100 millones de toneladas de residuos sólidos generados globalmente en 2023 [Banaitè, 2016]—, y representa una oportunidad económica valuada en 4.5 billones de dólares para 2030 [Sverko Grdic *et al.*, 2020]. Las plataformas operan bajo tres ejes fundamentales: modelos de acceso compartido, sistemas de reutilización/redistribución y sustitución digital del consumo lineal, todos articulados mediante tecnologías emergentes como IoT, blockchain e inteligencia artificial [Tabares *et al.*, 2025].

#### **Modelos de acceso compartido: De la posesión al uso optimizado**

La economía colaborativa, sustentada en plataformas digitales, ha transformado la relación entre propiedad y utilidad. Rifkin [2011], citado en el estudio catalán sobre digitalización y EC, señala que el acceso temporal a bienes mediante plataformas reduce la necesidad de producción nueva, alineándose con el principio circular de "producto como servicio" [Geissdoerfer *et al.*, 2017]. Ejemplos como Airbnb y Uber demuestran que la subutilización de activos [como viviendas vacías el 90% del tiempo y vehículos estacionados el 95% del día] puede transformarse en recursos compartidos, generando ahorros del 30-40% en huella de carbono por transacción.

Este modelo se amplía con plataformas B2B como Upcyclea, que gestiona el ciclo completo de materiales de construcción mediante blockchain, permitiendo su reutilización en un 78% de los casos. La teoría de Pearce y Turner [1990] sobre las funciones económicas del ambiente se actualiza aquí: las plataformas digitales asumen el rol de intermediarias inteligentes que maximizan la vida útil de los recursos, reduciendo la extracción de materias primas en un 22% según datos de la UE.

## Plataformas de reutilización y redistribución: Mercados circulares y SaaS

Los marketplaces digitales han escalado la economía circular al conectar oferta y demanda de bienes usados o excedentes. Stripe reporta un crecimiento del 550% en alquileres de bienes mediante plataformas como Fat Llama y Nuuly, donde el 63% de los artículos intercambiados extienden su vida útil de 3 a 5 años. Tecnológicamente, estas plataformas integran:

- IoT para trazabilidad: Sensores en productos monitorizan condiciones y facilitan su reintroducción al mercado [Cerchione, 2025].
- Big Data para emparejamiento predictivo: Algoritmos cruzan 15 variables [ubicación, estado, demanda] para optimizar transacciones.
- Blockchain para certificación: NFTs funcionales validan la autenticidad y ciclo de vida en plataformas como CircularX, gestionando 1 millón de productos en 2024.

El modelo SaaS [Software as a Service] emerge como un habilitador clave. La plataforma CircularX de Recommerce, desarrollada con PALO IT, combina herramientas B2B para logística inversa con interfaces B2C que incrementan la tasa de recuperación de productos en un 40%. Esto ejemplifica la teoría de la ecología industrial aplicada a escala digital: los residuos de un actor se convierten en insumos para otro mediante sistemas de información integrados [Domenech & Bahn-Walkowiak, 2019].

## Sustitución digital del consumo lineal: De lo físico a lo virtual

La desmaterialización mediante servicios digitales constituye la frontera más innovadora. La app Go Zero Waste reduce un 25% el consumo de envases mediante geolocalización de tiendas a granel, mientras que Schauman *et al.* [2023] documentan cómo los "dobletes digitales" de prendas en metaversos disminuyen las compras físicas en moda. Aunque incipiente, este enfoque podría eliminar el 19% de la producción textil para 2030.

Los NFTs no fungibles adquieren funciones circulares: en 2024, la startup Ecosoul lanzó certificados digitales adjuntos a muebles físicos que garantizan su reparación gratuita y trazabilidad de materiales. Este modelo, basado en la teoría de "activos inteligentes" de la Fundación Ellen MacArthur, ha logrado que el 68% de los usuarios conserven productos un 50% más de tiempo que el promedio.

Casos paradigmáticos: Lecciones para la transición circular

- Patagonia Worn Wear: Su marketplace de ropa usada, respaldado por IoT para verificar calidad, recicló 283 toneladas de textiles en 2024, demostrando que la recompra puede ser tres veces más rentable que la venta nueva.
- Toyota Mechacomi: Plataforma B2B que redistribuye equipos industriales usados entre talleres, reduciendo compras nuevas en un 35% y residuos electrónicos en un 28%.
- Ecolife Recycling: Integra análisis predictivo con rutas logísticas optimizadas por IA, valorizando el 92% de los residuos plásticos en nuevos productos.

Estos casos validan el marco teórico de Korhonen *et al.* [2018], donde la EC requiere flujos simbióticos de materiales, energía e información. La digitalización actúa como catalizador: en Nuuly, el machine learning reduce un 17% los costos de inventario al predecir tendencias de reutilización.

