

Transformación digital sostenible: la convergencia de la innovación tecnológica y la sostenibilidad

Díaz González de Mendoza, Pável¹, Fuentes Prieto Mayda Juana²,
Díaz Manresa Karel³

pdgmendoza@gmail.com; mfp24660@gmail.com; kdm90vr46@gmail.com

¹ Empresa de Aplicaciones Informáticas (Desoft), 10400 La Habana, Cuba.

² Empresa de Aplicaciones Informáticas (Desoft), 10400 La Habana, Cuba.

³ Centro Universitario Interamericano (INTER), 97302 Mérida, Yucatán, México.

DOI: 10.17013/risti.60.96–111

Resumen: La transformación digital constituye un cambio organizacional profundo habilitado por tecnologías digitales. Sobre esta base emergen dos enfoques complementarios: la transformación digital verde, que orienta la digitalización a objetivos ambientales y la transformación digital sostenible, que incorpora además dimensiones sociales y económicas en alineación con los ODS. Este artículo sintetiza conceptos, delimita alcances y propone un hilo articulador entre la transformación digital, verde y sostenible. Asimismo, compara su adopción en Europa—donde, desde 2019, la “doble transición” digital-verde se integra en políticas y financiamiento y en América Latina y el Caribe, con avances desiguales, pero crecientes. Se incluye el estado del arte en Cuba y una herramienta de autoevaluación verde para mipymes, alineada con el marco normativo ambiental nacional. Se concluye con lineamientos para escalar la transformación digital sostenible con métricas verificables, gobernanza inclusiva y cooperación birregional.

Palabras-clave: Transformación digital; transformación digital verde; transformación digital sostenible; sostenibilidad ambiental y tecnologías digitales.

Sustainable digital transformation: the convergence of technological innovation and sustainability

Abstract: Digital transformation is a profound organizational change enabled by digital technologies. Two complementary approaches emerge from this foundation: green digital transformation, which orients digitalization toward environmental objectives and sustainable digital transformation, which also incorporates social and economic dimensions in alignment with the SDGs. This article synthesizes concepts, defines scope, and proposes a common thread between digital, green, and sustainable transformation. It also compares their adoption in Europe—where, since 2019, the digital-green “double transition” has been integrated into policies and financing—and in Latin America and the Caribbean, with uneven but growing progress. It includes the state of the art in Cuba and a green self-assessment tool

for MSMEs, aligned with the national environmental regulatory framework. It concludes with guidelines for scaling sustainable digital transformation with verifiable metrics, inclusive governance, and bi-regional cooperation.

Keywords: Digital transformation; green digital transformation; sustainable digital transformation; environmental sustainability and digital technologies.

1. Introducción

La transformación digital ha sido uno de los procesos más importantes y disruptivos en la evolución empresarial y social de los últimos años. Su propósito ha sido modificar los modelos de negocio tradicionales, optimizando procesos, mejorando la eficiencia y habilitando nuevas formas de interacción con clientes, proveedores y otros actores del ecosistema empresarial. A partir de 2019, el debate se ancló en la convergencia ineludible entre la digitalización y la transición ecológica con el surgimiento del Pacto Verde Europeo (*European Green Deal*), consolidando la transformación digital con los objetivos de sostenibilidad ambiental dando paso a un nuevo fenómeno: la transformación digital verde.

Este concepto no solo busca mejorar la eficiencia empresarial mediante tecnologías digitales, sino que también pretende contribuir a la sostenibilidad global mediante la reducción de la huella ambiental y el uso eficiente de los recursos naturales. La transformación digital sostenible amplía este enfoque al integrar los aspectos sociales y económicos de la sostenibilidad, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible. Este artículo explora las relaciones entre la transformación digital, verde y sostenible, y su aplicabilidad en diferentes contextos regionales, con énfasis en Europa y América Latina, y el caso específico de Cuba.

Los objetivos de la revisión fueron analizar la evolución conceptual y práctica de la transformación digital hacia sus variantes verde y sostenible, diferenciando sus alcances, características y aportes en relación con los objetivos de desarrollo sostenible, comparar el grado de adopción, las brechas y las oportunidades de la transformación digital verde y sostenible en Europa, América Latina y el Caribe (ALC), con énfasis en el contexto cubano y diseñar y presentar una herramienta de autodiagnóstico verde para las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) cubanas, contextualizada al marco normativo nacional, que facilite la medición de su madurez ambiental-digital y promueva procesos de mejora continua.

2. Metodología

Se aplicó una revisión narrativa de alcance (*narrative scoping review*) con transparencia metodológica tipo PRISMA adaptada (Moher et al., 2009 y Codina, 2020). Criterios: horizonte 2021–2025 para políticas y reportes clave; fuentes académicas y oficiales (CEPAL, PNUD, UE, ISO, Gaceta Oficial de Cuba). Para cada documento se extrajeron año, tipo de iniciativa, actores, enfoque (digital/verde/sostenible) e indicadores. La síntesis agrupó hallazgos por: infraestructura y conectividad; gobierno y servicios digitales; iniciativas ambientales; brechas e inclusión (género/territorio). Se realizó una síntesis crítica y comparativa de diferentes contextos (Europa, ALC, Cuba),

incluyendo el marco conceptual y propuestas metodológicas propias (la herramienta de autodiagnóstico). Incluyó un amplio análisis contextual y conceptual, característico de la revisión narrativa, pero con organización por dimensiones y categorías propias de una revisión exploratoria.

