



FEREDIT
Fondo editorial

ALGORITMOS VERDES

TA, CIRCULARIDAD Y DIGNIDAD DE EUROPA A LATAM



CARLUYS SUESCUM COELHO

Algoritmos Verdes

IA, circularidad y dignidad de Europa a Latam

Carluys Suescum Coelho

Colección: Campos fundantes y transversales de la transcomplejidad

Primera Edición, Octubre, 2026

Depósito Legal: **AR2026000295**

ISBN: **978-980-456-158-0**



Se permite copiar, distribuir, comunicar públicamente y adaptar esta obra, siempre que se reconozca adecuadamente la autoría, no se haga con fines comerciales y las obras derivadas se compartan con la misma licencia.

Para citar esta obra: Suescum Coelho, C. (2026). *Algoritmos Verdes. Inteligencia artificial, circularidad y dignidad: de Europa a América Latina*. Colección: Campos fundantes y transversales de la transcomplejidad. FEREDIT



Libros@Red de Investigadores de la Transcomplejidad.

<https://reditve.com>

Rif: J403566976

Portada: Gemini AI

Revisión General: Comité Editorial

Libro arbitrado por pares ciegos

ALGORITMOS VERDES
IA, circularidad y dignidad de Europa a Latam



AUTORIDADES REDIT

Dra. Crisálida Villegas
Presidente

Dra. Nancy Schavino
Vicepresidente

Dra. Mary Stella
Directora de
Administración

Dra. Alicia Uzcátegui
Secretaria



FEREDIT

Dra. Sandra Salazar
Directora

Comité Editorial

Dra. Betty Ruiz
Dra. Rosana Silva
Dra. Evelyn Ereú
Dra. Miozotis Silva
Dr. Arturo Dávila
Dr. Renne Pérez

ÍNDICE DE CONTENIDO

		pp.
	Prólogo	<u>8</u>
	Cuando el código gobierna el ciclo a manera de introducción	<u>12</u>
I	El círculo legislado: regulación circular e inteligencia artificial en el ecosistema europeo	<u>19</u>
	Del Green Deal al Clean Industrial Deal: arquitectura regulatoria de la circularidad	<u>20</u>
	Pasaporte digital de producto como institución jurídico-informacional	<u>26</u>
	Reglamento de Inteligencia Artificial y las cadenas de valor circulares	<u>31</u>
II	Algoritmos que gobiernan residuos. Ética, sesgos y tutela de la dignidad	<u>37</u>
	IA en la gestión de materiales: eficiencia prometida, opacidad documentada	<u>38</u>
	Sesgos algorítmicos y exclusión de los actores informales	<u>42</u>
	Dignidad humana y decisiones automatizadas: el derecho frente al algoritmo	<u>47</u>
III	Latam. Marcos normativos, cumplimiento circular y el derecho propio	<u>54</u>

ALGORITMOS VERDES
IA, circularidad y dignidad de Europa a Latam

	Regulación de la inteligencia artificial en la región. Estado del arte y vacíos jurídicos	<u>54</u>
	Cumplimiento circular y ESG. El abogado como arquitecto de la transición	<u>60</u>
	Hacia un derecho latinoamericano de la circularidad digital	<u>64</u>
	El código verde a manera de reflexión final	<u>71</u>
	Referencias	<u>80</u>

ÍNDICE DE TABLAS

No.		pp.
1	Pasaporte digital de producto: componentes jurídicos y dependencia tecnológica	<u>31</u>
2	Principios éticos para la gobernanza algorítmica de la economía circular	<u>52</u>
3	Principios para un derecho latinoamericano de la circularidad digital	<u>68</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

No.		pp.
1	Distancia entre la circularidad real, la circularidad prometida y la circularidad posible	<u>13</u>
2	Los dos carriles normativos europeos y su zona de convergencia (2019-2027)	<u>25</u>
3	El bucle de la exclusión algorítmica en los sistemas circulares	<u>45</u>
4	Del dato al derecho: cadena de decisión algorítmica y garantías jurídicas exigibles	<u>69</u>

PRÓLOGO

Creo que no estamos conscientes de que un algoritmo decidió, hace tan solo unas horas, qué fardo de plástico llegará a una planta de reciclaje en Valencia y cuál terminará en un vertedero. Otro algoritmo calculó si la batería de un autobús eléctrico en Lisboa conserva vida útil suficiente para una segunda aplicación estacionaria o si debe encaminarse hacia la recuperación hidrometalúrgica de sus metales.

Un tercero, invisible para el consumidor, determinó si un producto colombiano que ingresa al mercado europeo porta los datos exigidos por su pasaporte digital o si debe detenerse en la aduana. Lo importante es que en ninguno de los tres casos hubo una persona evaluando la totalidad de la decisión, en todos estos, un modelo matemático entrenado con datos del pasado eligió el destino de los materiales del futuro.

Este libro nace de una interrogante que la velocidad de la transformación digital hace necesaria plantearse, porque cuando los algoritmos gobiernan el ciclo de los materiales, ¿quién gobierna a los algoritmos?

La economía circular de la próxima década no será solamente un asunto de toneladas de materiales, sino será un asunto de datos, modelos predictivos, registros distribuidos y decisiones automatizadas que afectarán empleos, mercados y territorios (Roberts et al., 2024).

La convergencia entre la regulación circular europea, cuya pieza mayor (la Circular Economy Act) la Comisión Europea prevé proponer en el segundo semestre de 2026, y la regulación de la inteligencia artificial (IA), vigente desde el mes de agosto de 2024, configura un campo jurídico nuevo que estas páginas se proponen analizar (Comisión Europea, 2025a; Unión Europea, 2024a).

El recorrido se organiza en tres capítulos que avanzan del marco normativo a la ética algorítmica y de allí al destino latinoamericano. El primero, reconstruye la arquitectura regulatoria europea en la que la circularidad y la inteligencia artificial se encuentran.

El segundo examina lo que ocurre cuando esos algoritmos tocan vidas concretas, es decir, recicladores de base que habitualmente son excluidos de los sistemas de trazabilidad, sesgos que premian a quien tiene datos y castigan a quien no los tiene, decisiones automatizadas que ningún principio de dignidad debería delegar sin supervisión (Floridi et al., 2021).

El tercero cruza el Océano Atlántico para preguntarse qué marcos normativos necesita América Latina si quiere participar de la circularidad inteligente sin ser gobernada por algoritmos diseñados en otra latitud.

La obra se dirige a los juristas, reguladores, investigadores y ciudadanos que participarán de este debate. Su ambición es contribuir a que el diálogo entre derecho, tecnología, circularidad y sostenibilidad se libere de las caricaturas.

La inteligencia artificial no es una amenaza abstracta y la economía circular no es un eslogan sin consecuencias jurídicas. Entre ambas, como este libro muestra, se juega algo muy concreto: la dignidad de las personas y el destino de los materiales que sostienen su bienestar (Suescum Coelho et al., 2025c).

Queda expresado entonces, el espíritu con el que fue escrito este texto, aplicando rigor científico con calidez humana, evidencia verificable con esperanza fundada y, sobre todo, con la convicción de que el derecho, cuando piensa y analiza con la complejidad que los problemas le exigen, puede ser la más poderosa de las tecnologías de la justicia.

CUANDO EL CÓDIGO GOBIERNA EL CICLO A MANERA DE INTRODUCCIÓN

La economía circular ha sido definida como un sistema regenerativo en el que los flujos de materiales y energía se ralentizan, se cierran y se estrechan mediante el diseño duradero, el mantenimiento, la reutilización, la remanufactura y el reciclaje (Geissdoerfer et al., 2017).

Esa definición, ampliamente aceptada por la comunidad académica, sitúa el problema en el plano físico, esto es, en cómo lograr que las toneladas de materiales regresen al ciclo en lugar de perderse como residuo.

Sin embargo, la transformación digital ha añadido una dimensión que la definición clásica no alcanza a capturar, porque hoy, antes de que un material regrese al ciclo, un algoritmo decide si lo hace, cómo lo hace y quién se beneficia de que lo haga.

Conviene mirar de frente la magnitud del problema material antes de entrar en el digital. Solo el 6,9 % de los 106.000 millones de toneladas de materiales que la economía mundial consume cada año procede de fuentes secundarias y esa proporción ha descendido desde el 9,1% estimado al 7,2 % registrado en 2018 pese a que el volumen reciclado aumentó en doscientos millones de toneladas (Circle Economy, 2025).

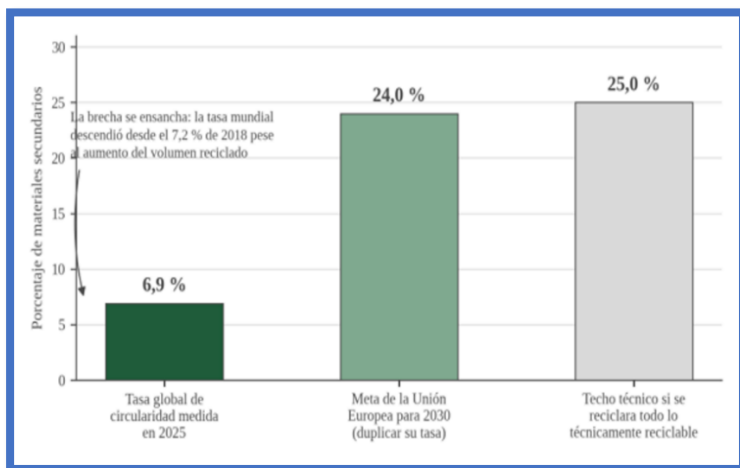


Figura 1. Distancia entre la circularidad real, la prometida y la posible

Fuente: Elaboración propia con base en Circle Economy (2025) y Comisión Europea (2025a).