A pesar de su potencial, las plataformas circulares enfrentan barreras significativas:

- Asimetrías regulatorias: El 60% de los países carecen de marcos para la economía colaborativa, generando conflictos como la disputa fiscal de Airbnb en Barcelona.
- Brecha digital: Solo el 34% de las pymes en economías emergentes utilizan estas herramientas, limitando su impacto.

- Externalidades ocultas: El aumento del 22% en entregas rápidas por comercio puede anular beneficios ambientales.

No obstante, la convergencia entre tecnologías 4.0 y modelos circulares sugiere un camino viable. Como propone Tabares *et al.* [2025], la "transición gemela" digital-circular podría reducir un 45% las emisiones sectoriales para 2035, siempre que se articule con políticas públicas que incentiven interoperabilidad y estándares abiertos. Consecuentemente, las plataformas digitales circulares representan más que herramientas tecnológicas; son arquitecturas socio-técnicas que redefinen las relaciones económicas bajo principios de regeneración y optimización. Su evolución dependerá de integrar marcos teóricos de ecología industrial con innovaciones disruptivas, cerrando el círculo entre bits y átomos para una economía post-extractivista.

### **Más allá del reciclaje: circularidad sin materia**

La economía digital emerge como un paradigma transformador que redefine los principios tradicionales de la economía circular al reducir, e incluso eliminar, la necesidad de reciclar mediante la desmaterialización de productos y servicios. En lugar de centrarse únicamente en la gestión eficiente de residuos, la economía digital propone un cambio estructural en la forma en que se generan, utilizan y disponen los recursos. Este enfoque se alinea con la perspectiva de Alsuhaibany [2025], quien destaca cómo la innovación digital impulsa la transformación sostenible en sectores intensivos en recursos como el petróleo y gas, al sustituir procesos físicos por soluciones digitales. Así, el énfasis se desplaza del reciclaje hacia la prevención de la producción misma, gracias a tecnologías que permiten compartir, virtualizar o sustituir productos tangibles.

Esta desmaterialización se traduce en nuevas formas de consumo y producción, como el streaming en lugar de los soportes físicos o los libros electrónicos frente a los impresos, reduciendo significativamente el uso de materiales. Según Beducci *et al.* [2025], la servitización digital —la provisión de servicios en lugar de productos— no solo minimiza la presión sobre los recursos, sino que también genera impactos positivos en el ámbito social y ambiental. Esta transformación requiere reimaginar conceptos obsoletos como la obsolescencia programada, que históricamente fomentaba el reemplazo continuo de bienes materiales. En un entorno digital, la vida útil de un producto puede extenderse indefinidamente mediante actualizaciones de software, mantenimiento remoto o el uso de gemelos digitales, como lo plantea Cui [2025] en su análisis sobre liderazgo digital e innovación verde.

La obsolescencia programada, originalmente concebida como una estrategia para estimular el consumo, se ve socavada por las prácticas digitales que privilegian la durabilidad y la adaptabilidad. Tal como afirman Geissdoerfer *et al.* [2017], la economía circular debe trascender la mera reutilización de materiales e integrarse con nuevas tecnologías para repensar completamente los ciclos de vida de los productos. En este sentido, los gemelos digitales permiten simular, monitorear y optimizar productos y sistemas físicos en tiempo real, fomentando su mantenimiento predictivo y evitando la generación de residuos. Este enfoque también permite a las empresas optimizar sus procesos productivos sin incurrir en costosos impactos ambientales, como lo evidencian Findik *et al.* [2023] en el contexto de las pymes europeas.

Desde una perspectiva teórica, la economía digital representa una evolución hacia un modelo de circularidad inmaterial o "circularidad sin materia", donde los flujos de información sustituyen a los flujos físicos. Banaité [2016] sugiere que los indicadores tradicionales de sostenibilidad deben adaptarse para captar estos nuevos flujos y comprender cómo las transformaciones digitales inciden en la eficiencia de los recursos. Esta visión se complementa con la propuesta de Calisto Friant *et al.* [2023], quienes destacan la necesidad de integrar enfoques urbanos circulares con tecnologías digitales para abordar de forma sistémica los desafíos de sostenibilidad en las ciudades.

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) se posiciona como un catalizador clave para esta nueva etapa de la economía circular. A través de algoritmos predictivos, análisis de datos y automatización, la IA optimiza procesos, reduce desperdicios y potencia la toma de decisiones sostenibles [Carissimi *et al.*, 2024]. Esta tendencia apunta hacia una economía regenerativa, donde la tecnología no solo mitiga el daño ambiental, sino que contribuye activamente a restaurar los ecosistemas. Como sostienen Domenech y Bahn-Walkowiak [2019], la transición hacia una economía circular eficaz requiere políticas integradas, innovación tecnológica y cambios culturales profundos.

En consecuencia, la digitalización no debe considerarse únicamente como una herramienta de eficiencia, sino como un nuevo paradigma que redefine la relación entre humanidad, tecnología y naturaleza, avanzando hacia un modelo económico que no solo recicle, sino que reimagine la propia necesidad de materia.

