RNPS 2487 • ISSN 2708-3411
Vol. 7 • 2026 • e308

ARTÍCULO ORIGINAL

Ecoherramientas digitales: la nueva frontera operativa de la transformación digital verde en UE y ALC

Digital eco-tools: the new operational frontier of green digital transformation in EU and LAC

Pável Díaz González de Mendoza
pdgmendoza@gmail.com • *https://orcid.org/0009-0000-1241-4591*

Mayda Juana Fuentes Prieto
mfp24660@gmail.com • *https://orcid.org/0009-0001-8845-8395*
EMPRESA DESOFT

Kaarel Díaz Manesa
kdm90vr46@gmail.com • *https://orcid.org/0009-0002-0373-9241*

CENTRO UNIVERSITARIO INTERAMERICANO, MÉXICO

Manuel E. Toledo Fernández
manueltoledo2002@gmail.com • *https://orcid.org/0009-0008-6142-4794*
EVAINFORMATICA, ESPAÑA

Recibido: 2026-04-25 • Aceptado: 2026-11-10

RESUMEN

La Transformación Digital Verde (TDV) se posiciona como eje estratégico de las políticas de desarrollo, integrando tecnologías digitales con metas ambientales verificables. Este artículo analiza el rol de las ecoherramientas digitales —plataformas, software y servicios TIC para sostenibilidad— como componente operativo de la TDV en la Unión Europea (UE) y América Latina y el Caribe (ALC). Mediante un diseño cualitativo-comparativo de carácter exploratorio, con análisis documental, revisión de políticas y estudio de 9 casos (4 UE, 5 ALC) seleccionados mediante muestreo de máxima variación, se aplicó una codificación temática deductiva con cuatro categorías funcionales predefinidas: monitoreo ambiental, optimización productiva, trazabilidad-circularidad e infraestructuras energéticas inteligentes. La validez se reforzó mediante triangulación de fuentes, metodológica y de investigadores. Los resultados revelan brechas estructurales en ALC (infraestructura digital, gobernanza, inversión en I+D+i), contrastando con la madurez sistémica de la UE, pero destacan oportunidades en regulación dinámica y financiamiento verde. Se propone el modelo Transformación Digital Verde como Servicio (TDVaaS) para economías emergentes y una hoja de ruta específica para Cuba: alineación con estándares UE, fortalecimiento de gobernanza digital y articulación del ecosistema de innovación. Las limitaciones del estudio incluyen su carácter cualitativo, la

dependencia de fuentes secundarias y el sesgo potencial de selección. Las ecoherramientas emergen como vector clave de competitividad sostenible.

Palabras clave: América Latina y el Caribe; ecoherramientas digitales; economía circular, gobernanza digital; TIC sostenibles; Transformación Digital Verde.

ABSTRACT

Green Digital Transformation (GDT) is emerging as a strategic axis of development policies, integrating digital technologies with verifiable environmental goals. This paper analyzes digital eco-tools—platforms, software, and ICT services for sustainability—as the operational component of GDT in the European Union (EU) and Latin America and the Caribbean (LAC). Using a qualitative-comparative exploratory design, with document analysis, policy review, and a study of 9 cases (4 EU, 5 LAC) selected through maximum variation sampling, a deductive thematic coding was applied with four predefined functional categories: environmental monitoring, production optimization, traceability-circularity, and smart energy infrastructures. Validity was reinforced through source, methodological, and investigator triangulation. Results reveal structural gaps in LAC (digital infrastructure, governance, R&D investment), contrasting with EU systemic maturity, yet highlight opportunities in regulatory dynamism and green financing. The Green Digital Transformation as a Service (GDTaaS) model is proposed for emerging economies, alongside a Cuba-specific roadmap: EU standards alignment, digital governance strengthening, and innovation ecosystem integration. Study limitations include its qualitative nature, reliance on secondary sources, and potential selection bias. Digital eco-tools emerge as a key driver of sustainable competitiveness.

Keywords: Circular economy, digital eco-tools; digital governance; green digital transformation; ICT for sustainability; Latin America and the Caribbean.

INTRODUCCIÓN

La Transformación Digital Verde (TDV) se ha consolidado como eje estructural de las políticas de desarrollo contemporáneas, materializando la "doble transición" digital-verde identificada por organismos internacionales como oportunidad estratégica para América Latina y el Caribe (ALC) (CEPAL, 2024a; OCDE, CAF y Unión Europea, 2022). Este enfoque integra tecnologías digitales con metas ambientales verificables, promoviendo eficiencia energética, reducción de impactos, transparencia y creación de valor sostenible (Díaz et al., 2025).