La pregunta de investigación general empleada: ¿Qué avances, brechas y oportunidades presentan Europa, América Latina y el Caribe en la implementación de la transformación digital verde y sostenible?

3. Desarrollo

3.1. Definición de términos

La Transformación Digital (TD) se refiere al proceso de cambio organizacional fundamental apoyado en tecnologías digitales, con el fin de mejorar significativamente el desempeño, los procesos y modelos de negocio de una entidad. Gong y Ribiere (2021), tras analizar más de 130 definiciones, la describen como “los procesos de cambio fundamental utilizando tecnologías digitales para acelerar la transformación de negocios, procesos y competencias, aprovechando estratégicamente los recursos tecnológicos y capacidades, con impacto en la organización y la sociedad”.

Este concepto evolucionó de la mera digitalización (adopción de herramientas digitales) hacia una reconversión integral de las empresas en la era digital. El término TD cobró popularidad a partir de 2011, cuando Capgemini Consulting y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) lo acuñaron formalmente definiéndolo como “el uso de la tecnología para mejorar radicalmente el desempeño y el alcance de las empresas” (Almaguer y Malleuve, 2023; Westerman et al., 2011).

Desde entonces, la literatura académica ha enfatizado que la TD no solo implica incorporar software o hardware, sino replantear la estrategia, la cultura y los modelos operativos para aprovechar plenamente las posibilidades de las tecnologías de información, comunicación y conectividad (Aguirre y Gayá (2024), AlphaBeta, 2022; CEPAL, 2020; GorjianKhanzad y Gooyabadi, 2022; Miranda-Torrez, 2023 y Ruiz et. al., 2022 a y b).

En síntesis, la TD supone una reinversión estratégica de las organizaciones apalancada en tecnologías digitales (big data, inteligencia artificial, IoT, etc.), con miras a ganar ventajas competitivas sostenibles en un entorno cada vez más digital (Alvarez, 2024; Baier et. al., 2021; Cruz y Delgado, 2024; Díaz y Fuentes, 2024; González-Varona et al., 2024; World Bank, 2023 y Ruiz et al., 2022 a y b).

La transformación digital verde (TDV) alude a la convergencia de la TD con objetivos de sostenibilidad ambiental. En términos precisos, implica aplicar las tecnologías digitales de forma estratégica para facilitar la sostenibilidad ecológica y avanzar en la acción climática. Consiste en aprovechar la digitalización para medir y reducir la huella ambiental de procesos y productos, a la vez que se cierra la brecha digital de manera sostenible (Machado-García et al., 2023 y Yan, 2018).

En la literatura académica emergente se concibe la TDV como catalizador de la “doble transición” (digital y verde) para dirigir sectores económicos hacia la neutralidad

de carbono: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sin sacrificar innovación. Aunque no existe un “acuñador” único del término, su uso se ha extendido al calor de iniciativas como el Pacto Verde Europeo (*European Green Deal*) de 2019 y la noción de transformación gemela (*twin transformation*) en la Unión Europea, que enfatiza que las transiciones digital y verde deben avanzar de la mano fijando la meta de ser el primer continente climáticamente neutro para el 2050 (AIT, 2025).

Por ejemplo, la TDV abarca iniciativas como la optimización energética mediante IoT, ciudades inteligentes bajas en la emisión de carbono, agricultura de precisión que reduce insumos, entre otros, todo articulado en tecnología digital para lograr resultados “verdes”. Organismos internacionales lo han comenzado a emplear en los últimos años; el Banco Mundial lo define como “combinar el enfoque de transformación digital e inclusión con un uso estratégico y sostenible de tecnologías digitales para abordar el cambio climático”, habilitando un desarrollo bajo en emisiones. (Kocaman, 2024).

La transformación digital sostenible (TDS) es un concepto aún más integrador que busca que la transformación digital verde se planifique y ejecute incorporada plenamente a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) adoptados por la Organización de las Naciones Unidas que integran los aspectos relacionados el cambio climático, el desarrollo económico sostenible y el progreso social (CAF, 2022 y CEEI, 2021).

La alianza European DIGITAL SME define a la TDS como “el proceso de digitalizar la economía de manera duradera, verde y orgánica”, de forma tal que apoye la doble transición verde y digital. En otras palabras, significa orientar la TD con una mentalidad de sostenibilidad, asegurando que las innovaciones digitales no solo generen eficiencia y crecimiento, sino que también minimicen impactos ambientales, promuevan la inclusión social y creen valor a largo plazo. Este término engloba aspectos como: reducir la huella de carbono de las tecnologías de la informática y las comunicaciones (TIC) (p.ej., centros de datos alimentados con energías renovables, “Green IT”), garantizar la accesibilidad digital y la reducción de brechas sociales, y alinear las estrategias digitales corporativas con los ODS (CEPAL, 2022 y 2024). Su formulación explícita como TDS ha ganado fuerza en los últimos tres años, conforme a que empresas y gobiernos buscan conciliar la transformación tecnológica con los compromisos de sostenibilidad que vienen desarrollo con el objetivo de concentrar esfuerzos y ganar tiempo (Bonet, 2021).

La TDS enfatiza que la TD debe “durar” en el tiempo (evitando soluciones digitales efímeras o no escalables, evaluándose solamente desde perfil económico), ser verde (incidir en el control del impacto ambiental y ser en sí propia, tecnologías respetuosas con el medio ambiente) y aportar beneficios sociales.