## Conclusiones

La digitalización y la economía circular, al integrarse, están transformando los modelos de producción y consumo hacia esquemas más sostenibles y resilientes. La desmaterialización, es decir, el reemplazo de bienes físicos por servicios digitales, permite reducir el uso de recursos materiales, prolongar la vida útil de productos y minimizar la generación de residuos, facilitando la transición hacia una economía menos dependiente de recursos finitos y más orientada a la regeneración y reutilización de materiales.

Tecnologías como el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial y el blockchain optimizan la trazabilidad, la transparencia y la eficiencia en las cadenas de suministro, y habilitan modelos de negocio innovadores basados en el acceso y la funcionalidad en lugar de la propiedad.

Este cambio no solo aporta beneficios ambientales, como la reducción de emisiones y el ahorro de recursos, sino que también genera oportunidades económicas y sociales, incluyendo la creación de nuevos empleos y la inclusión de sectores tradicionalmente marginados. Sin embargo, para que estos beneficios se materialicen de manera equitativa y a gran escala, es necesario superar desafíos como la brecha digital, la falta de marcos regulatorios integrados y la necesidad de indicadores comparables para evaluar los impactos de la circularidad digital.

El modularidad y la longevidad digital emergen como estrategias clave para evitar la obsolescencia prematura de dispositivos y prolongar su vida útil, mientras que la economía colaborativa y las plataformas digitales circulares están redefiniendo la relación entre propiedad y uso, optimizando el aprovechamiento de recursos existentes y reduciendo la presión sobre los sistemas productivos. No obstante, persisten riesgos como el efecto rebote, donde las ganancias en eficiencia pueden verse contrarrestadas por el aumento del consumo energético asociado a la infraestructura digital.

La consolidación de este nuevo paradigma requiere políticas públicas integradas, incentivos económicos, educación en principios circulares y la colaboración entre gobiernos, empresas y ciudadanía. Solo así será posible avanzar hacia sistemas productivos y de consumo más eficientes, inclusivos y respetuosos con los límites planetarios, impulsando un desarrollo sostenible adaptado a los retos sociales, económicos y ambientales de la era digital.

## Referencias

- Alsuhaibany, Y. [2025]. [Digital Innovation and Circular Economy: A Nexus for Sustainable Oil and Gas Sector Transformation in Saudi Arabia](#). *Sustainability*, 17[3], 1325.
- Banaitè, D. [2016]. [Towards circular economy: analysis of indicators in the context of sustainable development](#). *Social Transformation in Contemporary Society*, 4[9], 142-150.
- Beducci, E., Acerbi, F., De Carolis, A., & Taisch, M. [2025]. [Exploring the role of digital servitization for sustainability: A framework for environmental and social impact](#). *Cleaner Environmental Systems*, 100269.
- Calisto Friant, M., Reid, K., Boesler, P., Vermeulen, W. J., & Salomone, R. [2023]. [Sustainable circular cities? Analysing urban circular economy policies in Amsterdam, Glasgow, and Copenhagen](#). *Local Environment*, 28[10], 1331-1369.
- Carbonell-Alcocer, A., Romero-Luis, J., Gértrudix, M., & Borges-Rey, E. [2022]. [Educating for a sustainable future through the Circular Economy: Citizen involvement and social change](#).
- Carissimi, M. C., Hameed, H. B., & Creazza, A. [2024]. [Circular economy: The future nexus for sustainable and resilient supply chains?](#). *Sustainable Futures*, 8, 100365.