En este contexto emergen las ecoherramientas digitales —plataformas, software y servicios TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) específicamente diseñados para operacionalizar la sostenibilidad— como instrumentos clave que traducen marcos regulatorios en resultados tangibles de competitividad verde. La Unión Europea (UE) lidera esta frontera operativa mediante iniciativas como el Helsinki Energy and Climate Atlas, pasaportes digitales circulares y plataformas de IA para cadenas de suministro verdes, todas alineadas con el Pacto

Verde Europeo, la Directiva CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive, Directiva sobre Informes de Sostenibilidad Corporativa) y la Taxonomía Verde (Maucorps et al., 2023; Vartiainen, 2023; ETC-CE, 2024).

En ALC, la adopción de ecoherramientas presenta dinámicas incipientes pero prometedoras —SIREN en Chile, AgroData-IA en Colombia, PescaData en México, Green IT de CAF— limitadas por brechas estructurales en infraestructura digital y capacidades institucionales (índice de Gobierno Digital regional 0.315 vs. OCDE 0.605) (CEPAL, 2024b; OCDE y BID, 2024; CAF, 2024). Evidencia reciente sobre el nivel de digitalización sectorial en la región confirma que persisten rezagos significativos en la adopción de tecnologías digitales en el sector productivo, condicionando la escalabilidad de soluciones verdes (CEPAL, 2024b).

Este desajuste entre madurez regulatoria europea y capacidades operativas latinoamericanas genera una oportunidad única para el desarrollo de ecoservicios digitales adaptativos. La relevancia de este análisis radica en su enfoque operacional: las ecoherramientas no solo habilitan el cumplimiento normativo, sino que configuran nuevas arquitecturas de competitividad para empresas TIC, gobiernos locales y mipymes en economías emergentes.

Para Cuba, representan un vector estratégico de inserción en cadenas de valor globales sostenibles, aprovechando el dinamismo regulatorio regional (más de 40 instrumentos climáticos 2010-2022) y las lecciones europeas (OCDE, CAF y Unión Europea, 2022).

El objetivo general de la investigación fue analizar el rol estratégico de las ecoherramientas digitales en la habilitación de la TDV en la UE y ALC, identificando brechas de adopción y oportunidades específicas para su implementación en Cuba.

Los objetivos específicos fueron: Caracterizar las ecoherramientas digitales implementadas en la UE y evaluar su alineación con marcos regulatorios, examinar las ecoherramientas emergentes en ALC y analizar las brechas estructurales que limitan su escalabilidad y proponer una hoja de ruta estratégica para la adopción de ecoherramientas digitales en Cuba.

METODOLOGÍA

Diseño

Se realizó estudio cualitativo-comparativo de carácter exploratorio (Yin, 2018), con análisis documental y estudio de casos múltiples.

Esta investigación empleó un diseño mixto explicativo, integrando análisis documental sistemático, revisión de políticas públicas, estudios de casos múltiples y análisis comparativo UE-ALC para ofrecer una perspectiva multidimensional sobre las ecoherramientas digitales en la TDV.

El análisis documental abarcó fuentes primarias y secundarias seleccionadas por criterios de relevancia temática (ecoherramientas, TDV, sostenibilidad TIC), actualidad (publicaciones 2019-2026) y accesibilidad pública. Se examinaron regulaciones europeas clave (Pacto Verde Europeo, Directiva CSRD, Taxonomía Verde), informes de organismos multilaterales (CEPAL a, CEPAL b, OCDE, CAF, BID) y literatura científica indexada en bases con doble arbitraje, garantizando triangulación de datos.

Criterios de selección de casos

La selección de casos fue intencional y respondió a un muestreo de máxima variación (Patton, 2015). Los criterios de inclusión fueron: (i) existencia de una ecoherramienta digital claramente identificable; (ii) vínculo explícito con sostenibilidad o TDV; (iii) documentación pública suficiente para su análisis; (iv) representatividad regional UE/ALC; y (v) diversidad funcional según la tipología propuesta. Se excluyeron iniciativas puramente conceptuales, sin evidencia pública o sin componente digital verificable.

La muestra final quedó conformada por 9 casos: 4 en la UE y 5 en ALC. Los cuatro en la UE: Helsinki Energy and Climate Atlas, Circular Economy Digital Passport, Green Supply Chain IA Platform, Smart Grids. Los cinco en ALC: SIREN-Chile, AgroData-IA-Colombia, PescaData-México, Green IT-CAF, Monitor Ambiental Digital-México), aplicando análisis transversal y matrices comparativas de madurez tecnológica, brechas de gobernanza digital y alineación regulatoria.