3.2. Articulación conceptual

La TDV y la TDS ganan protagonismo entre 2019 y 2025 por su contribución a la obtención de metas medibles en la emisión de carbono (2030–2050) y por el reconocimiento de que la digitalización sin intencionalidad puede ampliar desigualdades (CEPAL, 2024). Técnica y conceptualmente, estos términos están entrelazados como partes de un mismo panorama de cambio hacia la sostenibilidad en la era digital. Cada concepto posee un énfasis particular, pero comparten fronteras comunes. La TD es principalmente un proceso habilitador transversal – la digitalización puede impulsar o acelerar otros tipos de transformación (verde y sostenible). La TDV surge precisamente en la intersección de

lo digital y lo ambiental: aprovecha la digitalización para lograr objetivos ecológicos (por ejemplo, el uso de big data para monitorear emisiones, o la inteligencia artificial para optimizar redes energéticas renovables) (World Bank, 2023). A su vez, la TDS se ubica en la intersección de la TD con la agenda amplia de sostenibilidad (ambiental y social), buscando que la digitalización sea congruente con los ODS (p. ej., usar tecnología para inclusión educativa, gobierno digital transparente, reducción de desigualdades, además de impactos verdes).

Estas relaciones pueden entenderse mediante el concepto europeo de “doble transición o transición gemela” (*twin transition*), que destaca la sinergia entre la TD y la verde como motores conjuntos de un futuro sostenible (AIT, 2025). Autores como Kocaman (2024) señalan que la intersección de la TD y la transformación verde “apunta a apoyar un crecimiento sostenible mediante la digitalización”, integrando innovación tecnológica con objetivos de sostenibilidad ambiental.

En la práctica, significa que las políticas públicas y estrategias corporativas tienden a abordar simultáneamente la digitalización y la descarbonización, reconociendo que pueden reforzarse mutuamente: las tecnologías digitales hacen más eficiente la transición ecológica, y la agenda verde le da orientación y propósito a la digitalización (por ejemplo, digitalizar para monitorear la huella de carbono, o emplear IoT para la gestión inteligente de residuos) (Haarstad y Rusten, 2018).

Asimismo, varios investigadores han tratado conjuntamente estos conceptos desarrollando marcos integrados. Por ejemplo, la literatura de Green IT/IS, también conocida como informática verde o computación sostenible, ya desde la década de 2000 exploraba cómo los sistemas de información podían usarse para la sostenibilidad ambiental, prefigurando la idea de TDV. Se refiere a un conjunto de prácticas y tecnologías diseñadas para minimizar el impacto ambiental de las operaciones de tecnologías de la información (TI). Implica el uso eficiente de los recursos, la reducción del consumo de energía y la minimización de residuos electrónicos (Fahimi, 2021).

Entre 2020 y 2025, se han publicado trabajos que abordan la TDS apoyada en lo digital en sectores pertenecientes a la industria 5.0, las ciudades inteligentes o la agricultura climáticamente inteligente. Todos ellos confirman que la digitalización puede ser un catalizador para alcanzar metas verdes y sociales, siempre que se incorpore intencionalmente a tiempo en esa dirección (Aguilar et al., 2023, Díaz y Macía, 2024 y AIT, 2025).

En la literatura académica y sobre políticas se reconoce cada vez más esta interdependencia. La Unión Europea, por ejemplo, ha adoptado explícitamente la agenda de transformaciones gemelas: su estrategia pospandemia condicionó gran parte de los fondos de recuperación a que los proyectos contribuyan simultáneamente a la TD y verde (Kocaman, 2024). Esto refleja que, en la práctica, resulta beneficioso impulsar ambas transformaciones en conjunto –no como vías separadas– para lograr un impacto más profundo.

La Figura 1 ilustra esquemáticamente estas interrelaciones. La TD es un proceso transversal que puede solaparse tanto con la transformación verde (orientado a la implementación de la política ambiental), como con los objetivos de transformación

sostenible (que engloba las políticas gubernamentales asociadas a los elementos ambientales y sociales).

La zona de superposición entre las transformaciones digital y verde (1), corresponde a la TDV, donde las iniciativas digitales se orientan explícitamente a objetivos ecológicos. La intersección entre la esfera de la TD y toda la agenda gubernamental sostenible (2), corresponde a la TDS, que implica alinear la transformación digital con todos los pilares de la sostenibilidad. De este modo, puede verse que los términos no compiten entre sí, sino que se complementan: la TD provee herramientas y cambios tecnológicos; articulan esfuerzos híbridos necesarios para materializar la visión de un desarrollo sostenible apoyado en la tecnología.

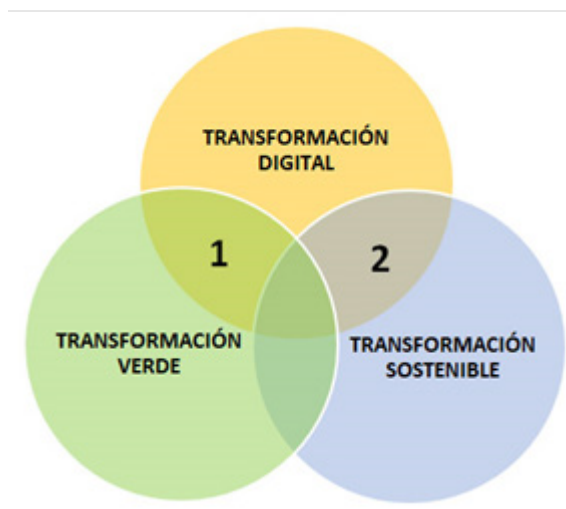


Figura 1 – Representación conceptual de la interrelación entre los términos transformación digital, verde y sostenible.