- Cerchione, R. [2025]. [Design and evaluation of a blockchain-based system for increasing customer engagement in circular economy](#). *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 32[1], 160-175.
- Çetin, S., Gruis, V., & Straub, A. [2022]. [Digitalization for a circular economy in the building industry: Multiple-case study of Dutch social housing organizations](#). *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15, 200110.
- Cui, J. [2025]. [Exploring the impact of digital leadership and green digital innovation on corporate digital transformation](#). *Journal of Current Social Issues Studies*, 2[4], 215-220.
- De Felice, F., Fareed, A. G., Zahid, A., Nenni, M. E., & Petrillo, A. [2024]. [Circular economy practices in the textile industry for sustainable future: A systematic literature review](#). *Journal of Cleaner Production*, 144547.
- Domenech, T., & Bahn-Walkowiak, B. [2019]. [Transition towards a resource efficient circular economy in Europe: policy lessons from the EU and the member states](#). *Ecological Economics*, 155, 7-19.
- Findik, D., Tirgil, A., & Özbuğday, F. C. [2023]. [Industry 4.0 as an enabler of circular economy practices: evidence from European SMEs](#). *Journal of Cleaner Production*, 410, 137281.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. [2017]. [The Circular Economy--A new sustainability paradigm?](#) *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.
- George, D. A., Lin, B. C. A., & Chen, Y. [2015]. [A circular economy model of economic growth](#). *Environmental Modelling & Software*, 73, 60-63.
- Hedberg, A., & Šipka, S. [2021]. [Toward a circular economy: The role of digitalization](#). *One Earth*, 4[6], 783-785.
- Karuppiah, K., Virmani, N., & Sindhvani, R. [2024]. [Toward a sustainable future: integrating circular economy in the digitally advanced supply chain](#). *Journal of Business & Industrial Marketing*, 39[12], 2605-2619.
- Nademi, Y., & Kalmarzi, H. S. [2025]. [Breaking the unemployment cycle using the circular economy: Sustainable jobs for sustainable futures](#). *Journal of Cleaner Production*, 488, 144655.
- Karuppiah, K., Virmani, N., & Sindhvani, R. [2024]. [Toward a sustainable future: integrating circular economy in the digitally advanced supply chain](#). *Journal of Business & Industrial Marketing*, 39[12], 2605-2619.
- Nademi, Y., & Kalmarzi, H. S. [2025]. [Breaking the unemployment cycle using the circular economy: Sustainable jobs for sustainable futures](#). *Journal of Cleaner Production*, 488, 144655.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. [2018]. [Circular economy: the concept and its limitations](#). *Ecological Economics*, 143, 37-46.
- Meinhold, R., Wagner, C., & Dhar, B. K. [2025]. [Digital sustainability and eco-environmental sustainability: A review of emerging technologies, resource challenges, and policy implications](#). *Sustainable Development*, 33[2], 2323-2338.
- Pambudi, N. F., Simatupang, T. M., Samarakoon, S. S. M., Mulyono, N. B., Ratnayake, R. C., & Okdinawati, L. [2025]. [Factors and future scenarios for green transition in circular waste management business model development](#). *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 11[1], 100504.
- Ren, Q., Li, J., & Albrecht, J. [2025]. [Toward circular economy: Implementing circular economy strategies to reduce carbon emissions in Chinese cities](#). *Business Strategy and the Environment*, 34[1], 914-931.

- Schauman, S., Greene, S., & Korkman, O. [2023]. [Sufficiency and the dematerialization of fashion: How digital substitutes are creating new market opportunities](#). *Business Horizons*, 66[6], 741-751.
- Sesay, F., Sesay, M., Azizi, M. I., Kanneh, S. M., Mwale, M., & Rahmani, B. [2025]. [Circular Economy towards Sustainable Development: A Review of US, EU, and China's Policies](#). *Advances in Research*, 26[1], 213-234.
- Sgambaro, L., Kaipainen, J., & Chiaroni, D. [2025]. [Scaling up circular ecosystems through product design practices: An integrative framework](#). *Computers & Industrial Engineering*, 111073.
- Sjödin, D., Parida, V., & Kohtamäki, M. [2023]. [Artificial intelligence enabling circular business model innovation in digital servitization: Conceptualizing dynamic capabilities, AI capacities, business models and effects](#). *Technological Forecasting and Social Change*, 197, 122903.
- Subramaniam, Y., Mohamad, N. M., Loseby, D. L., & Zambrano-Monserrate, M. A. [2025]. [Does circular economy mitigate environmental emissions among European Union \[EU\] countries?](#). *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 30[3], 1-24.
- Sun, Y., Zhang, R., Qie, X., Li, D., Zhang, X., Du, X., & Wang, Y. [2025]. [Digitalization and sustainable development: How could digital economy drive circular economy development in China?](#). *Environment, Development and Sustainability*, 1-44.
- Sverko Grdic, Z., Krstinic Nizic, M., & Rudan, E. [2020]. [Circular economy concept in the context of economic development in EU countries](#). *Sustainability*, 12[7], 3060.
- Tabares, S., Parida, V., & Chirumalla, K. [2025]. [Twin transition in industrial organizations: Conceptualization, implementation framework, and research agenda](#). *Technological Forecasting and Social Change*, 213, 123995.
- Uwugbe, U., Issah, O., Ranti, U. O., Zubeiru, M., Anaba, S., & Seidu, A. A. J. [2025]. [Circular Economy: A Bibliometric Review of Research in Emerging Economies \[2010-2024\]](#). *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15[1], 77-89.
- Velenturf, A. P., & Purnell, P. [2021]. [Principles for a sustainable circular economy](#). *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457.
- Weigend Rodríguez, R., Pomponi, F., Webster, K., & D'Amico, B. [2020]. [The future of the circular economy and the circular economy of the future](#). *Built Environment Project and Asset Management*, 10[4], 529-546.
- Wernick, I. K. [2025]. [Is America dematerializing? Trends and tradeoffs in historic demand for one hundred commodities in the United States](#). *Resources Policy*, 101, 105463.
- Wulf, F., Hagedorn, L., Munier, L., Balder, J., Mathi, C., Stark, R., & Pfriem, A. [2024]. [Towards digitalization of the circular economy in the furniture industry](#). *Sustainable Production and Consumption*, 52, 45-62.