Protocolo de codificación y análisis

El análisis siguió un proceso de codificación temática deductiva (Braun & Clarke, 2006). Las categorías funcionales predefinidas fueron: monitoreo ambiental, optimización productiva, trazabilidad-circularidad e infraestructuras energéticas inteligentes. Las dimensiones comparativas fueron: integración regulatoria, gobernanza digital, desarrollo tecnológico y modelos de negocio. Cada caso se puntuó cualitativamente de niveles de madurez alto, medio o bajo en cada dimensión, a partir de evidencia documental.

Triangulación

La triangulación se realizó en tres niveles (Denzin, 2017): de fuentes (regulaciones, informes multilaterales, literatura científica y documentación de casos), metodológica (análisis documental, estudios de caso y comparación regional) y de investigadores (revisión cruzada entre autores). Las discrepancias se resolvieron por consenso y contraste con fuentes primarias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipología de ecoherramientas digitales en la tdv

La Tabla 1 describe los casos analizados según región, tipo de ecoherramienta, categoría funcional y nivel de madurez.

Tabla 1. Casos estudiados

Nº	Caso	Región/País	Tipo de ecoherramienta	Categoría funcional	Madurez	Fuente
1	Helsinki Energy and Climate Atlas	UE/Finlandia	Plataforma de datos climáticos y energía	Monitoreo / Infraestructuras energéticas	Alta	Vartiainen (2023)
2	Circular Economy Digital Passport	UE	Pasaporte digital circular	Trazabilidad-circularidad	Alta	ETC-CE (2024)

Nº	Caso	Región/País	Tipo de ecoherramienta	Categoría funcional	Madurez	Fuente
3	Green Supply Chain IA Platform	UE	Plataforma de IA para cadenas de suministro	Optimización / Trazabilidad	Alta	Maucorps et al. (2023)
4	Smart Grids	UE	Redes eléctricas inteligentes	Infraestructuras energéticas inteligentes	Alta	Nordic TSOs (2022)
5	SIREN	ALC/Chile	Sistema de reportes energéticos	Monitoreo ambiental	Media	Ministerio de Energía de Chile (2023)
6	AgroData-IA	ALC/Colombia	Analítica de datos agrícolas	Optimización productiva	Media	CAF (2024)
7	PescaData	ALC/México	Plataforma de datos pesqueros	Trazabilidad-circularidad	Media	CAF (2024)
8	Green IT	ALC/CAF	Servicios TIC sostenibles	Optimización / Infraestructuras	Media	CAF (2024)
9	Monitor Ambiental Digital	ALC/México	Monitoreo geoambiental	Monitoreo ambiental	Media	Rodríguez-Trejo (2024)

El análisis de los 9 casos estudiados permitió identificar una tipología funcional de ecoherramientas digitales según su rol en la operacionalización de la TDV. Se distinguen cuatro categorías principales:

Herramientas de monitoreo y analítica ambiental: orientadas a la captura, procesamiento y visualización de datos ambientales en tiempo real. Incluyen plataformas como SIREN en Chile y el Monitor Ambiental Digital en México, que emplean analítica de datos e IoT para el seguimiento de emisiones y calidad ambiental (Ministerio de Energía de Chile, 2023; Rodríguez-Trejo, 2024).

Plataformas de optimización productiva sostenible: integran inteligencia artificial y modelos predictivos para mejorar la eficiencia en sectores productivos. Ejemplo de ello es AgroData-IA en Colombia, que optimiza el uso de recursos en la agricultura mediante análisis satelital y modelos de predicción (Hernández-Salazar et al., 2024).

Sistemas de trazabilidad y circularidad: orientados a garantizar la transparencia en cadenas de valor y promover la economía circular. El Circular Economy Digital Passport en Países Bajos constituye un referente en el uso de tecnologías como blockchain para la trazabilidad de productos (ETC-CE, 2024).

Infraestructuras digitales energéticas inteligentes: incluyen redes eléctricas inteligentes y plataformas de modelación energética, como Smart Grids en países nórdicos y el Helsinki Energy and Climate Atlas, que permiten la optimización del consumo energético y la planificación urbana sostenible (Nordic TSOs, 2022; Vartiainen, 2023).

Existen herramientas de infraestructuras energéticas inteligentes orientadas a la optimización del consumo energético mediante IoT y modelos predictivos. Investigaciones recientes en el contexto latinoamericano

demuestran que la combinación de condiciones bioclimáticas regionales con tecnologías de automatización y analítica predictiva genera beneficios ambientales y económicos medibles en edificios inteligentes (Lezama, 2025).

Esta tipología evidencia que las ecoherramientas no constituyen soluciones aisladas, sino componentes de una arquitectura digital integrada que habilita la TDV en múltiples niveles: operativo, estratégico y regulatorio.

Nivel de madurez comparado UE–ALC

La Tabla 2 presenta la matriz comparativa UE-ALC según cuatro dimensiones clave: integración regulatoria, gobernanza digital, desarrollo tecnológico y articulación con modelos de negocio.