Para una organización empresarial, independientemente de su dimensión, la estrategia debe desarrollarse por etapas para poder ir adoptando las herramientas digitales más adecuadas a su modelo de negocio, la disponibilidad de financiamiento y las normativas sobre la gestión ambiental globales, nacionales y locales donde se encuentre, así como del destino de sus productos y servicios (Figura 2).



Figura 2 – Transición entre digitalización, transformación digital, transformación digital verde y transformación sostenible.

3.2.1. Valoración de la novedad de los conceptos

La TDV ha cobrado relevancia conforme las empresas y gobiernos se plantean metas de neutralidad para la emisión de carbono en el periodo 2030-2050, reconociendo que sin herramientas digitales (p.ej. redes inteligentes, sensores ambientales, algoritmos de eficiencia) será difícil lograrlas (Miranda-Torrez, 2023 y Abdulhadi et al., 2024).

Por su parte, TDS expande aún más el alcance e introduce una visión innovadora: propone que la TD debe diseñarse con un mandato de sostenibilidad desde el inicio, en vez de corregir externamente sus efectos. Este énfasis relativamente nuevo en “digital con propósito sostenible” está siendo impulsado por iniciativas globales recientes, como la Alianza Digital Inclusiva y Sostenible UE–ALC de 2023 (EDSA, 2020) y por la creciente atención a aspectos como la huella ambiental de la industria tecnológica (pensemos en los *data centers* y el consumo energético de las criptomonedas) y la brecha digital como problema de equidad (Aguilar et al., 2023).

Es importante conceptualizar independientemente estos nuevos términos –TDV y TDS– porque aportan matices que no estaban presentes en las nociones originales. La TD “genérica” suele orientarse a eficiencia y competitividad, pero al incorporarle el adjetivo verde o sostenible se introducen criterios cualitativos distintos: bajas emisiones, uso responsable de recursos, inclusión social, etc. y vincularlos a indicadores de desempeño de las empresas. Separarlos conceptualmente ayuda a establecer metas claras y métricas propias. Por ejemplo, una iniciativa de TDS deberá medirse no solo en términos de ganancias de productividad, sino también en su contribución a los ODS (reducción de desigualdades, mejora ambiental, etc.). En cambio, una TD tradicional podría medirse únicamente en retorno de la inversión (ROI) o crecimiento digital. Así, distinguir estos términos evita que la sostenibilidad quede diluida como mera consecuencia deseable y, en cambio, la posiciona como objetivo explícito de ciertas transformaciones. Autores en el ámbito de la gestión ambiental enfatizan que integrar la sostenibilidad en la TD requiere cambios de mentalidad y enfoques diferentes, lo cual justifica un marco conceptual propio.

En cuanto a la relevancia actual de cada término: todos son altamente pertinentes, pero en contextos algo distintos. La TD sigue siendo un imperativo estratégico para empresas y gobiernos –aún más tras la pandemia de COVID-19, que aceleró la digitalización–, dado que está asociada con innovación, eficiencia y nueva creación de valor (CEPAL, 2024).

Ahora bien, los términos híbridos muestran su relevancia en agendas específicas: TDV es vital en sectores donde la digitalización puede generar saltos cualitativos en sostenibilidad (energía, agricultura, transporte). Por ejemplo, sin digitalización (redes eléctricas inteligentes, sensores, IA) la incorporación masiva de renovables y la eficiencia energética a gran escala sería mucho más lenta –de ahí que la TDV sea un habilitador clave para cumplir el Acuerdo de París (Kocaman, 2024).

A su vez, la TDS refleja preocupaciones actuales sobre el impacto social de la digitalización: hoy reconocemos que la tecnología digital no es neutra, puede amplificar brechas sociales si no se gestiona bien. Por ende, se habla de TDS al diseñar estrategias nacionales de digitalización que incluyan capacitación laboral, accesibilidad, ética en

inteligencia artificial, etc., asegurando que la TD “no deje a nadie atrás”, principio central de la Agenda 2030 (CEPAL, 2024).

En suma, en el contexto contemporáneo estos conceptos son complementarios y cada uno aborda un desafío de nuestra triple transición global (tecnológica, ambiental y socioeconómica). La novedad de TDV y TDS radica en su enfoque integrado, lo cual responde a la convicción creciente de que los grandes desafíos (digitalización, cambio climático, desarrollo sostenible) deben encararse simultáneamente y de forma articulada para obtener soluciones efectivas y sinérgicas.

3.2.2. Desarrollo regional: Europa vs. América Latina y el Caribe

La dinámica empresarial contemporánea, tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo, revela una integración creciente entre la TD y los sistemas de gestión ambiental (SGA). Dos factores están acelerando esta sinergia: en primer lugar, la obligación de implementar SGA en las organizaciones, una exigencia ya vigente en grandes empresas y que se extenderá a las pymes de manera gradual a nivel internacional. En segundo lugar, la creciente demanda del mercado por productos y servicios respaldados por procesos respetuosos con el entorno, lo que otorga valor añadido a la oferta empresarial. Este escenario en el sistema empresarial, impone un reto particular a los productores y proveedores de herramientas y servicios informáticos.

En la actualidad, estas exigencias representan una oportunidad para acceder a los mercados más competitivos. Sin embargo, en un futuro próximo, constituirán verdaderas barreras de entrada. Una TD orientada estratégicamente a las nuevas tendencias sostenibles puede marcar una diferencia significativa en el desempeño de una organización y en la aceptación de sus productos y servicios.