La brecha no se ensancha porque se recicle menos, sino porque se extrae mucho más. Cabe destacar que, incluso reciclando todo lo técnicamente reciclable, la tasa mundial apenas alcanzaría un 25 %. La figura 1 permite apreciar esa distancia con una sola mirada.

La primera barra corresponde a la tasa mundial de materiales secundarios medida en el informe de 2025. La segunda recoge el objetivo de la Unión Europea de duplicar su propia tasa de uso circular de materiales hacia 2030. La tercera representa el techo técnico que se alcanzaría si se reciclara la totalidad de lo que hoy es técnicamente reciclable.

La economía circular está experimentando un cambio de naturaleza que el derecho debe reconocer con urgencia, pues de ser un desafío de materiales se ha convertido, además, en uno de gobernanza algorítmica.

El pasaporte digital de producto, piedra angular del Reglamento de Ecodiseño europeo vigente

desde julio de 2024, exige que cada bien porte un expediente digital legible por máquinas con datos verificados sobre su composición, su origen y sus opciones de fin de vida (Unión Europea, 2024c). Esos datos no se gestionan manualmente. Los producen sensores, los procesan algoritmos de inteligencia artificial, los almacenan registros distribuidos y los interpretan modelos de aprendizaje automático (Jensen et al., 2023).

En paralelo, la Unión Europea puso en vigor en agosto de 2024 su Reglamento de Inteligencia Artificial, el primer marco jurídico integral del mundo que clasifica los sistemas de IA por niveles de riesgo y prohíbe los usos que atentan contra derechos fundamentales (Unión Europea, 2024a).

La pregunta que ninguna de las dos regulaciones formula expresamente, pero que a continuación se plantea como objeto de estudio, es la de su convergencia. ¿Qué ocurre cuando un sistema de inteligencia artificial que clasifica

materiales o decide el destino de un residuo se despliega en una cadena de valor circular? ¿Es un sistema de alto riesgo? ¿Quién responde cuando su decisión excluye a un actor o envía al vertedero un material valioso?

La perspectiva transcompleja opera aquí como lente necesaria, porque la gobernanza algorítmica de la circularidad es simultáneamente un problema técnico, jurídico, ético, económico y geopolítico. Mutilarla en compartimentos disciplinarios equivaldría a repetir, en el plano del conocimiento, la misma fragmentación que impide cerrar los ciclos en el plano material (Morin, 2007; Villegas González et al., 2024).

El itinerario del texto se estructura en tres capítulos. A lo largo del primero se presenta el doble ecosistema normativo, el de la circularidad y el de la inteligencia artificial, y muestra dónde se tocan.

El segundo desciende del mapa legislativo a la vida concreta y examina los sesgos, las exclusiones

y los dilemas éticos que la inteligencia artificial circular genera cuando opera sin supervisión adecuada.

El tercero mira todo lo anterior desde América Latina y propone un programa de derecho propio para la circularidad digital de la región, con atención particular al cumplimiento normativo corporativo y a la formación del jurista que estas transiciones reclaman (Suescum Coelho et al., 2025b).

Es importante señalar, que este libro es una invitación a que el derecho llegue a tiempo. Los algoritmos ya están gobernando el ciclo de los materiales y lo que todavía no ha llegado, en la mayor parte del mundo, es el marco que garantice que lo hagan al servicio de la dignidad humana y no a costa de esta.

Esa carrera entre el código y la norma es la misma que enfrenta toda generación cuando una tecnología poderosa supera la velocidad de su regulación, la diferencia, esta vez, es que lo que está

en juego no son solo derechos individuales, sino el futuro material del planeta.

I. EL CÍRCULO LEGISLADO: REGULACIÓN CIRCULAR E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL ECOSISTEMA EUROPEO

Este primer capítulo aborda el territorio jurídico en el que la circularidad y la inteligencia artificial convergen y lo hace avanzando del marco general a la herramienta específica y de allí a la clasificación de riesgos.

Primero reconstruye la arquitectura regulatoria del giro circular europeo, desde el Pacto Verde hasta el Clean Industrial Deal y la futura Circular Economy Act (Comisión Europea, 2025a). Luego examina el pasaporte digital de producto como institución jurídica cuya operación depende enteramente de sistemas automatizados (Zhang & Seuring, 2024). Finalmente, analiza cómo la clasificación por niveles de riesgo del Reglamento de Inteligencia Artificial se aplica o debería aplicarse, a los sistemas que gobiernan las cadenas de valor circulares (Unión Europea, 2024a).

Del Green Deal al Clean Industrial Deal: la arquitectura regulatoria de la circularidad

La Unión Europea ha construido, entre 2019 y 2026, el ecosistema normativo más ambicioso del mundo en materia de economía circular. El Pacto Verde Europeo de 2019 proporcionó el marco estratégico, el Plan de Acción de Economía Circular de 2020 desplegó las iniciativas sectoriales.

Así mismo, una avalancha de reglamentos: el de baterías en 2023, el de materias primas fundamentales y el de ecodiseño en 2024, convirtió las intenciones en obligaciones jurídicamente vinculantes (Comisión Europea, 2020; Unión Europea, 2023, 2024b, 2024c).

La Circular Economy Act, anunciada dentro del Clean Industrial Deal de febrero de 2025, se propone coronar esa arquitectura con la creación de un mercado único de materiales secundarios (Comisión Europea, 2025a).

Lo que distingue a este andamiaje de cualquier precedente es su apuesta por la demanda. La

literatura más crítica sobre el tema había advertido que los planes anteriores actuaban sobre el residuo sin fabricar compradores para lo recuperado (Johansson, 2021).

El nuevo enfoque invierte la lógica, pues exige contenido reciclado obligatorio, armoniza los criterios de fin de la condición de residuo y prevé centros de circularidad transregionales. De modo que comprar material secundario deje de ser un gesto voluntarista o altruista y se convierta en la decisión racional del industrial europeo, porque la circularidad, leída así, no es política ambiental, es ingeniería de mercados (Comisión Europea, 2025b).

En este orden de ideas, la arquitectura regulatoria tiene una característica que los juristas no pueden ignorar, y es que cada uno de sus instrumentos presupone un ecosistema digital. El ecodiseño exige pasaportes legibles por máquinas.

La responsabilidad ampliada del productor exige trazabilidad electrónica. Las cuotas de contenido reciclado exigen certificación automatizada. El mercado único de secundarios exige plataformas de intercambio de datos entre actores que no se conocen entre sí (Jensen et al., 2023).

En consecuencia, regular la circularidad sin regular previamente la tecnología que la habilita equivale a regular una fachada, siendo este diagnóstico el que conduce al instrumento que se examinará en el apartado siguiente.

La revisión del marco de residuos completó el andamiaje por el lado de la responsabilidad. La Directiva (UE) 2025/1892, adoptada el 10 de septiembre de 2025 y en vigor desde el 16 de octubre del mismo año, estableció como su primer pilar objetivos vinculantes de reducción de residuos alimentarios para 2030.

Además de ello, consagró por primera vez un régimen obligatorio y armonizado de responsabilidad ampliada del productor para los textiles y el calzado en toda la Unión Europea, obligando a los productores, incluidas las plataformas de comercio electrónico (e-commerce), a financiar la recogida, la clasificación y el reciclaje de sus prendas (Unión Europea, 2025).

Del mismo modo, la gestión de esos flujos masivos de textiles usados será inviable sin clasificación automatizada, porque la norma que responsabiliza al productor presupone, otra vez, el algoritmo que identifica la fibra.

Cabe destacar que la velocidad legislativa europea ha generado un efecto colateral de primer orden para el resto del mundo, que es la extraterritorialidad. Las empresas latinoamericanas que exportan níquel, litio, cobre, textiles o productos agroindustriales a la Unión Europea deberán cumplir requisitos de trazabilidad, huella de carbono y debida

diligencia ambiental diseñados en Bruselas (Gallego-Schmid et al., 2024).

El marco europeo no es, por tanto, un asunto que atañe solo a los europeos, sino que pasa a consolidarse como el estándar comercial que está reconfigurando las cadenas globales, y ese alcance convierte el conocimiento de esta arquitectura en una competencia jurídica obligatoria para el abogado latinoamericano del siglo XXI.

De lo anterior se desprende que la regulación circular europea ha madurado hasta convertirse en un sistema integrado; donde lo ambiental, lo industrial y lo digital se trenzan en una sola obligación. Mientras la regulación de la inteligencia artificial avanzaba por un carril paralelo que empieza a cruzarse con el primero.

La figura 2 que se muestra, a continuación, reconstruye ambos itinerarios y señala la franja temporal en la que se encuentran. El siguiente paso lógico es examinar la pieza donde esa trenza se

vuelve más visible y dependiente de la inteligencia artificial: el pasaporte digital de producto.