Tabla 2. Matriz comparativa UE-ALC de madurez de ecoherramientas digitales. Fuente: elaboración propia.

Dimensión	Unión Europea (UE)	América Latina y el Caribe (ALC)	Evidencia / indicador
Integración regulatoria	Marcos obligatorios: Pacto Verde, CSRD, Taxonomía Verde	Adopción voluntaria y fragmentada, aunque creciente	Maucorps et al. (2023); CEPAL (2024a)
Gobernanza digital	Ecosistema institucional consolidado	Índice de Gobierno Digital 0.315 vs 0.605 OCDE	OCDE y BID (2024)
Desarrollo tecnológico y escalabilidad	Mayor integración, interoperabilidad y escalabilidad	Iniciativas puntuales, limitada articulación sistémica	CAF (2024)
Modelos de negocio	Servicios digitales sostenibles consolidados	Incipiente, dependiente de financiamiento externo	OCDE, CAF y UE (2022)

El análisis comparativo revela diferencias estructurales significativas en la madurez de las ecoherramientas digitales entre la UE y ALC, en cuatro dimensiones clave:

Integración regulatoria: en la UE, las ecoherramientas están directamente vinculadas a marcos obligatorios como el Pacto Verde Europeo, la Directiva CSRD y la Taxonomía Verde, lo que impulsa su adopción sistemática (Maucorps et al., 2023). En ALC, la adopción es mayoritariamente voluntaria y fragmentada, aunque en crecimiento (CEPAL a, CEPAL b, 2024).

Capacidades de gobernanza digital: la UE presenta un ecosistema institucional consolidado que facilita la implementación de soluciones basadas en datos. En contraste, ALC muestra limitaciones significativas, con un índice promedio de gobierno digital de 0.315 frente a 0.605 en la OCDE, lo que restringe la escalabilidad de estas herramientas (OCDE y BID, 2024).

Desarrollo tecnológico y escalabilidad: las soluciones europeas presentan mayor nivel de integración, interoperabilidad y escalabilidad, mientras que en ALC predominan iniciativas puntuales con limitada articulación sistémica (CAF, 2024).

Articulación con modelos de negocio: en la UE, las ecoherramientas están integradas en modelos de negocio consolidados basados en servicios digitales sostenibles, mientras que en ALC su incorporación es aún incipiente y dependiente de financiamiento externo.

En conjunto, estos resultados indican que la UE opera en un nivel de madurez sistémico, mientras que ALC se encuentra en una fase de adopción progresiva con alta heterogeneidad.

Brechas estructurales para la adopción en ALC

La Tabla 3 sintetiza las tres brechas estructurales identificadas en ALC y su efecto sobre la adopción de ecoherramientas digitales.

Tabla 3. Brechas estructurales para la adopción de ecoherramientas digitales en ALC. Fuente: elaboración propia.

Brecha	Indicador cuantitativo / evidencia	Efecto sobre las ecoherramientas	Fuente
Infraestructura digital y datos	Limitada capacidad de captura, procesamiento y compartición de datos ambientales	Dificulta la aplicación de la IA y la analítica avanzada	CAF y CEPAL (2020)
Gobernanza y capacidades institucionales	IGD 0.315 vs. 0.605 OCDE; debilidades en "Gobierno como plataforma" y "Abierto por defecto"	Restringe interoperabilidad y uso estratégico de datos	OCDE y BID (2024); OECD (2023a, 2023b)
Financiamiento e innovación	I+D+i 0.3% del PIB regional; dependencia de financiamiento externo	Limita soluciones propias y escalables	OCDE, CAF y UE (2022)

A partir del análisis de los casos y la comparación regional, se identifican tres brechas estructurales que limitan la consolidación de las ecoherramientas digitales en ALC:

Brecha de infraestructura digital y datos: la limitada capacidad para capturar, procesar y compartir datos ambientales dificulta la implementación de soluciones avanzadas basadas en inteligencia artificial y analítica (CAF y CEPAL, 2020).

Brecha de gobernanza y capacidades institucionales: las debilidades en dimensiones como "Gobierno como plataforma" y "Abierto por defecto" —esta última referida a la apertura predeterminada de datos y procesos gubernamentales, restringen la interoperabilidad y el uso estratégico de los datos (OCDE y BID, 2024; OECD, 2023a y OECD, 2023b).

Brecha de financiamiento e innovación: la baja inversión en I+D+i (0.3% del PIB regional) y la dependencia de financiamiento externo limitan el desarrollo de soluciones propias y escalables (OCDE, CAF y Unión Europea, 2022).

Estas brechas configuran un entorno donde la adopción de ecoherramientas es posible, pero no sostenible a escala sin intervenciones estructurales.