El grado de avance y la forma de adopción de estos conceptos presentan diferencias notables entre Europa y América Latina y el Caribe (ALC), aunque también algunas tendencias convergen (Unión Europea, 2022). En Europa, la TD y la transformación verde/sostenible se abordan de manera intencionalmente integrada, reflejándose en estrategias de alto nivel. La Unión Europea ha sido pionera en declarar la meta de una “transición gemela” digital y verde –por ejemplo, condicionando su fondo de recuperación NextGenerationEU (750.000 M€) a que los proyectos apoyen simultáneamente la TD y la ecológica (Kocaman, 2024).

Europa exhibe altos niveles de digitalización: más del 90% de su población usa internet. Las empresas y gobiernos tienen índices elevados de adopción tecnológica, y existe un ecosistema robusto de innovación digital. Esto ha permitido que la TD europea esté relativamente madura, pasando de una mera digitalización de procesos hacia la reconfiguración digital de sectores enteros (industria 5.0 en manufactura, fintech en banca, gobierno digital, etc.) (Fahimi, 2021).

Por contraste, en ALC la adopción de estos conceptos ha sido más heterogénea y con ritmos diferentes, aunque en años recientes la brecha comienza a cerrarse parcialmente. En materia de TD, ALC ha avanzado en la conectividad y digitalización, pero persisten importantes brechas. Alrededor del 80% de la población urbana latinoamericana tiene acceso a internet, cifra comparable a regiones desarrolladas, pero en las zonas rurales y

entre los estratos de menores ingresos el acceso cae drásticamente, con brechas de hasta 50 puntos porcentuales (NU-CEPAL, 2025).

La investigación muestra que la región aún enfrenta un desafío de inclusión digital (infraestructura deficiente en áreas remotas, costos elevados y desigualdad socio-digital). No obstante, la pandemia actuó como catalizador: se aceleró el comercio electrónico, la banca digital, el teletrabajo y educación virtual, forzando a muchos actores a transformarse digitalmente. Organismos como CEPAL sostienen que una TD real y efectiva podría ser el puente para que ALC supere sus trampas estructurales de bajo crecimiento y alta desigualdad, siempre y cuando se cierre la brecha digital y se oriente hacia la productividad e inclusión (CEPAL, 2024).

En este sentido, varios países latinoamericanos han lanzado agendas de TD (ej. Colombia y Chile con estrategias nacionales “Industria 4.0” o “Gobierno Digital”). Sin embargo, en general la madurez digital corporativa y estatal en ALC es menor que en Europa. Muchas pymes aún están en etapas básicas de digitalización y la inversión en investigación y desarrollo tecnológico es reducida (en promedio ~0.5% del PIB, muy por debajo de la UE) (CEPAL, 2022).

Otro contraste está en el enfoque estratégico regional: Europa ha adoptado una aproximación normativa y proactiva (imponiendo objetivos legales, estándares –por ejemplo, exigencias de eco- diseño, digitalización de servicios públicos obligatoria– y destinando fondos cuantiosos a innovación verde-digital). ALC, en cambio, tiende a avanzar mediante proyectos piloto y cooperación internacional. Por ejemplo, la reciente Alianza Digital UE-ALC y el programa Global Gateway destinarán inversiones para infraestructura digital y energías limpias en la región, reflejando un enfoque de asociación para impulsar la doble transformación digital-verde en Latinoamérica. Esto evidencia la convergencia de intereses: tanto Europa como ALC reconocen la importancia de la transformación digital y verde, y buscan colaborar (Europa aportando tecnología y financiamiento, ALC aprovechando la oportunidad para modernizarse sosteniblemente).

La CEPAL en 2022 subrayó que la coordinación birregional puede ayudar a ALC a recuperarse mejor tras la pandemia, invirtiendo en sectores verdes con apoyo de herramientas digitales, a la vez que reduce brechas sociales (CEPAL, 2024).

Lo avanzado evidencia que Europa exhibe un mayor grado de avance en la TDV y su integración sostenible: alta penetración digital, marcos regulatorios verdes robustos, y vinculación explícita de ambas (*twin transition*). ALC, aunque rezagada en indicadores (menor productividad digital, mayores brechas socio-digitales, y desafíos socioeconómicos que compiten con prioridades ambientales), está adoptando gradualmente estos conceptos en su agenda de desarrollo.

La similitud principal es que ambas regiones conciben ya la TD y la TDV como elementos clave para un desarrollo futuro sostenible, con énfasis en la inclusión. La diferencia estriba en la velocidad y profundidad: Europa avanza con pasos firmes hacia la neutralidad de carbono y la sociedad digital del conocimiento, mientras ALC aún se esfuerza por sentar las bases (conectividad universal, instituciones sólidas) para poder emprender esas transformaciones plenamente (CEPAL, 2022 y NU-CEPAL, 2025).

No obstante, la cooperación reciente y el aprendizaje mutuo, compartiendo regulación digital o tecnologías limpias europeas adaptadas a contextos latinoamericanos, auguran que la brecha podría acortarse.

En cualquier caso, tanto en Europa como en ALC la triple transformación –digital, verde y sostenible– se reconoce como la vía obligada para afrontar los desafíos del siglo XXI, desde la cuarta revolución industrial hasta la crisis climática y la necesidad de un desarrollo más humano, sientan las bases para el desarrollo regional de la Industria 5.0 (Díaz y Maciá, 2024).