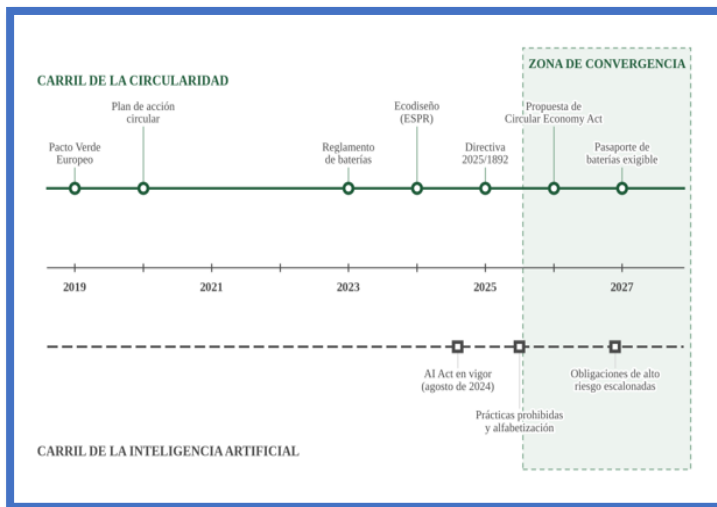


Figura 2. Los dos carriles normativos europeos y su zona de convergencia (2019-2027)

Fuente: Elaboración propia con base en Comisión Europea (2020, 2025a) y Unión Europea (2023, 2024a, 2024b, 2024c, 2025).

El carril superior recoge los hitos de la regulación circular y el inferior los de la regulación de la inteligencia artificial. La franja sombreada señala el período 2026-2027, en el que la propuesta de Circular Economy Act, la exigibilidad del pasaporte

de baterías y la entrada en aplicación de las obligaciones para sistemas de alto riesgo coinciden y obligan a leer ambos regímenes de manera conjunta.

Pasaporte digital de producto, institución jurídico-informacional

El Reglamento de Ecodiseño para Productos Sostenibles definió el pasaporte digital de producto como un conjunto estructurado de datos accesible por medios electrónicos a través de un soporte vinculado al producto (Unión Europea, 2024c). La descripción normativa es deliberadamente técnica y su traducción práctica resulta, en cambio, revolucionaria.

Por primera vez, cada bien comercializado en el mercado europeo deberá portar su biografía verificable, desde su composición y su origen hasta sus instrucciones de fin de vida, en un formato que las máquinas puedan leer sin intermediación humana. Así, lo que hasta ayer era una etiqueta

impresa se convierte, de este modo, en un expediente que cobra vida.

La naturaleza jurídica del pasaporte merece detenimiento, porque no encaja cómodamente en las categorías tradicionales concebidas. No es una etiqueta, porque su contenido excede lo visible. No es un contrato, porque no vincula a dos partes. Tampoco es un registro administrativo, porque lo gestionan los operadores económicos y no la autoridad.

Se le describen como una infraestructura de gobernanza de datos, es decir, un artefacto que distribuye información, asigna responsabilidades de veracidad, diferencia niveles de acceso entre actores y crea condiciones de verificabilidad que habilitan la confianza mercantil (Langley et al,2023).

Este libro propone leerlo como lo que funcionalmente es, una institución jurídico-informacional. Esa lectura importa porque de esta se derivan consecuencias de responsabilidad, si el

pasaporte acredita que una batería contiene el porcentaje de cobalto reciclado exigido por la norma, conviene preguntarse quién responde cuando el dato es falso. ¿El fabricante que lo declaró, la plataforma que lo alojó, el sensor que lo midió o el algoritmo que lo validó?

La cadena de responsabilidad del pasaporte digital es, en rigor, una cadena de actores humanos y sistemas automatizados cuya atribución de culpa el derecho vigente todavía no resuelve con claridad (Zhang & Seuring, 2024). Aquí es donde el Reglamento de Inteligencia Artificial aporta piezas a ese rompecabezas, aunque el ensamblaje sigue pendiente.

Un ejemplo concreto adelanta la relevancia latinoamericana del asunto. El pasaporte de baterías, exigible desde febrero de 2027, deberá declarar la huella de carbono de la fabricación y esta incluye la energía consumida en la extracción del litio en el salar atacameño chileno, en la refinación del

cátodo y en el transporte transoceánico (Unión Europea, 2023).

Si el sensor que mide la energía en la mina chilena o argentina reporta un dato erróneo, la batería portará una biografía falsa que podrá determinar su acceso o rechazo en el mercado europeo. Aquí, la responsabilidad jurídica del dato cruza jurisdicciones, idiomas y sistemas legales.

El desafío no es menor para el derecho internacional privado, para ilustrarlo, imaginemos a un fabricante coreano o taiwanés que ensambla celdas con litio chileno, cobalto congoleño y grafito mozambiqueño, seguidamente, coloca el producto en el mercado alemán y confía la validación del dato a un proveedor de software estadounidense.

Cuando la autoridad europea detecta la inconsistencia, la pregunta por la ley aplicable y por el foro competente deja de ser un ejercicio académico y se convierte en el eje de una controversia comercial de millones de euros.

Esta situación permite afirmar que el pasaporte digital no solo transporta datos, sino que redistribuye riesgos jurídicos a lo largo de toda la cadena. El examen precedente muestra que el pasaporte es mucho más que un expediente técnico, constituye el eslabón donde la regulación circular depende estructuralmente de la inteligencia artificial.

La Tabla 1 sintetiza sus componentes y la tecnología que cada uno requiere y muestra que no existe una sola pieza del expediente que pueda operar sin sistemas automatizados. El siguiente paso consiste en preguntarse si esa tecnología, clasificada conforme al Reglamento de Inteligencia Artificial, recibe la supervisión que su impacto material y social exige.

Tabla 1
Pasaporte digital de producto, componentes jurídicos y dependencia tecnológica

Componente del pasaporte	Requisito jurídico	Tecnología habilitante
Datos de composición	Declaración de materiales, sustancias de preocupación y contenido reciclado	Sensores analíticos e inteligencia artificial de clasificación espectroscópica
Huella de carbono	Cálculo conforme a la metodología oficial por categoría de producto	Modelos de ciclo de vida automatizados y datos de sensores en minas y fábricas
Trazabilidad de origen	Acreditación de la debida diligencia de la cadena de suministro	Registros distribuidos y sistemas de custodia digital
Estado de salud (baterías)	Actualización dinámica durante la vida útil del producto	Gemelos digitales y algoritmos predictivos de degradación
Instrucciones de fin de vida	Guía de desensamblaje, reparación y reciclaje	Manuales digitales generados por inteligencia artificial y modelos de valor residual
Acceso diferenciado	Capas de información según el actor: consumidor, reciclador, autoridad	Arquitectura de permisos e identidad digital verificable

Fuente: Elaboración propia con base en autores varios.

Reglamento de Inteligencia Artificial y las cadenas de valor circulares

El Reglamento (UE) 2024/1689 estableció el primer marco jurídico integral del mundo para la inteligencia artificial. Su innovación central es la clasificación por niveles de riesgo, conforme a la cual

los sistemas de riesgo inaceptable quedan prohibidos, los de alto riesgo se someten a requisitos estrictos de transparencia, supervisión humana, gestión de datos y gobernanza.

Los de riesgo limitado deben cumplir obligaciones de información y los de riesgo mínimo operan libremente (Unión Europea, 2024a). La pregunta es directa y todavía no tiene respuesta pacífica en la doctrina ¿dónde se ubican?, en esa escala, los algoritmos que gobiernan la circularidad.

La respuesta exige matices que la norma no ofrece de manera expresa, de hecho, el Reglamento enumera en su anexo las categorías de uso de alto riesgo, entre las que figuran la infraestructura crítica, el empleo y el acceso a servicios esenciales (Unión Europea, 2024a). Aquí el legislador Europeo ha omitido el medio ambiente, lo cual genera y refuerza, además, la existencia de zonas grises de los algoritmos circulares.

Un sistema que clasifica residuos industriales para determinar si cumplen los criterios de fin de la condición de residuo y, por tanto, si pueden circular como materia prima secundaria, toma una decisión con consecuencias ambientales y económicas de primer orden, porque si clasifica mal, el material valioso se pierde o el material peligroso se recircula.

Al desentrañar los aspectos éticos de la inteligencia artificial aplicada a la circularidad advierten que estos sistemas habitan una zona gris que reclama clarificación (Roberts et al.,2024). Sin embargo, la reflexión no puede detenerse en la clasificación formal.

Esto por cuanto, incluso si un algoritmo de clasificación de residuos no encaja técnicamente en el anexo de alto riesgo, sus efectos pueden resultar desproporcionados sobre poblaciones vulnerables. Y es que, cuando un sistema inteligente decide qué fracción de residuos tiene valor de mercado, está decidiendo, de manera indirecta, de qué viven

millones de recicladores de base en América Latina (Gallego-Schmid et al., 2024).

Por lo tanto, un modelo entrenado con datos europeos puede subvalorar fracciones que en la región tienen circuitos de recuperación informales, pero funcionales e invisibilizar así un tejido social entero. Bajo este escenario, la tutela de la dignidad humana exige que esos efectos sean evaluados antes de cualquier despliegue.

El régimen de evaluación de conformidad ofrece una vía práctica que los operadores circulares pueden anticipar. Los sistemas de alto riesgo deben someterse, antes de su comercialización, a procedimientos que verifican la calidad de los datos de entrenamiento, la robustez técnica, la documentación y la supervisión humana. Además de registrarse en una base de datos europea de acceso público (Unión Europea, 2024a).

Si esto lo trasladamos al campo circular, ese régimen significaría que los algoritmos que deciden

el fin de la condición de residuo o validan los pasaportes digitales operarían bajo un escrutinio comparable al de los dispositivos médicos, exigencia proporcionada a la magnitud material y social de sus decisiones.