Oportunidades emergentes para el desarrollo de ecoherramientas

A pesar de las brechas identificadas, el análisis evidencia oportunidades relevantes para el desarrollo y escalabilidad de ecoherramientas en ALC:

1. Dinamismo regulatorio creciente, con más de 40 instrumentos ambientales aprobados en la región, que generan demanda potencial de soluciones digitales (OCDE, CAF y Unión Europea, 2022).
2. Expansión del financiamiento verde, particularmente a través de bonos GSSS (Green, Social, Sustainability and Sustainability-Linked Bonds, o bonos verdes, sociales, sostenibles y vinculados a la sostenibilidad).
3. y bancos de desarrollo, que pueden actuar como catalizadores de innovación (CAF, 2024).
4. Demanda internacional por trazabilidad y sostenibilidad, que presiona a las empresas a adoptar ecoherramientas para integrarse en cadenas globales de valor.
5. Potencial del sector TIC regional, que puede posicionarse como proveedor de ecoservicios digitales bajo modelos escalables.

En este contexto, las ecoherramientas digitales emergen como un vector estratégico para cerrar brechas productivas y ambientales, especialmente cuando se articulan con modelos de provisión como servicio.

Los resultados obtenidos confirman que las ecoherramientas digitales constituyen el núcleo operativo de la TDV, en la medida en que permiten traducir marcos regulatorios y objetivos de sostenibilidad en acciones medibles y verificables. Esta evidencia es consistente con la literatura reciente, que subraya el papel de las tecnologías digitales como habilitadoras de la sostenibilidad en contextos productivos y urbanos (Kumar, 2025; Yang y Liu, 2024).

Ecoherramientas como interfaz entre regulación y operación

Uno de los hallazgos más relevantes es que, en la Unión Europea (UE), las ecoherramientas funcionan como una interfaz efectiva entre los marcos regulatorios y la implementación práctica. La integración de plataformas digitales con instrumentos como la Directiva CSRD o la Taxonomía Verde no solo facilita el cumplimiento normativo, sino que también genera nuevos mercados basados en datos ambientales verificables (Maucorps et al., 2023).

En contraste, en ALC, la menor articulación entre regulación y herramientas digitales limita esta funcionalidad. Aunque existen avances normativos, los resultados muestran que su traducción en soluciones operativas es aún parcial, lo que coincide con estudios que señalan la fragmentación institucional como una barrera crítica para la transición digital sostenible en la región (CEPAL b, 2024).

Este contraste sugiere que el valor estratégico de las ecoherramientas no reside únicamente en su componente tecnológico, sino en su capacidad de integrarse en ecosistemas regulatorios y de gobernanza digital.

Brechas estructurales y condicionantes del escalamiento

Las brechas identificadas en ALC —infraestructura, gobernanza y financiamiento— no actúan de forma aislada, sino que configuran un sistema de restricciones interdependientes que limita la escalabilidad de las ecoherramientas.

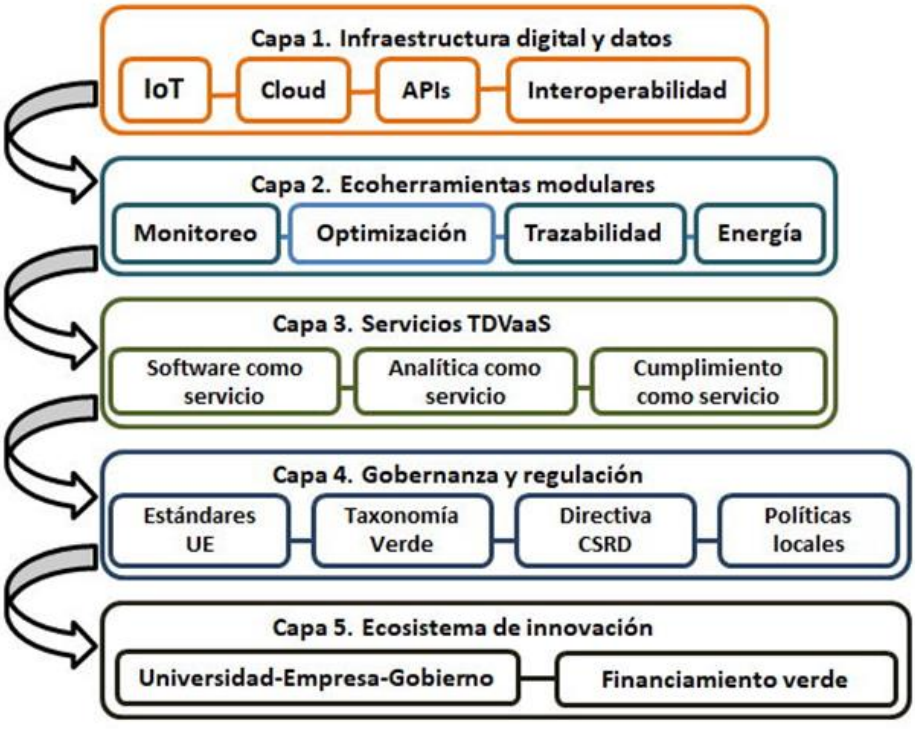
En particular, la debilidad en las capacidades de gobierno digital restringe la generación y gestión de datos, lo que a su vez limita el desarrollo de soluciones basadas en inteligencia artificial y analítica avanzada. Este hallazgo refuerza la importancia de la dimensión "Impulsado por los datos" como condición habilitante para la TDV, en línea con el enfoque del Índice de Gobierno Digital (OCDE y BID, 2024). Análisis empíricos recientes sobre mipymes en 18 países iberoamericanos demuestran que el efecto de la digitalización sobre la sostenibilidad es no lineal y está moderado por la calidad institucional: sin instituciones sólidas, la digitalización por sí sola no genera mejoras ambientales sostenidas (Clemente-Almendros et al., 2025).