## Reflexiones finales

Al cierre de este análisis sobre la desmaterialización en la sociedad digital, surgen algunas reflexiones fundamentales que trascienden la visión puramente tecnológica o sectorial de la transformación actual. La desmaterialización se ha consolidado como un motor indiscutible de cambios estructurales en las formas de producir, consumir, educar y relacionar a las personas con los recursos y el medio ambiente. Se configura no solo como una estrategia de eficiencia ambiental, sino como un eje articulador de nuevos paradigmas económicos y sociales. Sin embargo, su potencial transformador está condicionado por numerosas paradojas y limitaciones, que exigen una mirada crítica y global.

### 1. Sostenibilidad condicionada y el desafío del efecto rebote

Si bien la desmaterialización contribuye a la reducción del consumo material y de residuos en sectores clave, su verdadera contribución a la sostenibilidad depende de la gestión del efecto rebote: los beneficios de la eficiencia tienden a diluirse si el incremento en el consumo digital y la demanda energética no va acompañado de una apuesta decidida por las energías renovables, la eficiencia de centros de datos y el diseño de infraestructuras inteligentes.

### 2. Inclusión y brecha digital

El acceso equitativo a los beneficios de la desmaterialización sigue siendo un reto pendiente. Plataformas como M-Pesa en África ilustran el potencial de la digitalización para la inclusión financiera y social, pero la brecha digital [infraestructura, competencias, acceso a dispositivos] amenaza con convertir la desmaterialización en un nuevo vector de desigualdad si no se acompaña de políticas activas de formación y conectividad universal.

### 3. Reconceptualización del valor y del bienestar

En este escenario, el bienestar se redefine más allá de la acumulación de bienes materiales, orientándose hacia el acceso, la participación y la capacidad de adaptación en ecosistemas digitales abiertos y colaborativos. La transición de la propiedad al acceso y la servitización implica repensar las métricas de progreso y éxito en clave de resiliencia, circularidad y democratización de la innovación.

### 4. Gobernanza, ética y marcos regulatorios

El avance de modelos de negocio desmaterializados exige nuevas formas de gobernanza y regulación, capaces de resolver tensiones entre eficiencia, control corporativo y derechos ciudadanos. La protección de datos, la transparencia algorítmica, la fiscalización ambiental de la infraestructura digital y la mitigación de monopolios tecnológicos son condiciones necesarias para garantizar que la desmaterialización beneficie al conjunto de la sociedad.

### 5. Sinergia entre circularidad y digitalización

La convergencia entre desmaterialización y economía circular aparece como la ruta más prometedora para alcanzar modelos productivos y de consumo verdaderamente sostenibles. La integración de plataformas digitales, inteligencia artificial y lógicas de reutilización y reparación pueden permitir reducir drásticamente la presión sobre los ecosistemas sin sacrificar el acceso ni la calidad de los servicios.

### 6. Responsabilidad colectiva ante la transición

Finalmente, la transición hacia un futuro menos material no es un proceso automático ni reservado a expertos o élites tecnológicas. Supone una construcción colectiva que demanda participación activa de estados, empresas, ciudadanía y academia para anticipar los riesgos, democratizar los beneficios y evitar que la desmaterialización se convierta en un privilegio de pocos.

Este libro invita a mirar la desmaterialización como una apuesta ambivalente: una promesa de conciliación entre desarrollo y límites planetarios, pero también un espejo de las contradicciones, riesgos y oportunidades del siglo XXI. Solo mediante la integración crítica de los avances tecnológicos con políticas inclusivas y una ética de la sostenibilidad será posible transformar la desmaterialización en un pilar genuino de bienestar, equidad y resiliencia futura.

## **Declaraciones**

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

### **Contribución de los autores**

*González Arencibia, Mario:* Contribuyó a la conceptualización, el análisis formal, metodología, e investigación.

*Cervantes Rosas, María de los Ángeles:* Contribuyó a la conceptualización, el análisis formal, metodología, e investigación.

*Plasencia Soler, Juan Antonio:* Contribuyó a la conceptualización, la investigación y a la redacción, revisión y edición.

### **Disponibilidad de datos y materiales**

Los datos obtenidos en esta investigación están disponibles a través de los diferentes informes y reportes consultados.

### **Financiación**

La investigación no recibió financiación.

### **Agradecimientos**

La investigación no recibió financiación de ninguna institución, universidad o empresa.

### **Abreviaturas**

Enumere las abreviaturas por orden alfabético.