La evidencia disponible sobre convergencia digital sostenible refuerza esa conclusión desde el otro lado del Atlántico. Se ha documentado cómo la inteligencia artificial y los registros distribuidos pueden catalizar la circularidad y al mismo tiempo identifican las barreras de capacidad, datos y gobernanza que separan el potencial de la realidad (Suescum Coelho et al,2025c).

Lo planteado, trae como consecuencia que la convergencia entre el Reglamento de Inteligencia Artificial y la regulación circular no sea solo un tema europeo, sino un tema de gobernanza global de la transición, donde las decisiones regulatorias del Norte global configuran el espacio de acción del Sur global.

Este capítulo ha presentado los dos marcos normativos que se cruzan en el horizonte de la circularidad inteligente, uno que fabrica mercados de materiales y otro que clasifica los riesgos de las máquinas que los gobernarán (Comisión Europea, 2025a; Unión Europea, 2024a, 2024c).

La Figura 2 mostró de manera simplificada el momento exacto de su encuentro y la Tabla 1 evidenció que cada pieza del pasaporte digital depende de una tecnología concreta de inteligencia artificial. Queda ahora la pregunta ética que ningún marco normativo responde por sí solo, esto es, qué ocurre cuando esos algoritmos operan en territorios reales, con personas y desigualdades reales.

II. ALGORITMOS QUE GOBIERNAN RESIDUOS. ÉTICA, SESGOS Y TUTELA DE LA DIGNIDAD

El capítulo anterior desarrolló el mapa normativo y este segundo se traslada al territorio donde los algoritmos tocan vidas. Se sostiene como tesis central que la inteligencia artificial aplicada a la circularidad no es éticamente neutra, porque reproduce los sesgos de los datos con que se entrena, concentra poder informacional en quienes los poseen y puede excluir de los mercados circulares a los actores que más participación necesitan (Roberts et al., 2024).

El recorrido examina las dimensiones de ese riesgo, a saber: la eficiencia y la opacidad de la inteligencia artificial en la gestión de materiales, la exclusión algorítmica de los actores informales y el estándar de dignidad humana que el derecho debe imponer a las decisiones automatizadas.

IA y gestión de materiales. Eficiencia prometida, opacidad documentada

La contribución de la inteligencia artificial a la economía circular comienza por el gesto más humilde, pero también por el más decisivo del ciclo que consiste en reconocer qué es cada cosa. Los sistemas de visión por computadora instalados en plantas de clasificación identifican polímeros, aleaciones y papeles a velocidades y precisiones que ninguna línea operativa manual alcanza, y elevan con ello la pureza de los flujos recuperados y su valor de mercado (Roberts et al., 2024).

El mantenimiento predictivo anticipa fallas y extiende la vida útil de los equipos industriales, siendo así como los modelos de diseño asistido evalúan, antes de fabricar, cómo cada decisión de materiales afectará la reparabilidad y la reciclabilidad futuras del producto, por ello, la promesa de eficiencia es real y plenamente verificable.

Sin embargo, la promesa lleva una letra pequeña que se ha comenzado a documentar con rigor a partir del análisis ético más completo disponible sobre inteligencia artificial y economía circular en donde se identifican al menos cuatro riesgos que ningún balance de eficiencia debería silenciar (Roberts et al., 2024).

El primero es el consumo energético y material de los propios sistemas de cómputo, capaz de erosionar los beneficios ambientales que habilitan. El segundo es la dependencia de datos que abundan donde la digitalización llegó primero y escasean donde más se necesitan.

El tercero es la opacidad de modelos cuyas decisiones afectan mercados y trabajadores sin rendición de cuentas clara. Y el cuarto es la concentración de poder en quienes controlan las plataformas de datos.

Un ejemplo permite tocar la opacidad con las manos, porque cuando un algoritmo de clasificación

asigna una corriente de residuos a la categoría de no valorizable, esa decisión puede destruir valor económico y social sin que el reciclador, el regulador o el ciudadano comprendan los criterios que la motivaron.

La evidencia sobre integración de inteligencia artificial generativa y registros distribuidos en cadenas agrícolas muestra que la transparencia del modelo es condición de confianza entre los actores, y que las cadenas latinoamericanas, con su diversidad de tamaños y formalidades, exigen una gobernanza algorítmica especialmente participativa, porque la eficiencia sin transparencia es, en el mejor de los casos, mero paternalismo técnico (Suescum Coelho et al., 2025c).

La agroindustria latinoamericana ilustra la ambivalencia con particular nitidez, y es que, en las cadenas de suministro agrícolas de la región, la combinación de inteligencia artificial y registros distribuidos puede certificar el origen de los

subproductos orgánicos, optimizar su valorización en cascada y abrir mercados de bioinsumos que hoy no existen por falta de confianza documental.

No obstante, las barreras que lo condicionan, como la conectividad rural insuficiente, los costos de sensorización, la escasez de talento local en ciencia de datos y la ausencia de marcos que asignen responsabilidades sobre la información generada siguen presentes. La tecnología está lista, pero lamentablemente el ecosistema que la debería volver justa aún no lo está (Suescum Coelho et al., 2025c).

Hablar de transformación digital y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es un tema en pleno apogeo, de hecho, ha sido documentado que la digitalización puede catalizar el logro de más de cien metas de la Agenda 2030 y también amplificar brechas cuando se despliega sin equidad (Suescum Coelho et al., 2025b).

Es necesario comprender que la inteligencia artificial circular no es inherentemente virtuosa ni mucho menos perversa, pues su valor ético depende del diseño, de la gobernanza y de la distribución de sus beneficios, por ello, en el siguiente apartado se examina el caso donde esa distribución se vuelve más desigual y donde el derecho tiene, por tanto, más que decir.

Sesgos algorítmicos y exclusión de los actores informales

Los algoritmos aprenden del pasado para predecir el futuro, y el pasado de la gestión de materiales es profundamente desigual. Los datos con los que se entrenan los modelos de clasificación, valorización y logística inversa proceden mayoritariamente de sistemas formales de economías avanzadas. Esto es, de plantas automatizadas con flujos homogéneos, bien caracterizados y plenamente documentados (Roberts et al., 2024).

Esos modelos, trasladados sin adaptación a contextos donde la circularidad funciona gracias a redes informales de recicladores de base, pueden producir resultados técnicamente correctos y socialmente devastadores, siendo que la corrección estadística y la justicia material no siempre viajan juntas.

El mecanismo de la exclusión es sutil pero identificable porque si un sistema de trazabilidad exige que cada fracción de material esté documentada digitalmente desde su recolección, los recicladores que operan sin lectores electrónicos ni conexión estable quedan fuera del sistema y sus materiales, por muy valiosos que sean, se vuelven invisibles para la cadena formal.

La investigación sobre economía circular en América Latina y el Caribe han documentado que los trabajadores sostienen buena parte de la recuperación de materiales de la región, con tasas de recolección que los sistemas formales no

alcanzan y excluirlos algorítmicamente equivaldría a desmantelar la circularidad realmente existente en nombre de la circularidad digital (Gallego-Schmid et al., 2024).

El problema se agrava en gran medida cuando la exclusión genera efectos de retroalimentación. Un actor que no aparece en los datos de entrenamiento no influye en las decisiones del modelo, uno que no lo reconoce refuerza su invisibilidad y esta se consolida como dato objetivo en el ciclo siguiente.

Floridi et al (2021) denominan este fenómeno como de bucle cerrado y su corrección exige intervenciones deliberadas de diseño, entre estas: incluir datos de sistemas informales, definir métricas de equidad que evalúen la distribución de los beneficios y someter los modelos a auditorías que los propios actores afectados puedan comprender y contestar. la figura 3 representa ese circuito y los puntos donde el derecho puede interrumpirlo.

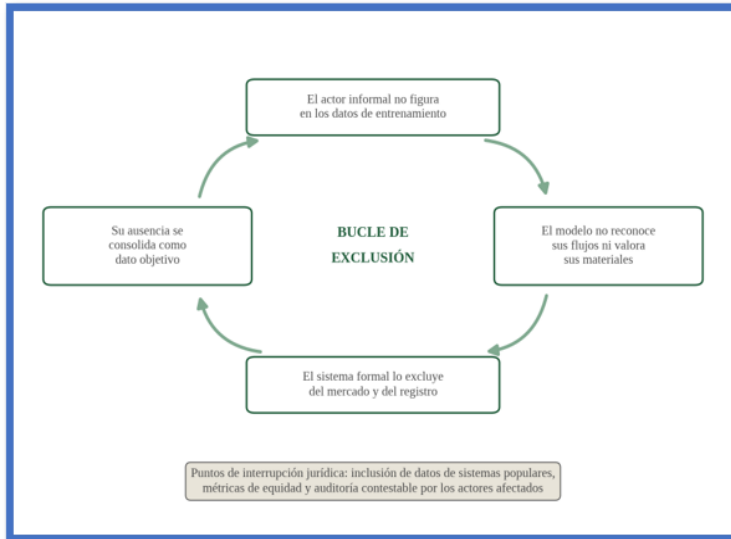


Figura 3. El bucle de la exclusión algorítmica en los sistemas circulares

Fuente: Elaboración propia con base en autores varios.

La figura describe el carácter autorreforzante de la exclusión, en donde la ausencia inicial del actor informal en los datos de entrenamiento produce un modelo que no reconoce sus flujos, lo que a su vez justifica su exclusión del mercado formal y del registro, y esta genera la evidencia estadística que confirmará su irrelevancia en el ciclo siguiente. El

recuadro inferior señala los tres puntos donde una intervención normativa puede romper el circuito.

La experiencia regulatoria regional demuestra que la inclusión es posible cuando se diseña de manera deliberada. Varios países latinoamericanos han ensayado esquemas de responsabilidad ampliada del productor que reconocen a las organizaciones de recicladores como gestores autorizados, con resultados que combinan formalización laboral, trazabilidad de materiales y costos competitivos de recolección (Gallego-Schmid et al., 2024).

Cuando esos esquemas se digitalizan, la clave está en que la primera milla informacional se adapte al reciclador, con herramientas simples y accesibles, y no al revés. Aquí, el algoritmo inclusivo no es una utopía técnica, sino una decisión de diseño que alguien debe tomar y el derecho puede exigir que se tome. La responsabilidad del derecho ante esta dinámica es, precisamente, el territorio que el

Reglamento de Inteligencia Artificial inauguró y que la regulación circular todavía no ha hecho suyo.

Los modelos integrados de gestión ambiental, ética corporativa y sostenibilidad exigen que las decisiones automatizadas de la transición se evalúen simultáneamente por su eficiencia material, su equidad social y su coherencia con los ODS, en particular con el octavo, que compromete al mundo con el trabajo decente (Suescum Coelho et al., 2025a). Conviene tener presente que la circularidad que funciona es la que incluye, mientras que la que excluye, no solo cierra ciclos, sino también puertas.

Dignidad humana y decisiones automatizadas.

El derecho frente al algoritmo

La dignidad humana constituye el principio vertebrador de todo el sistema de derechos fundamentales que la Unión Europea ha construido durante décadas y el Reglamento de Inteligencia Artificial lo reafirma al exigir que estos sistemas respeten la dignidad, la autonomía y la no

discriminación de las personas afectadas por sus decisiones (Unión Europea, 2024a).

La pregunta operativa consiste en cómo traducir ese principio en obligaciones verificables cuando las decisiones son algorítmicas, cuando los afectados pueden encontrarse en otra jurisdicción como la Latinoamericana y cuando el impacto se manifiesta no en una persona identificable, sino en un colectivo difuso.

Algunos autores proponen un marco de principios para la gobernanza algorítmica sostenible que incluye la transparencia explicable, la responsabilidad atribuible, la justicia distributiva y la supervisión humana significativa (Floridi et al, 2021). La transparencia exige que el afectado pueda comprender, aunque sea en términos generales, la lógica de la decisión que le concierne.

La responsabilidad exige que alguien identificable responda por esta. La justicia exige que sus beneficios y sus cargas se repartan de manera

equitativa y la supervisión humana significativa exige que un ser humano pueda revisar, corregir o anular la decisión cuando las circunstancias lo justifiquen.

Aplicados a la economía circular, esos principios generan obligaciones concretas, por ejemplo, si un sistema decide que un lote de plástico no cumple los estándares para ser clasificado como materia prima secundaria, esa decisión destruye valor y puede afectar empleos, porque la empresa recicladora pierde una venta y el trabajador pierde horas de producción.

La transparencia exigiría en este punto que la empresa conozca los criterios del modelo; la responsabilidad exigiría que el proveedor del sistema o el operador de la planta respondan por los errores; la justicia exigiría que el diseño no discrimine de manera sistemática las fracciones provenientes de sistemas informales y finalmente la supervisión exigiría que un operador humano pueda

reconsiderar la clasificación cuando existan razones fundadas.

La tradición jurídica ofrece, además, una categoría propia para encauzar esta exigencia y es el debido proceso, porque, así como ninguna sanción administrativa resulta válida sin audiencia previa y sin posibilidad de recurso, ninguna decisión algorítmica con efectos jurídicos relevantes debería ser inimpugnable.

De hecho, quien resulte afectado por una clasificación errónea, por una exclusión de mercado o por una denegación de certificación debe disponer de una vía efectiva de revisión ante un ser humano con autoridad para corregir (Unión Europea, 2024a). El debido proceso algorítmico, tal como comienza a llamarlo la doctrina, no es una novedad conceptual sino la traducción digital de una garantía que el constitucionalismo conquistó hace siglos.

La dimensión geopolítica indudablemente completa el cuadro porque si los algoritmos que

gobiernan el acceso al mercado europeo de materiales secundarios se entrenan solo con esta fuente de datos o se auditan solo bajo estándares europeos, los exportadores del Sur global quedan sujetos a una gobernanza que no contribuyeron a diseñar y que no pueden contestar con herramientas propias.

Una investigación sobre complejidad económica y economía verde muestra que las capacidades productivas acumuladas determinan qué países logran insertarse en los mercados verdes emergentes y cuáles quedan al margen (Mealy & Teytelboym.,2022). La dignidad tiene aquí, por tanto, una dimensión de soberanía informacional que la Tabla 2, a continuación, recoge junto con los demás principios.

Se ha mostrado que la convergencia entre inteligencia artificial y economía circular plantea riesgos éticos y jurídicos que la eficiencia técnica no resuelve por sí sola, pues reclaman transparencia,

responsabilidad, justicia, supervisión y participación.

Tabla 2

Principios éticos para la gobernanza algorítmica de la economía circular

Principio ético	Enunciado	Aplicación a la circularidad
Transparencia explicable	El afectado puede comprender la lógica de la decisión algorítmica	Las decisiones de clasificación, valorización y acceso al mercado deben ser auditables por las partes afectadas
Responsabilidad atribuible	Un actor identificable responde por las consecuencias de la decisión	Cadena de responsabilidad clara entre proveedor del modelo, operador y regulador cuando el algoritmo genera daño
Justicia distributiva	Los beneficios y las cargas del sistema se reparten equitativamente	Los modelos no deben discriminar fracciones de actores informales ni excluir datos del Sur global
Supervisión humana significativa	Un ser humano puede revisar, corregir o anular la decisión	Los operadores de plantas y los reguladores conservan capacidad de intervención efectiva sobre el sistema
Soberanía informacional	Cada región participa en la configuración de los algoritmos que gobiernan sus materiales	América Latina contribuye a los estándares de datos y a la auditoría de los modelos que evalúan sus exportaciones

Fuente. Elaboración propia con base en autores varios.

El Reglamento europeo ofrece ese primer piso normativo, aunque su aplicación a las cadenas

circulares está pendiente de desarrollo y su alcance extraterritorial obliga a que el Sur global formule su propia posición, esa formulación es, exactamente, la tarea que Latinoamérica está llamada a cumplir.

III. LATAM. MARCOS NORMATIVOS, CUMPLIMIENTO CIRCULAR Y EL DERECHO PROPIO

Los dos capítulos anteriores entregaron el territorio jurídico y la ética, este tercero entrega la política. América Latina no puede limitarse a recibir las reglas algorítmicas de la circularidad europea, porque necesita construir un derecho circular digital propio, anclado en sus capacidades, en sus actores y en su marco de derechos fundamentales.

Por ello se examinan tres dimensiones de esa construcción: el estado del arte de la regulación de inteligencia artificial en la región y sus vacíos, el cumplimiento normativo circular como nueva competencia profesional del abogado y una propuesta epistemológica para pensar la tarea sin repetir la fragmentación que ha empobrecido tantas políticas públicas (Gallego-Schmid et al., 2024).

Regulación de la IA en la región. Estado del arte y vacíos jurídicos

El panorama regulatorio de la inteligencia artificial en América Latina presenta la

heterogeneidad propia de una región donde la innovación normativa coexiste a su vez con vacíos institucionales de larga data. Perú se adelantó con la Ley 31814 de 2023, que promueve el uso de la inteligencia artificial en favor del desarrollo económico y social y consolidó su liderazgo con el Reglamento aprobado mediante el Decreto Supremo 115-2025-PCM, primer reglamento general de la materia en la región (Congreso de la República del Perú, 2023; Presidencia del Consejo de Ministros, 2025).

Colombia adoptó su Política Nacional de Inteligencia Artificial en febrero de 2025, con enfoque de gobernanza ética y sin fuerza vinculante directa (Departamento Nacional de Planeación, 2025).

Brasil, por su parte, protagoniza el proceso legislativo más ambicioso y también el más lento, su Senado Federal aprobó por unanimidad, en diciembre de 2024, el texto del Proyecto de Ley 2338 de 2023, que adopta la clasificación por niveles de

riesgo del modelo europeo y crea un sistema nacional de gobernanza algorítmica. Desde entonces, la iniciativa aguarda su votación definitiva en la Cámara de Diputados (Senado Federal do Brasil, 2024).

El resto de los países opera, en su mayoría, sin legislación específica y aplica por analogía los marcos de protección de datos personales y de derechos del consumidor. El vacío más preocupante no es, sin embargo, la ausencia de una ley general de inteligencia artificial, sino la inexistencia de normas que conecten la gobernanza algorítmica con la agenda ambiental y circular.

Ningún país de la región ha regulado hasta la fecha los sistemas que operan en la gestión de residuos, en la clasificación de materiales o en la certificación de contenido reciclado. Ninguna de las estrategias nacionales de economía circular incorpora un capítulo sobre gobernanza de datos y

algoritmos (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, 2022).

Lo planteado, hace que la circularidad y la digitalización avancen por carriles separados en la política pública latinoamericana y esa desconexión es la brecha que se identifica como prioritaria.

El caso peruano ofrece, en este punto, una señal alentadora que merece especial atención, en efecto, el reglamento aprobado en 2025 establece un cronograma escalonado de exigibilidad de la transparencia algorítmica que llega, hacia 2028, a los sectores de producción, agricultura, energía y minería. Es decir, precisamente a los sectores donde se juegan los flujos de materiales de la circularidad regional (Presidencia del Consejo de Ministros., 2025).

Un jurista atento puede leer allí el embrión de una gobernanza algorítmica de la transición material, aunque el texto no la nombre, permitiendo afirmar que la convergencia no siempre requiere una ley

nueva, pues a veces basta con leer bien la que ya existe.

Mientras la ley general llega, conviene aprovechar los puentes analógicos existentes y es que las leyes de protección de datos personales que la mayoría de los países ya posee consagran principios directamente aplicables a la gobernanza algorítmica de la circularidad, entre ellos la finalidad legítima del tratamiento, la calidad y la exactitud de la información, la seguridad de los sistemas y los derechos de acceso y rectificación del titular.

Un jurista creativo puede invocar hoy esos principios para exigir transparencia a un sistema de clasificación de materiales o para impugnar una exclusión algorítmica de un registro de gestores, sin esperar a la legislación específica (Suescum Coelho et al., 2025b).

El contraste con la experiencia europea resulta instructivo, la UE no reguló primero la inteligencia artificial y luego la circularidad, sino que las legisló

en paralelo, con referencias cruzadas que permiten evaluar los sistemas circulares conforme a los criterios de riesgo del marco general (Unión Europea, 2024a).

América Latina podría entonces construir esa convergencia desde el diseño, sin cargar con el peso de dos regulaciones superpuestas a posteriori, pero para ello necesita juristas que comprendan ambos campos y decisores dispuestos a legislar la transición como tejido y no como mosaico.

Cabe destacar, como contrapunto esperanzador, que la región dispone de una ventaja de la que pocas gozan, pues puede aprender de los errores ajenos sin pagarlos. La letra pequeña del despliegue europeo está documentada antes de que América Latina legisle e incluye las cuotas de contenido reciclado desincronizadas con la oferta real de residuos, los costos de trazabilidad para las pequeñas empresas y la exclusión algorítmica de los actores informales (Zhou et al., 2024).

El derecho propio que se propone no es un derecho aislado, es uno informado, que adopta la lógica sin copiar ni calcar la letra y que sitúa la dignidad de sus actores como primer criterio de diseño.

Cumplimiento circular y ESG. El abogado como arquitecto de la transición

La economía circular ha entrado de lleno en el universo del cumplimiento normativo corporativo y el abogado latinoamericano no puede permanecer ajeno. La debida diligencia ambiental de las cadenas de suministro, exigida por la Directiva (UE) 2024/1760, obliga a las grandes empresas europeas a identificar, prevenir y mitigar los impactos adversos de sus actividades.

Así como, las de sus proveedores, incluidos los proveedores latinoamericanos de minerales, textiles y productos agroindustriales, en consecuencia, el exportador que no gestiona su circularidad ya gestiona, sin saberlo, un riesgo legal, financiero y

reputacional de primer orden (Unión Europea, 2024d).

El cumplimiento circular (circular compliance) requiere competencias que la formación jurídica tradicional no proporciona. El abogado de la transición necesita comprender el funcionamiento del pasaporte digital de producto, interpretar los requisitos de contenido reciclado, evaluar los riesgos de un modelo que clasifica residuos, diseñar sistemas de trazabilidad compatibles con las exigencias europeas y asesorar a su cliente sobre las consecuencias jurídicas de la debida diligencia ambiental.

Los estudios sobre la formación del abogado del siglo XXI coinciden en la necesidad de que las facultades de derecho incorporen competencias digitales, éticas y ambientales a sus planes de estudio (Suescum Coelho et al., 2025b).

El marco COSO ERM, ampliamente aplicado a la gestión de riesgos financieros empresariales,

ofrece una estructura transferible al cumplimiento circular ya que sus componentes pueden adaptarse para incorporar el riesgo de linealidad material como una variable más del sistema de gestión. En este sentido, el abogado circular no inventa un sistema nuevo, sino que traduce al lenguaje de la circularidad un sistema de gestión de riesgos que las organizaciones ya conocen y en el que ya confían.

La conexión con las métricas ambientales, sociales y de gobernanza completa el circuito. Se ha demostrado que más de la mitad del desacuerdo entre agencias proviene de la medición y no de las preferencias de cada evaluador (Berg et al.,2022).

El pasaporte digital, al estandarizar datos verificados en el nivel del producto, ofrece una fuente de información de primera mano capaz de alimentar esas calificaciones con mayor fiabilidad que los reportes agregados. El abogado que comprenda esa cadena informacional podrá asesorar a su empresa

o a su Estado con un valor añadido que el mercado premia.

La conexión con la fe pública y con los sistemas de prevención del lavado de activos merece mención expresa, por su centralidad en el debate jurídico contemporáneo. Las reformas recientes (Grupo de Acción Financiera Internacional, GAFI y legislaciones regionales) han expandido las obligaciones de identificación de riesgos hacia los delitos ambientales, la minería ilegal y el tráfico de residuos, actividades cuyo producto se blanquea con frecuencia a través de cadenas de materiales opacas.

El notario y el oficial de cumplimiento que verifican operaciones sobre activos mineros, plantas de reciclaje o créditos de sostenibilidad necesitarán leer pasaportes digitales, contrastar trazabilidades y evaluar la integridad de datos generados por algoritmos.

Como se puede apreciar, el cumplimiento circular es tanto una necesidad como una oportunidad para el profesional del derecho latinoamericano. Aquí la ética empresarial y la sostenibilidad, estudiadas contextualmente, no son adornos reputacionales sino condiciones de acceso a mercados y de gestión de riesgos jurídicamente relevantes. El jurista que lo comprenda se erige como constructor de la transición, mientras que el que lo ignore, permanecerá como un simple espectador de su propia obsolescencia (Suescum Coelho et al., 2026).

Hacia un derecho latinoamericano de la circularidad digital

La pregunta sobre qué derecho construir depende, antes que, de las normas, de la mirada con que se las concibe, así la perspectiva transcompleja, como episteme de complementariedad de saberes, ofrece una oportunidad (Villegas González et al., 2024).

La visión transcompleja ofrecen los principios necesarios para diseñar un marco normativo que no fragmente la circularidad en silos ambientales, digitales y comerciales, sino que la comprenda como el tejido complejo que efectivamente es. Basta tan solo aplicar cuatro principios que resultan especialmente fecundos para la tarea legislativa que la región tiene por delante.

El principio del diálogo transdisciplinario, que complementa el aporte de disciplinas, saberes y lógicas mantiene unidas lógicas aparentemente contradictorias, pero vista desde la complementariedad, permite al legislador sostener a la vez la lógica de la eficiencia algorítmica y la lógica de la protección del trabajador informal, sin sacrificar ninguna en nombre de la otra (Villegas, 2016).

El principio hologramático, según el cual la parte contiene al todo y el todo se inscribe en la parte, invita a diseñar cada norma circular como un holograma del sistema completo, de manera que una

regulación de residuos contenga también gobernanza de datos, derechos laborales y comercio exterior, porque cada una de esas dimensiones vive en las demás.

El principio del diálogo de saberes exige que el derecho que se legisle no sea solo producto de juristas y tecnólogos, pues debe incorporar la voz de los recicladores, de las comunidades mineras, de los pequeños productores y de los científicos de materiales que conocen las corrientes reales. Es decir, la multiplicidad de voces, como lo plantea el principio de sinérgica relacional y de intercolaboración de la transcomplejidad (Villegas y Schavino, 2024c).

Un proceso legislativo que conciba la realidad desde lo transcomplejo no solo es más democrático, sino también más inteligente, porque captura la información dispersa que ningún modelo algorítmico puede sustituir y que ninguna consultoría puede reconstruir desde un escritorio.

El principio de recursividad, finalmente, recuerda al legislador que sus normas producirán los datos con que los algoritmos del futuro se entrenarán. Una regulación que hoy excluya a los recicladores de los registros oficiales generará estadísticas que mañana confirmarán su irrelevancia.

Una regulación que hoy los incluya generará la evidencia de su contribución, porque las causas producen efectos que las retroalimentan, de modo que legislar es, en la era algorítmica, sembrar los datos del porvenir y pocas responsabilidades legislativas resultan tan silenciosas y duraderas como esa.

A partir de lo anterior, la propuesta puede sintetizarse en cinco principios para un derecho latinoamericano de la circularidad digital. El primero es la **convergencia normativa** entre regulación de inteligencia artificial y regulación ambiental desde el diseño. El segundo es la **inclusión de los actores**

informales en los sistemas de trazabilidad como condición de legitimidad.

Tabla 3
Principios para un derecho latinoamericano de la circularidad digital

Principio	Contenido	Acción regulatoria prioritaria
Convergencia normativa	Legislar la inteligencia artificial y la circularidad como un solo tejido y no como silos	Incluir capítulos de gobernanza algorítmica en las estrategias nacionales de economía circular
Inclusión informacional	Integrar a los actores informales en los sistemas de trazabilidad	Diseñar la primera milla digital con herramientas accesibles que reconozcan los sistemas populares de recolección
Soberanía de datos	Custodiar y valorizar la información de los flujos materiales propios	Crear infraestructuras regionales de datos circulares no dependientes de plataformas externas
Gradualidad para pymes	Escalonar los requisitos conforme a la capacidad real de los actores	Negociar plazos diferenciados y fondos de cooperación técnica para la trazabilidad
Formación transcompleja	Preparar juristas bilingües en materiales y datos	Incorporar economía circular, cumplimiento ESG y gobernanza algorítmica en las facultades de derecho

Fuente: Elaboración propia con base en Gallego-Schmid et al. (2024) y Suescum Coelho et al. (2025a, 2025b, 2025c)

El tercero es la **soberanía informacional** sobre los datos de los flujos materiales propios. El cuarto es la **gradualidad** y el apoyo técnico para las pequeñas empresas y los exportadores medianos.

El quinto es una **formación jurídica transcompleja** que prepare abogados bilingües en materiales y datos. La tabla 3 precedente, condensa esa propuesta.

Estos cinco principios no operan en el vacío, ni mucho menos de forma aislada, sino que funcionan sobre una cadena concreta de decisiones que va del sensor al efecto material.

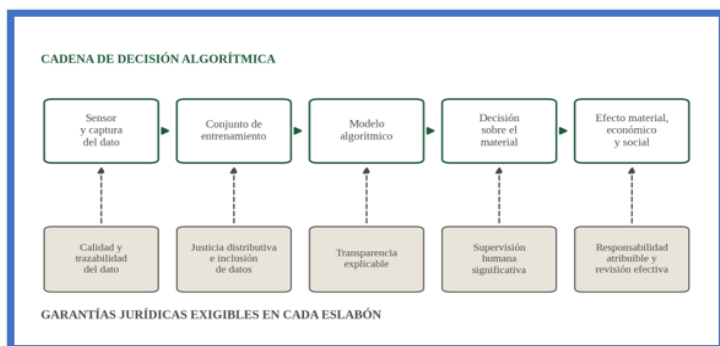


Figura 4. Del dato al derecho: cadena de decisión algorítmica y garantías jurídicas exigibles

Fuente: Elaboración propia con base en Floridi et al. (2021) y Unión Europea (2024a).

La figura 4 representa y sitúa, sobre cada eslabón, la garantía jurídica que le corresponde, con el propósito de ofrecer al legislador y al operador una

herramienta de trabajo antes que una declaración de intenciones. Su utilidad práctica es doble, pues permite auditar sistemas ya desplegados e identificar, en la fase de diseño, el punto exacto donde una obligación normativa resulta exigible y verificable.

La fila superior describe los cinco eslabones por los que transita una decisión algorítmica sobre materiales, desde la captura del dato hasta su efecto económico y social. La fila inferior asigna a cada eslabón la garantía jurídica que lo hace controlable, lo que permite localizar con precisión dónde debe intervenir la norma en lugar de exigir transparencia de manera genérica sobre todo el sistema.

El nuevo derecho latinoamericano no debe copiar marcos ajenos sino construir los propios, con episteme transcompleja y con una arquitectura normativa capaz de gobernar la circularidad digital al servicio de la dignidad de todos sus actores. Al reunir el territorio normativo, la ética algorítmica y la

propuesta regional, podremos brindar esa respuesta final. Esto es, cómo lograr que los algoritmos que gobiernan el ciclo de los materiales sean, al fin, más verdes y justos.

El algoritmo verde a manera de reflexión final

El libro partió de una escena cotidiana, la de un algoritmo que decide el destino de un fardo de plástico y llegó a una convicción que tres capítulos han procurado fundamentar. La economía circular del siglo XXI será gobernada por inteligencia artificial, y el derecho tiene la responsabilidad, y todavía la oportunidad, de garantizar que esa gobernanza sirva a la dignidad humana (Roberts et al., 2024; Unión Europea, 2024a).

El recorrido puede sintetizarse en tres proposiciones que se encadenan como los eslabones de la cadena de valor que el libro estudia. La primera afirma que la regulación circular europea y la regulación de la inteligencia artificial ya no son dos campos separados sino un solo campo visto

desde ángulos distintos y que su convergencia, hoy incipiente, será el espacio normativo decisivo de la próxima década (Comisión Europea, 2025a; Unión Europea, 2024a, 2024c).

La segunda afirma que los algoritmos que gobiernan los ciclos de materiales reproducen los sesgos de los datos con que se entrenan y pueden excluir de los mercados circulares a los actores más vulnerables, de modo que la eficiencia sin supervisión ética no es circularidad sino automatización de la desigualdad (Floridi et al., 2021; Gallego-Schmid et al., 2024).

La tercera proposición mira hacia el sur: América Latina necesita un derecho circular digital propio que no copie, sino que de forma situada y contextualizada traduzca tendencias y realidades. Se necesita de un derecho que incluya a los recicladores antes de invisibilizarlos y que forme juristas capaces de pensar la transición como tejido y no como mosaico. Estamos ante proposiciones

que comparten un mismo supuesto, la convicción de que el destino de los materiales y el destino de las personas que los manipulan constituyen, en rigor, un solo problema jurídico.

El algoritmo verde como objeto de estudio jurídico debe ser entendido como el sistema de inteligencia artificial cuyo dominio de acción es el metabolismo material y cuya gobernanza debe evaluarse simultáneamente por criterios de eficiencia, equidad y dignidad, siendo crucial para el desarrollo de la región.

Ahora bien, dicho desarrollo parte necesariamente de una lectura obligatoria cruzada del Reglamento de Inteligencia Artificial y de la regulación circular europea desde una perspectiva latinoamericana, sentando así, en el plano propositivo, cinco principios para un derecho regional de la circularidad digital.

Es importante tener presente que el Reglamento de Inteligencia Artificial se encuentra en

fase de despliegue escalonado y que sus estándares técnicos se concretarán en los próximos años. Así mismo, la Circular Economy Act es todavía una propuesta en preparación y, al estar en esta fase, permite que la regulación latinoamericana evolucione mes a mes, tal como lo ha demostrado la tramitación brasileña.

Por ello, al finalizar este recorrido, se ha tomado una fotografía en alta definición del movimiento que se está gestando y es el lector, en este punto, quién deberá actualizarla con la legislación que se promulgue en los años venideros.

La agenda de investigación futura se proyecta inicialmente, hacia la evaluación empírica del impacto que los algoritmos de clasificación ejercen sobre los flujos de materiales gestionados por actores informales, campo en el que América Latina se encuentra en condiciones de producir evidencia de frontera.

Sobre esa base empírica se abre la necesidad de desarrollar auditorías algorítmicas específicas para sistemas circulares, dotadas de métricas de equidad adaptadas a las cadenas de valor del Sur, cuya aplicación efectiva depende, a su vez, de un diseño curricular capaz de integrar el derecho ambiental, la gobernanza algorítmica y el cumplimiento ESG en una sola competencia profesional.

Las implicaciones prácticas no se dirigen a un destinatario abstracto, sino a tres actores con responsabilidades bien delimitadas y estrechamente encadenadas entre sí. Los reguladores latinoamericanos tienen ante sí la tarea de incorporar capítulos de gobernanza algorítmica en las estrategias nacionales de economía circular y de hacerlo mientras el margen de decisión sigue abierto, pues, de lo contrario, serán los algoritmos diseñados en Europa los que terminen configurando

por defecto las condiciones de acceso de la región a los mercados del Norte.

Esa misma exigencia alcanza a la práctica jurídica, donde el cumplimiento del siglo XXI se ha vuelto simultáneamente circular, digital y ético. Quien no incorpore esas tres dimensiones a su ejercicio profesional acabará asesorando sobre una realidad que ya no existe.

Por último, a las universidades, les corresponde la tarea de mayor alcance temporal, que consiste en formar a la generación llamada a administrar la convergencia entre código y norma, entre dato y material, entre eficiencia y dignidad.

Un algoritmo justo no es uno perfecto, porque la perfección no es una categoría jurídica ni ha sido nunca la medida de lo humano. Un algoritmo justo es uno supervisado, explicable y contestable, concebido desde su origen con la participación de quienes habrán de recibir sus consecuencias.

En esa modesta definición se concentra buena parte de lo que estas páginas han intentado sostener, que la legitimidad de un sistema técnico no reside en su exactitud, sino en la posibilidad efectiva de interrogarlo, corregirlo y, llegado el caso, desobedecerlo.

La economía circular será, con toda probabilidad, la primera transformación material de la historia gobernada desde su inicio por sistemas de inteligencia artificial. Que sea además la primera gobernada con justicia no está escrito en ninguna parte.

No lo decidirá la capacidad de cómputo ni la velocidad de la innovación, sino la disposición del derecho a llegar antes que la inercia, con la urgencia y la imaginación que este tiempo reclama. Todavía es posible que las normas se escriban mientras las arquitecturas se diseñan y no diez años después, cuando lo único que quede sea administrar lo irreversible.

Quien recorra el flujo de un material desde el descarte hasta su reincorporación productiva encontrará, en cada nodo del recorrido, una decisión que alguien tomó y que pudo haberse tomado de otro modo. Ninguna de esas decisiones es técnica en un sentido puro, pues todas distribuyen ventajas, cargas y silencios. Reconocerlo es el punto de partida de cualquier gobernanza que aspire a algo más que a la eficiencia.

Estas páginas no aspiran a clausurar un debate, sino a asegurar que se dé mientras todavía puede modificar algo. Han querido ofrecer categorías para nombrar lo que aún no tiene nombre, criterios para discutir lo que suele presentarse como inevitable y argumentos para quienes deberán sostener esa discusión en despachos, aulas, ministerios y plantas de clasificación, muchas veces sin más herramienta que la convicción de que la técnica también se decide.

Si algo justifica el esfuerzo de escribirlas, es la certeza de que el derecho puede llegar a tiempo a ese recorrido y de que, cuando llegue, deberá hacerlo como siempre debió hacerlo, no del lado de la eficiencia, ni del lado de la inercia, sino del lado de la dignidad de quienes sostienen con sus manos y, a menudo, sin reconocimiento alguno, el ciclo material del mundo.

REFERENCIAS

- Berg, F., Kölbel, J. F & Rigobon, R. (2022). Confusión agregada: La divergencia de las calificaciones ESG. *Reseña de Finance*, 26(6), 1315-1344. <https://doi.org/10.1093/rof/rfac033>
- Circle Economy. (2025). *El informe sobre la brecha de circularidad 2025. Fundación Economía Circular*. <https://www.circularity-gap.world>
- Comisión Europea. (2020). *Un nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y competitiva* (COM (2020) 98 final). <https://shre.ink/h0AC>
- Comisión Europea. (2025a). *El Acuerdo Industrial Limpio: Una hoja de ruta conjunta para la competitividad y la descarbonización* (COM (2025) 85 final). EUR-Lex. <https://shre.ink/h0AF>
- Comisión Europea. (2025b). *Ley de Economía Circular: Convocatoria para una evaluación de impacto* (Iniciativa 14812). Da tu opinión. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14812-Circular-Economy-Act_en

Congreso de la República del Perú. (2023). Ley 31814, Ley que promueve el uso de la inteligencia artificial en favor del desarrollo económico y social del país.

Diario Oficial El Peruano. <https://shre.ink/h0Aw>

Departamento Nacional de Planeación. (2025). *Documento CONPES 4144: Política Nacional de Inteligencia Artificial*. Gobierno de Colombia. <https://shre.ink/h0A4>

Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P & Vayena, E. (2021). Un marco ético para una buena sociedad de IA: oportunidades, riesgos, principios y recomendaciones. En L. Floridi (Ed.). *Ética, gobernanza y políticas en inteligencia artificial*. Filosófico Studies Series, 144, 19-39). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81907-1_3

Gallego-Schmid, A., López-Eccher, C., Muñoz, E., Salvador, R., Cano-Londoño, N. A., Barros, M. V., Bernal, D. C., Mendoza, J. M. F., Nadal, A & Guerrero, A. B. (2024). Economía circular en América Latina y el Caribe: Impulsores, oportunidades,

barreras y estrategias. *Producción y consumo sostenibles*, 51, 118-136.

<https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.09.006>

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P & Hultink, E. J. (2017). La economía circular: ¿un nuevo paradigma de sostenibilidad? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Jensen, S. F., Kristensen, J. H., Adamsen, S., Christensen, A & Wæhrens, B. V. (2023). Pasaportes digitales de productos para una economía circular: necesidades de datos para la toma de decisiones en el ciclo de vida del producto. *Producción y consumo sostenibles*, 37, 242-255.

<https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.021>

Johansson, N. (2021). ¿Desafía el plan de acción de la UE para una economía circular a la economía lineal? *Environmental Science & Technology*, 55(21), 15001-15003.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06194>

Langle, D. J., Rosca, E., Angelopoulos, M., Kamminga, O & Hooijer, C. (2023). Orquestando una economía

- circular inteligente: Principios rectores para los pasaportes de productos digitales. *Journal of Business Research*, 169, 114259. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114259>
- Mealy, P & Teytelboym, A. (2022). Complejidad económica y economía verde. *Research Policy*, 51(8), 103948. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>
- Morin, E. (2007). *Introducción al pensamiento complejo* (M. Pakman, Trad.). Gedisa.
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2025). Decreto Supremo 115-2025-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley 31814. *Diario Oficial El Peruano*. <https://shre.ink/h05l>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2022). *Economía circular en América Latina y el Caribe: una visión compartida*. <https://www.unep.org/es/resources/publicaciones/economia-circular-en-america-latina-y-el-caribe-una-vision-compartida>
- Roberts, H., Zhang, J., Bariach, B., Cows, J., Gilburt, B., Juneja, P., Tsamados, A., Ziosi, M., Taddeo, M &

Floridi, L. (2024). Inteligencia artificial en apoyo de la economía circular: consideraciones éticas y un camino a seguir. *AI & Society*, 39(3), 1451-1464. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01596-8>.

Senado Federal do Brasil. (2024). *Proyecto de ley Nº 2338, de 2023: prevé el uso de inteligencia artificial* (aprobado en pleno el 10 de diciembre de 2024). <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/157233>

Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C.-E., Suescum Coelho, C & Coelho Freitas, C. M. (2026). Ética empresarial y sostenibilidad en la agroindustria latinoamericana: tensiones estructurales, paradojas ESG y recomendaciones estratégicas. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 14, 1045-1063. <https://revistas.uh.cu/revflacso/article/view/12781>

Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C.-E., Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C & Coelho Freitas, C. M. (2025a). Modelos integrados de gestión ambiental, ética corporativa y sostenibilidad: una aproximación empresarial desde los ODS.

- Multidisciplinary Journal of Sciences, Discoveries, and Society*, 2(4). <https://doi.org/10.71068/d6ed7d44>
- Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C.-E., Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C., & Coelho Freitas, C. M. (2025b). Transformación digital y ODS: una revisión sistemática de sinergias y riesgos. *Sapiens International Multidisciplinary Journal*, 2(3), 1-18. <https://doi.org/10.71068/regfc279>
- Suescum Coelho, C.-E., Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C & Coelho Freitas, C. M. (2025c). Convergencia digital sostenible. Inteligencia artificial y blockchain en cadenas de suministro agrícolas: rutas hacia la economía circular en Latinoamérica. *Actas del Congreso de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 10(1). <https://doi.org/10.47300/actasidi-unicyt-2025-35>
- Unión Europea. (2023). Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a las pilas y baterías y sus residuos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, serie L 191. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj>

Unión Europea. (2024a). Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial. *Diario Oficial de la Unión Europea*, serie L. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>

Unión Europea. (2024b). Reglamento (UE) 2024/1252 del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establece un marco para garantizar un suministro seguro y sostenible de materias primas fundamentales. *Diario Oficial de la Unión Europea*, serie L. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>

Unión Europea. (2024c). Reglamento (UE) 2024/1781 del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se instaure un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos sostenibles. *Diario Oficial de la Unión Europea*, serie L. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj>

Unión Europea. (2024d). Directiva (UE) 2024/1760 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre diligencia

debida de las empresas en materia de sostenibilidad.

Diario Oficial de la Unión Europea, serie L.

<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1760/oj>

Unión Europea. (2025). Directiva (UE) 2025/1892 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 10 de septiembre de 2025, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, serie L, 26 de septiembre de 2025. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2025/1892/oj>

Villegas González, C., Schavino, N., Mirabal, M., Rondón, S., Suárez, J & Velázquez, F. (2024c). *Epistemología y metodología de la investigación transcompleja*. Fondo Editorial de la Red de Investigadores de la Transcomplejidad [FEREDIT]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14885401>

Villegas, C. (2016). Vía del Enfoque Integrador Transcomplejo. Vía Investigativa de la Transcomplejidad. *Diálogos Transcomplejos*, 2(4),10-24. FEUBA.

Zhang, A & Seuring, S. (2024). Pasaporte digital de producto para la gestión sostenible y circular de la

cadena de suministro: una revisión estructurada de casos de uso. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27(12), 2513-2540. <https://doi.org/10.1080/13675567.2024.2374256>

Zhou, H., Yang, Y., Li, W., McKechnie, J., Thiede, S & Wang, P. (2024). Los objetivos de contenido reciclado de la UE para las baterías de iones de litio probablemente comprometan la circularidad crítica de los metales. *One Earth*, 7(7), 1288-1300. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.06.017>

ALGORITMOS VERDES

IA, CIRCULARIDAD Y DIGNIDAD DE EUROPA A LATAM



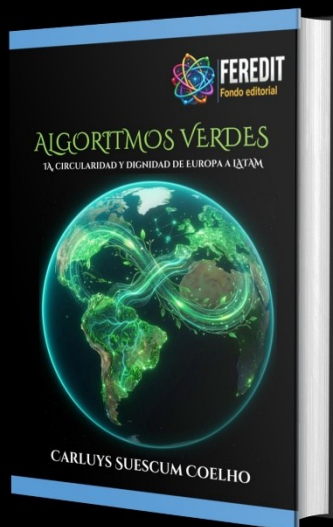
CARLUYS SUESCUM COELHO

Doctor en Ciencias Gerenciales

Director de Proyectos y Desarrollo Sostenible (CSO)

carluyscoelho@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-2044-7684>



¿Cómo se cruzan la tecnología y la sostenibilidad en el mundo actual? En Algoritmos verdes. Inteligencia artificial, circularidad y dignidad: de Europa a Latam, Carluy Suescum Coelho aborda de manera rigurosa y accesible la convergencia entre la regulación ambiental y la gobernanza de la inteligencia artificial. A través de un recorrido que va desde los marcos normativos europeos —como el ecodiseño y el pasaporte digital de productos— hasta la realidad social y económica de América Latina, la obra analiza cómo las decisiones automatizadas moldean el ciclo de los materiales. Asimismo, examina los sesgos algorítmicos y los riesgos de exclusión de los actores informales, proponiendo un derecho de la circularidad digital anclado en la justicia distributiva y la tutela de la dignidad humana. Una lectura fundamental para juristas, reguladores, investigadores y tomadores de decisiones interesados en que la transición ecológica y tecnológica se construya al servicio de la sociedad.



ISBN: 978-980-456-158-0



9 789804 156158 0