Asimismo, la baja inversión en I+D+i condiciona la capacidad de adaptación tecnológica local, generando dependencia de soluciones externas. Esta situación ha sido ampliamente documentada como un obstáculo para la innovación sostenible en economías emergentes (Alves-Pinto et al., 2024).

Por tanto, los resultados sugieren que la adopción de ecoherramientas en ALC requiere no solo soluciones tecnológicas, sino intervenciones sistémicas que fortalezcan capacidades institucionales y ecosistemas de innovación.

Implicaciones para el modelo TDVaaS

A partir de los resultados, el modelo de Transformación Digital Verde como Servicio (TDVaaS) propuesto puede interpretarse como una respuesta adaptativa a las condiciones estructurales de ALC, más que como una solución universal (Fig. 1).



La Figura 1 sintetiza el modelo TDVaaS propuesto:

En contextos donde las capacidades estatales y empresariales son limitadas, el enfoque "como servicio" permite:

- Reducir barreras de entrada tecnológica
- Facilitar la adopción progresiva mediante soluciones modulares
- Externalizar capacidades técnicas especializadas

Este planteamiento es coherente con la evolución de los modelos de negocio digitales hacia esquemas basados en servicios escalables, particularmente en sectores TIC (Maucorps et al., 2023).

Sin embargo, los resultados también indican que la efectividad del TDVaaS dependerá de su capacidad para integrarse en entornos con baja proactividad institucional y limitada disponibilidad de datos. En este sentido, su implementación requiere un diseño que considere explícitamente las restricciones del contexto, evitando replicar modelos desarrollados en entornos de alta madurez digital.

Rol del sector TIC y articulación con ecosistemas de innovación

El análisis confirma que el sector TIC desempeña un papel central como habilitador transversal de la TDV, especialmente en ALC, donde puede compensar parcialmente las debilidades del sector público.

Los resultados sugieren que existe una oportunidad estratégica para que las empresas TIC evolucionen hacia proveedores de ecoservicios digitales, particularmente en áreas como:

- Analítica ambiental
- Optimización energética
- Plataformas de trazabilidad

Un caso ilustrativo en el sector agrícola colombiano demuestra que la implementación de tecnología IoT para el monitoreo del secado de café permitió a pequeños productores acceder a estándares de calidad del mercado global, evidenciando el potencial de las ecoherramientas para cerrar brechas productivas en contextos de recursos limitados (Acosta-Minoli et al., 2024).

No obstante, esta transición requiere una mayor articulación con el sector académico y los sistemas de innovación, dado que la evidencia muestra una brecha persistente en la transferencia de conocimiento universidad–empresa (Chao, 2024).

En este sentido, la consolidación de ecosistemas de innovación orientados a la TDV emerge como un factor crítico para la sostenibilidad de las ecoherramientas en la región.

Implicaciones estratégicas para Cuba

En el caso de Cuba, los resultados sugieren que la adopción de ecoherramientas digitales debe abordarse desde un enfoque selectivo y adaptativo, priorizando aquellos sectores donde existan mayores sinergias entre capacidades nacionales y oportunidades externas.

La evidencia comparada indica que la alineación con estándares internacionales, particularmente europeos, puede facilitar la inserción en cadenas globales de valor sostenibles. Sin embargo, esta estrategia debe complementarse con el fortalecimiento de capacidades internas en gobernanza digital y gestión de datos.

Asimismo, la articulación entre universidades, empresas y sector público resulta esencial para superar las limitaciones estructurales identificadas, en coherencia con enfoques de innovación abierta y desarrollo de capacidades locales.