3.3. Estado del arte en Cuba (2021–2025)

3.3.1. Transformación digital y sostenibilidad en la política pública cubana

Durante el período 2021–2025, Cuba ha experimentado un proceso de reconfiguración digital que, aunque desigual y con limitaciones tecnológicas, ha estado acompañado de avances normativos, institucionales y experimentales hacia una TD más inclusiva y sosteniblemente orientada (Ruiz *et. al*, 2022 a y b). En este contexto, aunque aún incipiente, es posible identificar la presencia de elementos asociados a la TDV y a una TDS en determinadas políticas, proyectos y estudios nacionales.

Un punto de inflexión clave en este quinquenio ha sido la aprobación de la política para la TD y la Agenda Digital Cubana 2030, adoptadas en 2022 bajo el liderazgo del Ministerio de Comunicaciones (MINCOM) y del grupo temporal para la informatización. Esta política establece cinco pilares estratégicos: infraestructura digital, economía digital, gobierno digital, desarrollo de capacidades y ciberseguridad. Aunque el enfoque central de esta agenda es económico y gubernamental, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental comienzan a perfilarse como dimensiones transversales. En su artículo sobre esta política, Arevich (2022) destaca que la Agenda Digital Cubana se alinea con los ODS, pero advierte que aún es necesario desarrollar mecanismos concretos para evaluar el impacto ambiental y social de la digitalización.

La visión oficial cubana considera a la TD como palanca para el desarrollo socioeconómico, el cierre de brechas territoriales y la eficiencia en la gestión pública. No obstante, el marco normativo no explicita aún métricas ambientales asociadas a procesos digitales, ni criterios de sostenibilidad ecológica en la expansión de infraestructuras TIC. Aun así, esta política representa el andamiaje sobre el cual podrían desarrollarse acciones futuras vinculadas a la TDV y la TDS, al menos en términos programáticos (Arevich, 2022).

3.3.2. Iniciativas locales, proyectos científicos y sostenibilidad tecnológica

Un segundo enfoque emergente dentro del estado del arte cubano es la articulación entre digitalización, desarrollo territorial y sostenibilidad, en parte impulsado por experiencias de cooperación internacional. En este sentido, el trabajo de Ruiz y Amoroso (2023) analiza cómo algunos gobiernos locales, apoyados por la Plataforma Articulada para el Desarrollo Integral Territorial (PADIT) —una iniciativa conjunta entre el Gobierno cubano, el PNUD y otros socios— están adoptando modelos de gobernanza digital local. Estos modelos permiten la incorporación de herramientas tecnológicas en procesos

de planificación, participación y servicios públicos, integrando criterios de inclusión (especialmente de género) y eficiencia administrativa (Méndez y Torres, 2023).

Uno de los aportes centrales de esta línea de investigación es que la TD en el contexto cubano debe ser entendida desde una lógica territorial, participativa y adaptada a los recursos disponibles. En experiencias documentadas en provincias como Holguín y Villa Clara, la digitalización se vincula con la gestión local del desarrollo, la administración electrónica y los servicios sensibles al género. Aunque no se emplea el término TDV de manera explícita, se observan elementos que la prefiguran, tales como la optimización del uso energético en oficinas públicas mediante herramientas de monitoreo, o la digitalización de procesos de planificación urbana con enfoque ambiental (Ruiz *et. al*, 2023 a).

Esta dimensión sugiere que la sostenibilidad digital en Cuba puede no provenir exclusivamente del estado a nivel central, sino también de experiencias locales contextualizadas, apoyadas en sinergias con organismos internacionales y la academia cubana.

3.3.3. Innovación científica y transformación digital verde

Una tercera área incipiente, pero prometedora, dentro del ecosistema cubano es la convergencia entre investigación científica, infraestructura digital y sostenibilidad energética. El desarrollo del proyecto Humboldt Highway II, consiste en un clúster de alto rendimiento para la computación científica, ubicado en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) de la Universidad de La Habana. Esta instalación está diseñada para funcionar exclusivamente con energías renovables, como parte de un modelo de soberanía tecnológica verde.

Este caso es particularmente relevante como ejemplo cubano de TDV en el ámbito científico-académico, donde se integran consideraciones de eficiencia energética, reducción de huella de carbono y computación distribuida. A diferencia de muchas implementaciones tecnológicas convencionales, esta propuesta parte de una visión “eco-digital” desde su diseño: cada módulo del clúster se alimenta de fuentes limpias y busca reducir el impacto ambiental de los procesos de cálculo intensivo. Además, el proyecto contempla la colaboración abierta con universidades latinoamericanas para escalar este modelo en el sur global.

Este tipo de experiencia, aunque aún aislada, evidencia que existen capacidades científicas y técnicas en Cuba para desarrollar proyectos de TDV, siempre que cuenten con el apoyo institucional y financiero necesario.

3.3.4. Brechas, desafíos y oportunidades

A pesar de los avances mencionados, Cuba enfrenta importantes desafíos tecnológicos para consolidar una verdadera TDS. En términos de infraestructura, persiste una notable brecha digital territorial y económica, especialmente entre zonas urbanas y rurales. Según datos oficiales, la cobertura de internet móvil ronda el 86 % de la población, pero con importantes disparidades en velocidad, asequibilidad y calidad del servicio.

Asimismo, se requieren indicadores ambientales asociados a la expansión digital —como el consumo energético de centros de datos, la generación de residuos electrónicos o el uso eficiente del espectro digital— limita la capacidad de monitorear impactos ecológicos. A esto se suma la necesidad de incorporar enfoques de derechos digitales, accesibilidad universal y ética tecnológica, dimensiones fundamentales para una TDS plena, y que en el caso cubano requieren aún desarrollo regulatorio.

3.4. Las mipymes cubanas ante la TDV: una herramienta de autodiagnóstico contextualizada

Las mipymes cubanas operan en un entorno complejo, caracterizado por limitaciones tecnológicas, problemas de conectividad y crecientes exigencias regulatorias ambientales, lo que hace prioritaria una transformación digital con enfoque verde. No obstante, hasta recientemente el país carecía de instrumentos contextualizados y alineados con la legislación nacional para evaluar la madurez ambiental-digital de estas organizaciones.

Para atender esta brecha, se desarrolló la herramienta **TDV-Cuba**, un autodiagnóstico verde diseñado específicamente para mipymes cubanas, basado en una adaptación del modelo TETR4DIG (De Armas et al., 2022). El instrumento evalúa de forma integral y formativa la incorporación de la transformación digital verde mediante 22 preguntas organizadas en tres dimensiones: cumplimiento normativo ambiental, gestión digital ambiental y cultura organizacional e innovación ambiental digital, todas vinculadas a la normativa vigente.

La herramienta permite identificar riesgos regulatorios, valorar el uso de tecnologías digitales para la sostenibilidad y analizar el grado de apropiación organizacional del enfoque TDV. Su escala pedagógica de cinco niveles de madurez orienta planes de mejora continua sin fines punitivos.

A diferencia de diagnósticos internacionales, TDV-Cuba se distingue por su alineación normativa, adaptación al contexto cubano y aplicabilidad tanto en espacios formativos como en procesos reales de asesoría y autodiagnóstico. En conjunto, constituye una innovación metodológica coherente con la Agenda Ambiental y la estrategia de transformación digital del país, facilitando que las mipymes avancen de manera viable y responsable hacia la sostenibilidad digital.

4. Conclusiones

La convergencia entre transformación digital, digital verde y digital sostenible es hoy imprescindible para responder a los desafíos del desarrollo, al integrar innovación, sostenibilidad ambiental e inclusión social. La experiencia europea evidencia avances sólidos en esta doble transición, mientras que América Latina y el Caribe, y en particular Cuba, enfrentan brechas estructurales, pero también oportunidades de adaptación y escalamiento de soluciones propias.

En este contexto, la Agenda Digital Cubana 2030 y experiencias nacionales emergentes muestran un punto de partida relevante, aunque aún insuficiente sin instrumentos operativos y métricas claras. La herramienta TDV-Cuba constituye un aporte concreto

al ofrecer un autodiagnóstico normativamente alineado y formativo para impulsar la madurez ambiental-digital de las mipymes.

Avanzar hacia una transformación digital verdaderamente sostenible exige integrar criterios ambientales y sociales desde el diseño, medir impactos, fortalecer capacidades y consolidar alianzas. Este trabajo aporta fundamentos conceptuales y una herramienta aplicable para orientar políticas públicas, investigación y gestión organizacional hacia una digitalización innovadora, verde y socialmente justa.

Agradecimientos

A AS@I Informatika, Orío, 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, País Vasco, España (<https://www.innobasque.eus>), por las sugerencias brindadas para encausar la investigación y la información técnica aportada.

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.

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.

Referencias

- Abdulahadi, M., Zafar, M., Reeti, A., Alofaysan, H., & Kumar, A. (2024). Unveiling green digital transformational leadership: Nexus between green digital culture, green digital mindset, and green digital transformation. *Journal of Cleaner Production*, 450, 141670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141670>
- Aguilar, A., Melguizo, A., Balmaseda, M., & Muñoz, V. (2023). Digitales, verdes y aliados: Impacto económico, social y medioambiental de la iniciativa Global Gateway y la Alianza Digital UE–América Latina y el Caribe. Fundación Carolina y Telefónica. <https://www.fundacioncarolina.es/catalogo/digitales-verdes-y-aliados-impacto-economico-social-y-medioambiental-de-la-iniciativa-global-gateway-y-la-alianza-digital-ue-america-latina-y-el-caribe/>
- Aguirre, E & Gayá, R. (2024). Programas escalables para la transformación digital de las pymes con miras a la exportación. Documentos de proyectos e investigación (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/68870>.
- Austrian Institute of Technology (2025). “Twin Transition”: How can we shape the green and digital transformation that is currently taking place in parallels? Discussing Technology. <https://www.ait.ac.at/en/blog/green-and-digital-transformation>