IA	Inteligencia Artificial
IoT	Internet de las Cosas
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
3D	Tres Dimensiones
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
NFTs	Tokens No Fungibles
UE	Unión Europea
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
eBooks	Libros electrónicos
LCA	Análisis de ciclo de vida
RA	Realidad Aumentada
RV	Realidad Virtual
XR	Realidad Extendida
BIM	Modelado de información de construcción
VLEs	Entornos de Aprendizaje Virtual

e-waste	residuos electrónicos
GDPR	Reglamento General de Protección de Datos
e-justice	Justicia electrónica
EC	Economía Circular
PaaS	Producto como Servicio

## Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

### [Título en TNRoman y negrita No. 14 en inglés y español]

Apellido, Nombre 1<sup>er</sup> Autor\*<sup>a</sup>, Apellido, Nombre 1<sup>er</sup> Coautor<sup>b</sup>, Apellido, Nombre 2<sup>do</sup> Coautor y Apellido, Nombre 3<sup>er</sup> Coautor<sup>d</sup> [No.12 TNRoman]

<sup>a</sup>  [Institución de afiliación](#) •  [Researcher ID](#) •  [ORCID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) • CVU PNPC [No.10 TNRoman]

<sup>b</sup>  [Institución de afiliación](#) •  [Researcher ID](#) •  [ORCID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) • CVU PNPC [No.10 TNRoman]

<sup>c</sup>  [Institución de afiliación](#) •  [Researcher ID](#) •  [ORCID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) • CVU PNPC [No.10 TNRoman]

<sup>d</sup>  [Institución de afiliación](#) •  [Researcher ID](#) •  [ORCID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) • CVU PNPC [No.10 TNRoman]

Todos los perfiles ROR-Clarivate-ORCID y SECIHTI deben estar hipervinculados a su sitio web

Prot-  [University of South Australia](#) •  [7038-2013](#) •  [0000-0001-6442-4409](#) •  416112

**Clasificación SECIHTI:** [https://marvid.org/research\\_areas.php](https://marvid.org/research_areas.php) [No.10 TNRoman]

Área:

Campo:

Disciplina:

Subdisciplina:

**DOI:** <https://doi.org/>



### Claves del libro:

Explique los siguientes aspectos:

- ¿Cuáles son los principales aportes a la generación de Ciencia y Tecnología escritos en esta investigación?
  - ¿Cuáles son los aspectos claves a comprender para aplicar a la generación de conocimiento universal?
  - Escriba las principales conclusiones de la investigación.
  - ¿Cuántos autores cuentan con becas del SECIHTI? ¿Cuántos autores tienen beca PRODEP y cuántos son de fuentes externas?
  - ¿Cuántas citas generaron los autores del trabajo en el último año?
  - ¿De qué instituciones provienen?
- Instituciones Públicas Estatales  
Instituciones Públicas Estatales con Apoyo Solidario  
Universidades Tecnológicas y Politécnicas  
Universidades Interculturales  
Instituciones Privadas
- ¿Cuáles son las palabras clave más utilizadas?

**Citación:** Apellidos, Nombre 1<sup>er</sup> Autor, Apellidos, Nombre 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos, Nombre 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos, Nombre 3<sup>er</sup> Coautor. Año de publicación. Título del libro. [Páginas.] ECORFAN.

Correo electrónico de contacto:

\* ✉ [ejemplo@ejemplo.org]

**URL de la estantería:** <https://www.ecorfan.org/books.php>



ISBN XXX-XX-XXXX-XX-X/© 2009 El Autor[es]. Publicado por ECORFAN-México, S.C. para su Holding X en nombre del Libro X. Este es un libro de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisión por pares bajo la responsabilidad del Comité Científico [MARVID](#)® en la contribución al Proceso de Revisión por Pares científico, tecnológico y de innovación mediante la formación de Recursos Humanos para la continuidad en el Análisis Crítico de la Investigación Internacional.



# Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

---

## Resumen [En inglés]

Debe contener hasta 150 palabras

## Resumen gráfico [En inglés]

El título va aquí		
Objetivos	Metodología	Contribución

Los autores deben proporcionar una imagen original que represente claramente el trabajo descrito en el libro. Los resúmenes gráficos deben presentarse en un archivo aparte. Tenga en cuenta que, al igual que cada artículo, debe ser único. Tipo de archivo: los tipos de archivo son archivos de MS Office. No debe incluirse ningún texto adicional, esquema o sinopsis. Cualquier texto o pie de foto debe formar parte del archivo de imagen. No utilice espacios en blanco innecesarios ni un encabezado de "resumen gráfico" dentro del archivo de imagen.

## Palabras clave [En inglés]

Indique 3 palabras clave en TN Roman y negrita No. 12

## Resumen [En español]

Debe contener hasta 150 palabras

## Resumen gráfico [En español]

El título va aquí		
Objetivos	Metodología	Contribución

## Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

Los autores deben proporcionar una imagen original que represente claramente el trabajo descrito en el libro. Los resúmenes gráficos deben presentarse en un archivo aparte. Tenga en cuenta que, al igual que cada artículo, debe ser único. Tipo de archivo: los tipos de archivo son archivos de MS Office. No debe incluirse ningún texto adicional, esquema o sinopsis. Cualquier texto o pie de foto debe formar parte del archivo de imagen. No utilice espacios en blanco innecesarios ni un encabezado de "resumen gráfico" dentro del archivo de imagen.

### Palabras clave [En español]

Indique 3 palabras clave en TN Roman y negrita No. 12

### Introducción

Texto en TN Roman No.12, a espacio sencillo.

Explicación general del tema y explicar por qué es importante.

¿Cuál es su valor añadido con respecto a otras técnicas?

Enfoque claramente cada una de sus características

Explicar claramente el problema a resolver y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del libro.

Desarrollo de los epígrafes y subepígrafes del libro con los números subsiguientes

### Productos en desarrollo No.12 TN Roman, interlineado sencillo.

Inclusión de figuras y tablas-Editable

En el contenido del Libro cualquier figura y tabla deben ser formatos editables que puedan cambiar de tamaño, tipo y número de letras, a efectos de edición, estas deben ser de alta calidad, no pixeladas y deben ser apreciables incluso reduciendo la escala de la imagen.

[Indicando el título en la parte superior con el No.12 y TN Roman en Negrita].

### Box

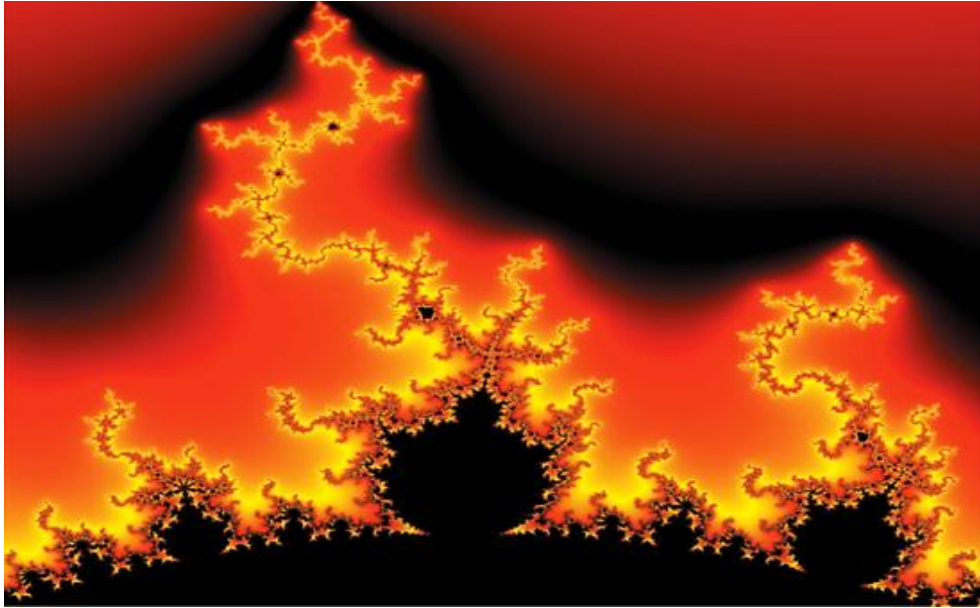
#### Table 1

Título [No deben ser imágenes: todo debe ser editable]



*Fuente [en cursiva]*

**Box**



**Figura 1**

Título [No deben ser imágenes: todo debe ser editable]

*Fuente [en cursiva]*

**El máximo de Box son 10 elementos**

Para el uso de ecuaciones, anotadas como sigue:

$$\int_{lim^{-1}}^{lim^1} = \int \frac{lim^1}{lim^{-1}} = \left[ \frac{1(-1)}{lim} \right]^2 = \frac{(0)^2}{lim} = \sqrt{lim} = 0 = 0 \rightarrow \infty \quad [1]$$

Debe ser editable y el número debe estar alineado a la derecha.

**Metodología**

Desarrollar dar el significado de las variables en la escritura lineal e importante es la comparación de los criterios utilizados.

**Resultados**

Los resultados serán por sección del libro.

**Conclusiones**

Explicar claramente los resultados y las posibilidades de mejora.

**Anexos**

Tablas y fuentes adecuadas.

**El estándar internacional es de 7 páginas mínimo y máximo 14**

# Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

---

## Declaraciones

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

### Contribución de los autores

Especificar la contribución de cada investigador en cada uno de los puntos desarrollados en esta investigación.

Prot-

*Benoit-Pauleter, Gerard*: Contributed to the project idea, research method and technique.

### Disponibilidad de datos y materiales

Indique la disponibilidad de los datos obtenidos en esta investigación.

### Financiación

Indicar si la investigación recibió algún tipo de financiación.

### Agradecimientos

Indicar si fueron financiados por alguna institución, Universidad o empresa.

### Abreviaturas

Enumere las abreviaturas por orden alfabético.

ANN                      Artificial Neural Network

## Referencias

Utilizar el sistema APA. No debe ir numerado, ni con viñetas, sin embargo si es necesario la numeración será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Libro.

Utilice el alfabeto romano, todas las referencias que haya utilizado deben estar en alfabeto romano, incluso si ha citado un libro en cualquiera de los idiomas oficiales de las Naciones Unidas [inglés, francés, alemán, chino, ruso, portugués, italiano, español, árabe], debe escribir la referencia en alfabeto romano y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Las citas se clasifican en las siguientes categorías:

**Antecedentes.** La cita se debe a una investigación publicada anteriormente y orienta el documento que cita dentro de un área académica determinada.

**Básicos.** La cita tiene por objeto informar sobre conjuntos de datos, métodos, conceptos e ideas en los que los autores del documento que cita basan su trabajo.

**Soporte.** El artículo que cita informa de resultados similares. También puede referirse a similitudes en la metodología o, en algunos casos, a la reproducción de resultados.

## **Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication**

---

**Diferencias.** El documento que cita informa mediante una cita de que ha obtenido resultados diferentes a los obtenidos en el documento citado. También puede referirse a diferencias en la metodología o a diferencias en el tamaño de las muestras que afectan a los resultados.

**Discusiones.** El artículo citante cita otro estudio porque proporciona una discusión más detallada sobre el tema tratado.

La URL del recurso se activa en el DOI o en el título del recurso.

Prot-

Mandelbrot, B. B. [2020]. [Negative dimensions and Hölders, multifractals and their Hölder spectra, and the role of lateral preasymptotics in science](#). Journal of Fourier Analysis and Applications Special. 409-432.

### **Requisitos de Propiedad Intelectual para la edición:**

Firma auténtica en color del [Formato de Originalidad](#) de Autor y Coautores.

Firma auténtica en color del [Formato de Aceptación](#) de Autor y Coautores.

Firma auténtica en color del [Formato de Conflicto de Intereses](#) de Autor y Coautores.

## **Reserva a la Política Editorial**

ECORFAN Books se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar la Obra Científica a la Política Editorial del Ecorfan Books. Una vez aceptada la Obra Científica en su versión final, el Ecorfan Books enviará al autor las pruebas para su revisión. Ecorfan® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación de la Obra Científica.

## **Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales**

Declaración de Originalidad y carácter inédito de la Obra Científica, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución.

La Dirección de Ecorfan-México, S.C reivindica a los Autores de la Obra Científica que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes de la Obra Científica deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia de la Obra Científica propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

### **Título de la Obra Científica:**

- El envío de una Obra Científica a Ecorfan Books emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en esta Obra Científica ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en la Obra Científica, así como las teorías y los datos procedentes de otras Obras Científicas previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que Ecorfan-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de esta Obra Científica se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en la Obra Científica.

## Copyright y Acceso

La publicación de esta Obra Científica supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding México para su ECORFAN Books, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada de la Obra Científica y la puesta a disposición de la Obra Científica en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título de la Obra Científica:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre la Obra Científica enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio a la Obra Científica el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de la Obra Científica. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con la Obra Científica que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter la Obra Científica a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Obras Científicas son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Obra Científica definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza de la Obra Científica presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

VLEX (Plataforma global de inteligencia jurídica)

RESEARCH GATE (Alemania)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citaciones-Google)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

EBSCO (Research Database - EBSCO Industries)

#### **Servicios Editoriales**

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Books con PLAGSCAN

Evaluación de Obra Científica

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Obra Científica

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Publicación de Obra Científica

Certificado de Obra Científica

Facturación por Servicio de Edición

#### **Política Editorial y Administración**

Park Pedregal Business 3580 – Adolfo Ruiz Cortines Boulevard, CP-01900. San Jeronimo Aculco Álvaro Obregón - Mexico City. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; E-mail: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

## **ECORFAN®**

### **Editor en Jefe**

Vargas-Delgado, Oscar. PhD

### **Director Ejecutivo**

Ramos-Escamilla, María. PhD

### **Director Editorial**

Peralta-Castro, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

Escamilla-Bouchan, Imelda. PhD

### **Programador web**

Luna-Soto, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

Soriano-Velasco, Jesus. BsC

### **Filólogo**

Ramos-Arancibia, Alejandra. BsC

### **Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan), [sponsorships@ecorfan.org](mailto:sponsorships@ecorfan.org)

### **Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. [financingprograms@ecorfan.org](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

### **Oficinas de Gestión**

Park Pedregal Business 3580 - Adolfo Ruiz Cortines Boulevard, CP-01900. San Jeronimo Aculco Álvaro Obregón - Mexico City.

21 Santa Lucia, CP-5220. Libertadores -Sucre - Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal -Madrid-Spain.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 Avenida La Raza - Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.

Avenida Suroeste, San Sebastian - León-Nicaragua.

31 Kinshasa 6593- Republique Démocratique du Congo.

Avenida San Quentin, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 kilometers, U.S. highway, Terra Alta house, D7 Mixco Zone 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Capitán, CP-2060. Luque City- Paraguay.

69 Street YongHe District, Zhongxin. Taipei-Taiwan.

43 Street # 30 -90 B. El Triunfo CP.50001. Bogotá-Colombia.



9 786078 948642

ISBN 978-607-8948-64-2



[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)