Limitaciones del estudio

Esta investigación tiene carácter cualitativo y exploratorio, por lo que no permite generalización estadística. Depende de fuentes secundarias y de documentación pública heterogénea, especialmente en ALC. La muestra intencional de 9 casos estudiados, puede no ser representativa del universo de ecoherramientas. Existe un posible sesgo de selección por disponibilidad de información de carácter público. Además, el modelo TDVaaS es una propuesta conceptual que requiere validación empírica mediante pilotos y estudios longitudinales en la región adaptados a las regulaciones específicas nacionales. Estas limitaciones no invalidan los hallazgos, pero acotan su alcance.

CONCLUSIONES

El análisis realizado confirma que las ecoherramientas digitales constituyen el componente operativo central de la TDV, al permitir la medición, gestión y verificación de impactos ambientales en tiempo real, así como la integración efectiva entre objetivos regulatorios y prácticas productivas.

Los resultados evidencian una brecha estructural significativa entre la UE y ALC. Mientras la UE presenta un nivel de madurez sistémico caracterizado por la integración entre regulación, capacidades digitales y modelos de negocio sostenibles, ALC se encuentra en una fase de adopción progresiva, condicionada por limitaciones en infraestructura, gobernanza digital e inversión en I+D+i.

En este contexto, las ecoherramientas emergen como un vector estratégico para reducir brechas productivas y ambientales, particularmente cuando se articulan con modelos de provisión escalables. Los hallazgos sugieren que el enfoque de Transformación Digital Verde como Servicio (TDVaaS) constituye una alternativa viable para facilitar la adopción en entornos de baja madurez digital, al reducir barreras de entrada y permitir una implementación modular y progresiva.

Asimismo, se confirma el rol estratégico del sector TIC como habilitador transversal, con potencial para posicionarse como proveedor de ecoservicios digitales en áreas clave como analítica ambiental, optimización energética y trazabilidad. No obstante, su consolidación depende de una mayor articulación con ecosistemas de innovación y de la superación de las brechas en capacidades institucionales.

Para el caso de Cuba, los resultados indican la necesidad de una estrategia adaptativa, basada en la alineación con estándares internacionales, el fortalecimiento de la gobernanza digital y la integración efectiva entre universidad, empresa y sector público. Este enfoque permitiría aprovechar las oportunidades emergentes de la TDV y facilitar la inserción en cadenas de valor sostenibles.

En síntesis, la implementación de ecoherramientas digitales, articuladas bajo modelos como el TDVaaS, no solo constituye una respuesta tecnológica, sino un mecanismo estructural para avanzar hacia una competitividad

sostenible, especialmente en economías emergentes que enfrentan simultáneamente desafíos digitales y ambientales.

Las futuras investigaciones deberían validar empíricamente el modelo TDVaaS en contextos de baja madurez digital, desarrollar métricas comparables de madurez de ecoherramientas y analizar longitudinalmente su impacto en competitividad y sostenibilidad.

AGRADECIMIENTOS

Para el desarrollo y culminación de esta investigación, los autores agradecen a:

AS@I Informatika, Orio, Gipuzkoa, País Vasco, España (https//www.asaiinformatik.es) por el soporte técnico y financiamiento para la realización de las investigaciones en España.

Al Dr. C. Gotzon Bernaola Ariño, Coordinador General de Innovación Empresarial de la Agencia Vasca de Innovación (Innobasque), entidad que tiene como objetivo promover la innovación en el País Vasco, España, por las sugerencias brindadas para encausar la investigación y la información técnica aportada.

A la Dra. Marta Negrillo Damas, Consultora Medio Ambiente, Formadora, Técnico en Servicios Ambientales, Universidad de Valladolid y Universidad de Jaén, Andalucía, España por los conocimientos aportados sobre los sistemas de gestión ambiental en el marco de la UE y específicamente España.

Al M.Sc. Ricardo Castro Armas, Director de Infocomunicaciones, del Centro de Investigaciones y Desarrollo de Medicamentos (CIDEM) (www.cidem.cu) por las orientaciones metodológicas aportadas.

REFERENCIAS

Artículos de revistas

Acosta-Minoli, C., Carmona, P.-C., Mesa-Mazo, M., Vargas-Gil, J.-D., & Velásquez, J.-P. (2024). IoT-based technology for the coffee drying process data analysis of small farmers. Revista Facultad de Ingeniería, 33 (69), e17404. https://doi.org/10.19053/01211129.v33.n69.2024.17404

Alves-Pinto, M. M., Kovaleski, J. L., & de Genaro Chiroli, D. M. (2024). Sustainable digital transformation roadmaps for SMEs: A systematic literature review. Sustainability, 16(19), 8551. doi:10.3390/su16198551

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3 (2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Chao, L. (2024). How Does University-Industry Collaboration Drives the Green Innovation?" Sage Open, 14(3). Recuperado de https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/21582440241274500

Díaz, P., Fuentes, M. J., y Díaz Manresa, K. (2025). Transformación digital sostenible: La convergencia de la innovación tecnológica y la sostenibilidad. Revista RISTI, 60(12), 96-111.