- Almaguer, A. & Malleuve, A. (2023). El proceso de digitalización como una transformación organizacional: Clave de eficiencia y competitividad. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 4(2),1–11. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/197>
- AlphaBeta (2022). Transformación digital. Así es como las tecnologías digitales impulsan las exportaciones en América Latina. <https://connectamericas.com/es/tecnologias-digitales-exportaciones>
- Alvarez, Z. (2024). Alfabetización digital y competencias digitales: Una mirada desde eLAC2024. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 5(2),1–9. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/240>
- Arevich Marín, M. (2022). Política para la transformación digital y la Agenda Digital Cubana 2030. *Revista APyE*, (13), 23–35.
- Baier, H., Walsh, D. & Mulder, N. (2021). La transformación digital de las pymes exportadoras: Perspectiva teórica y práctica. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47450>
- Bonet, J.L. (2021). Los objetivos de desarrollo sostenible en la estrategia de la cámara de España y de la red cameral. https://empresasostenible.camara.es/sites/default/files/2022-09/ODS%20Ca%CC%81mara%20de%20Espan%CC%83a%20DATOS%202021_o.pdf
- CAF (2022). Guía práctica de sostenibilidad para pymes. Banco de Desarrollo de América Latina. <https://sostenibilidad.caf.com/documentos/guia-pymes.pdf>
- Centro Europeo de Empresas e Innovación de Valencia (2021). Autoevaluación: Madurez digital para pymes. Centro Europeo de Empresas e Innovación. <https://ceeivalencia.emprenemjunts.es/?op=65yn=1076>
- CEPAL (2020). Transformación digital para una recuperación sostenible y con igualdad. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46504-transformacion-digital-una-recuperacion-sostenible-igualdad>
- CEPAL (2022). Un camino digital para el desarrollo sostenible de América Latina y el Caribe (LC/CMSI.8/3). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/48460>
- CEPAL (2024). Una transformación digital real y efectiva puede ayudar a ALC a superar trampas de desarrollo. <https://www.cepal.org/es/comunicados/transformacion-digital-real-efectiva-puede-ayudar-america-latina-caribe-superar-trampas>
- Codina, Ll. (2020). Cómo hacer revisiones bibliográficas tradicionales o sistemáticas utilizando bases de datos académicas. *Revista ORL*, 11(2), 22977. <https://dx.doi.org/10.14201/orl.22977>
- Cruz, J.C. & Delgado, M (2024). Bases del modelo de dirección estratégica de la transformación digital con impacto económico-social en el municipio Baraguá. *Rev. APyE*, 8(3),e322. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14606459>
- De Armas, L., Díaz, E. & Reyes, G. (2022). TETR4DIG: Modelo conceptual y evaluación de madurez del cambio organizacional enfocado en la transformación digital. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 3(3),177. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/177>

- Díaz, P. & Fuentes, J. (2025) Transformación digital para la exportación. Enfoque: Revista NUEVA EMPRESA, 12(1).
- Díaz, P. & Maciá, M. E. (2024). Convergencias hacia la Industria 5.0 en Cuba. Revista Cubana de Educación Superior, 43(2), 214-229. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So257-43142024000200214
- Fahimi, Y. (2021) Europa y América Latina: ¿cómo enfrentar juntos una transformación social y ecológica? NUEVA SOCIEDAD 2021:291. https://static.nuso.org/media/articles/downloads/4.TC_Fahimi_291.pdf
- Gong, C. & Ribiere, V. (2021). Developing a unified definition of digital transformation. Technovation, 102, 102217. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102217>
- González-Varona, J. M., López-Paredes, A., Poza, D., & Acebes, F. (2024). Building and development of an organizational competence for digital transformation in SMEs. Journal of Industrial Engineering and Management, 14(1), 15-24.
- GorjianKhanzad, Z., & Gooyabadi, A. A. (2022). Digital Strategizing: The Role of the Corporate Culture. Open Journal of Business and Management, 10, 2974-2995.
- Haarstad, H., & Rusten, G. (2018). Transformación verde en Noruega. Compilación académica en noruego que analiza la conceptualización de la transformación verde y el cambio verde con énfasis en políticas noruegas. Universidad de Oslo.
- Kocaman, E. (2024). Twin Transformation: Integration of Green and Digital Transformation. CarbonGate Blog, 13 July 2024. <https://www.carbongate.io/en/blog/ikiz-donusum-yesil-donusum-ve-dijital-donusumun-entegrasyonu>
- Machado-García, N., Fernández, A. & Farradas-Machado, C. (2023). Transformación digital del sector agroalimentario en Cuba. Ingeniería Agrícola, 13(2).
- Méndez, M. & Torres, L. M. (2023). Del gobierno electrónico al gobierno digital: transformación integral más allá de la digitalización de servicios. Tono, 19(1), 7-22. <http://www.revistatono.etecsa.cu/tono/article/view/376>
- Miranda-Torrez, J. (2023). La transformación digital. Estrategia generadora de cambios en las organizaciones. Revista Estrategia Organizacional, 12,(2), 109-135.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. PLoS Medicine, 6(7).
- NU-CEPAL. (2025). Superar las trampas del desarrollo de América Latina y el Caribe en la era digital: el potencial transformador de las tecnologías digitales y la inteligencia artificial. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e4ca636c-2b8a-4138-8c62-b685540d9b99/content>
- Ruiz, A., Delgado, T., Febles, A. & Estévez, S. (2022a). Habilitando la transformación digital. Tomo I. Editorial UH. <https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/123456789/10427>.
- Ruiz, A., Delgado, T., Febles, A. & Estévez, S. (2022b). Habilitando la transformación digital. Tomo II. Editorial UH. <https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/123456789/10428>.

- Unión Europea (AL-INVEST Verde). (2022). Guía de financiamiento sostenible para pymes en América Latina. <https://eulacfoundation.org/es/guia-financiamiento-sostenible-pymes-al-invest-verde.pdf>
- Westerman, G., Calmédjane, C., Bonnet, D., Ferraris, P., & McAfee, A. (2011). Digital Transformation: A Road-Map for Billion-Dollar Organizations. MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting. https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/Digital_Transformation__A_Road-Map_for_Billion-dollar_Organizations.pdf
- World Bank (2023). Green Digital Transformation: How to Sustainably Close the Digital Divide and Harness Digital Tools for Climate Action. Climate Change and Development Series. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/40653>
- Yan, H. W. (2018). Exploration of Chinese SMEs' export development: The role of managerial determinants based on an adapted innovation-related internationalization model. *Thunderbird International Business Review*, 60(1).