Hernández-Salazar, C. A., González-Estrada, O. A., y González-Silva, G. (2024). Integración de la inteligencia artificial y la agricultura de precisión en cultivos de café. Revista UIS Ingenierías, 23(4), 145-158. doi:10.18273/revsal.v48n1-2024001

Kumar, D. (2025). Digital Technology and AI for Smart Sustainable Cities in the Global South: A Critical Review of Literature and Case Studies. J. Urban Science, 9(3), 72. doi.org/10.3390/urbansci9030072

Lezama, Á. (2025). Estrategias para optimizar el consumo energético en edificios inteligentes. Revista Athenea, 5 (18), 33–45. https://doi.org/10.47460/athenea.v5i18.83

Maucorps, A., Römisch, R., Schwab, T., & Vujanović, N. (2023). The impact of the green and digital transition on regional cohesion in Europe. Intereconomics, 58(2), 102-110.

Rodríguez-Trejo, A. (2024). Estación de monitoreo geoambiental EMGA: Dispositivo de monitoreo ambiental en tiempo real... Revista Internacional de Contaminación Ambiental. doi:10.20937/rica.55355

Yang, C., & Liu, Q. (2024). Driving green innovation through digital transformation... Sustainability, 16(23), 10716. doi:10.3390/su162310716

Libros

Denzin, N. K. (2017). The research act: A theoretical introduction to sociological methods. Routledge. (Obra original publicada en 1978) Transaction Publishers, ISBN 0202368599, 9780202368597, 368 páginas. Recuparado de https://books.google.com.cu/books?id=UjcpxFE0T4cC

OECD (2023a). Global Outlook on Financing for Sustainable Development 2023. OECD Publishing, Paris, France. [versión electrónica en línea]. Recuperado de https://www.oecd.org/en/publications/global-outlook-on-financing-for-sustainable-development-2023_fcbe6ce9-en.html

OECD (2023 b). Green Digital Transformation. OECD Publishing, Paris, France. [versión electrónica en línea]. Recuperado de https://www.oecd.org/en/topics/inclusive-green-and-digital-transformation.html

Patton, M. Q. (2015). Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice (4.ª ed.). SAGE Publications.

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6.ª ed.). SAGE Publications.

Medios electrónicos

CAF (2024). Reporte de Sostenibilidad 2024. Caracas, Venezuela. Recuperado de https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2479

CAF, & CEPAL. (2020). Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al COVID-19. https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1541/

CEPAL (2024a). Transformación digital sostenible en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de https://cepal.org

CEPAL (2024b). Oportunidades para la transformación digital productiva: evidencia estadística sobre el nivel de digitalización sectorial en América Latina y el Caribe (Documentos de Proyectos LC/TS.2023/76). Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/

Clemente-Almendros, J. A., et al. (2025). Understanding the MSME environmental transition: Nonlinear and moderation effects of digitalization and institutional context. Business Strategy and the Environment. https://doi.org/10.1002/bse.70477

ETC-CE (2024). Circular economy country profile 2024 – The Netherlands. ETC-CE Report 2024. European Topic Centre on circular economy and resource use. Recuperado de: https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/netherlands_2024-ce-country-profile_final.pdf

Ministerio de Energía de Chile (2023). Sistema Integrado de Reportes Energéticos Nacionales (SIREN). https://energia.gob.cl/siren

Nordic TSOs (2022). Solutions for a green nordic energy system. Strategies to meet the climate challenge. Recuperado de https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2022/solutions-report-2022.pdf

OCDE y BID (2024). Índice de Gobierno Digital OCDE-BID: América Latina y el Caribe 2023. Recuperado de https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2024/11/2023-oecd-idb-digital-government-index-of-latin-america-and-the-caribbean_5a9af6c4/7dc415b7-es.pdf

OCDE, CAF y Unión Europea (2022). Perspectivas económicas de América Latina 2022: Hacia una transición verde y justa. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3f2d1169-2468-4e33-9d14-e553af4ab5cc/content

Vartiainen, J. (2023). Helsinki. From Agenda to Action. Implementation of the UN Sustainable Development Goals in Helsinki3. Recuperado de https://sdgs.un.org/sites/default/files/vlrs/2023-06/helsinki-from-agenda-to-action-2023.pdf

Copyright © 2026, Díaz González de Mendoza, Pável; Fuentes Prieto, Mayda Juana; Díaz Manesa, Kaarel; Toledo Fernández, Manuel E.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional