

Las tecnologías digitales y su influencia sobre las problemáticas socioambientales: una perspectiva en México

Digital technologies and their influence on socio-environmental problems: a perspective in Mexico

Jorge Carro-Suárez^{1*}, Susana Sarmiento-Paredes²

¹ Programa Académico de Ingeniería, Universidad Politécnica de Tlaxcala, México. Tlaxcala, México. CP. 90180. Tel. 2464651300.

jorge.carro@uptlax.edu.mx

² Facultad de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, México. Tlaxcala, México. CP. 90000. Tel. 2464623856.

ssarmientop@uatx.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

Palabras clave:

Tecnologías;
digitalización;
socioambiental;
Industria 4.0.

La sociedad contemporánea enfrenta problemáticas socioambientales que amenazan su futuro, lo cual, exige buscar nuevas alternativas para enfrentarlas, reducir las y, en lo posible, erradicarlas. Ante este panorama, las tecnologías digitales surgen como una opción. El objetivo de esta investigación fue determinar qué tecnologías digitales influyen significativamente en la atención de las principales problemáticas socioambientales que vive la sociedad mexicana actualmente. Se realizó una revisión sistemática de trabajos publicados sobre las variables de investigación, complementándola con un análisis de contenidos y validando los hallazgos mediante modelos de regresión lineal. Los resultados revelaron que el Big Data, el Internet de las Cosas, la Inteligencia Artificial y los Robots Autónomos representan las tecnologías más determinantes para atender problemáticas socioambientales. Esto sugiere que las tecnologías, a pesar de ser vistas como parte del problema, tienen un mayor potencial de solución para lograr un crecimiento sostenible en beneficio de la sociedad actual y futura.

Abstract

Keywords:

Technologies;
digitization;
socio-
environmental;
Industry 4.0.

Our contemporary society faces socio-environmental problems that threaten its future. This fact demands the search for new alternatives to confront, reduce, and—if possible—eradicate those challenges. Given this situation, digital technologies stand out as an option. The aim of this research was to determine which digital technologies significantly influence when addressing the main socio-environmental problems that today's Mexican society experiences. A systematic review of published works on research variables was conducted; it was complemented by a content analysis and validated using linear regression models. Results revealed that Big Data, the Internet of Things, Artificial Intelligence, and Autonomous Robots are the most crucial technologies to solve socio-environmental problems. This suggests that, although technologies are often seen as part of the problem, they have the potential to solve it and promote sustainable growth for the benefit of current and future society.

Recibido: 15 de agosto de 2025

Aceptado: 26 de febrero de 2026

Publicado: 08 de julio de 2026

Cómo citar: Carro-Suárez, J.; & Sarmiento-Paredes, S. (2026). Las tecnologías digitales y su influencia sobre las problemáticas socioambientales: una perspectiva en México. *Acta Universitaria*, 36, e4762. doi: <https://doi.org/10.15174/au.2026.4762>

Introducción

Muchos de los grandes desafíos en el mundo están relacionados con problemas socioambientales, enmarcados en términos de resiliencia y sustentabilidad (Little *et al.*, 2019). En general, diversas investigaciones en el mundo hacen referencia a debates sobre desacuerdos y beneficios en el uso de los recursos naturales y de la transformación de la naturaleza a causa de las actividades humanas, representando visiones positivas y negativas que reflejan la forma en cómo la sociedad interactúa con la naturaleza (Özkaynak *et al.*, 2023).

La sociedad, como tal, depende del funcionamiento de los ecosistemas, de la biodiversidad, de los recursos naturales y de cómo los aprovecha para generar desarrollo social y bienestar humano, lo cual deriva en la necesidad de promover acciones que permitan contar a futuro con estos beneficios (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías [Conahcyt], 2024). Por ello, una buena interacción ambiente-sociedad es clave para alcanzar una nueva mentalidad, enfocada en evitar el impacto ambiental negativo y en preservar un equilibrio integral en el planeta (Fermín, 2014).

Sin embargo, esto no es del todo suficiente, pues, desafortunadamente, gran parte del mundo no visualiza —en un futuro cercano— limitar los daños ambientales y replantear su relación con la naturaleza. La sobrepesca y deforestación continúan, los compromisos del Acuerdo de París contra el cambio climático no se han cumplido y los recursos del planeta son consumidos a gran velocidad, lo que pone en riesgo la prosperidad de la humanidad. Por tanto, transformar la relación del ser humano con la naturaleza es la clave para asegurar un futuro sostenible (Planelles, 2021), una transformación que puede ser el resultado de una intervención estratégica en ciertos puntos clave dentro de la sociedad actual (Naciones Unidas [NU], 2021).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en su reporte *Hacer las paces con la naturaleza*, menciona que los principales problemas socioambientales se pueden abordar de forma conjunta con los objetivos de desarrollo sustentable (ODS) de la Agenda 2030 a través de ocho áreas clave para lograr un cambio transformador. Una de esas áreas es “Tecnología, innovación e inversión”, en la que se propone transformar los regímenes de inversión e innovación tecnológica y social, de modo que la sociedad utilice las tecnologías para producir impactos positivos tanto en las personas como en la naturaleza.

En este mismo orden de ideas, los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces) del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) en México mencionan que el aprovechar la combinación de datos, tecnologías y herramientas científicas representa una alternativa con el potencial de crear soluciones para construir una sociedad sustentable. Además, dentro de estas soluciones destacan las tecnologías digitales (TD) como el nuevo nexo humanitario-ambiental para el futuro (Conahcyt, 2024; NU, 2019).

Las tecnologías digitales son el mejor ejemplo sobre cómo una innovación puede avanzar de forma exponencial, pues actualmente han llegado a más del 50% de la población en el mundo y han transformado sus sociedades (NU, 2020). No obstante, estas tecnologías son desarrolladas por grandes empresas tecnológicas y con fines más comerciales e industriales; en cambio, los gobiernos a nivel mundial centran su atención en otros aspectos que consideran más prioritarios, por lo que los esfuerzos de la humanidad para atender las problemáticas ambientales son cada vez más dispersos y contradictorios.

Realmente, parece que no se está revirtiendo el daño al planeta al ritmo que se desea, y eso es porque las economías y las grandes empresas se siguen diseñando solo para crecer económicamente, lo que ha dado pie a que los desastres climáticos se aceleren, generando más inestabilidad, miedo y conflictos entre la sociedad (NU, 2022). Al mismo tiempo, a medida que la población mundial incrementa y las nuevas generaciones dominan las tecnologías digitales, se hace evidente que estas pueden mejorar sus vidas (GeSI, 2015). Ante este panorama, las tecnologías digitales representan la oportunidad de encarar exitosamente estos desafíos de carácter sustentable con el fin de fortalecer la cadena de valor y mantener la competitividad de las organizaciones, todo ello mientras se busca que la sociedad adquiera hábitos sustentables en pro del cuidado del planeta y de los recursos naturales (Hidalgo *et al.*, 2023).

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar qué tecnologías digitales influyen significativamente en la atención de las principales problemáticas socioambientales de la sociedad actual tomando como referencia los lineamientos propuestos por los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces) del Conahcyt y su relación con los correspondientes Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) de la Agenda 2030 en un estudio en el país de México. Para ello, la presente investigación se estructuró de la siguiente forma. Se inicia con la presentación de antecedentes sobre cómo se visualizan los problemas socioambientales en la actualidad y se presenta una breve descripción sobre la disrupción de las tecnologías digitales en los años recientes. Posteriormente, se presenta la metodología desarrollada y se presentan los resultados obtenidos, sometiéndolos a un espacio de discusión para finalizar con las conclusiones obtenidas.

Con base en lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué tecnologías digitales influyen significativamente en la atención de las problemáticas socioambientales actuales? Del presente estudio destacan dos aportaciones: 1) la identificación del potencial que tienen las tecnologías digitales para atender tanto problemáticas ambientales como las sociales y 2) la preparación del camino para futuras investigaciones que visualicen a las tecnologías digitales como parte de un nuevo desarrollo sustentable en el mundo.

La problemática socioambiental

De acuerdo con Naciones Unidas (1987), el concepto de *desarrollo sustentable* se define como "Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (NU, 1987). En su reporte "Nuestro futuro común" hace hincapié en la palabra "necesidades", con la particular importancia de atender las necesidades esenciales de los pobres en el mundo. No obstante, también se enfoca hacia las necesidades de la sociedad para desarrollar conocimientos y capacidades técnicas con el objetivo de crear nuevos valores que ayuden a las personas y a las naciones a hacer frente a los retos que el mundo enfrenta actualmente, como los problemas socioambientales.

De estos problemas se pueden identificar diversos ejemplos que han aquejado a la sociedad desde hace décadas, a saber, la contaminación acústica de las grandes ciudades; la contaminación del aire por el consumo de combustibles fósiles; el deterioro de los ecosistemas; la contaminación de océanos, ríos y mantos acuíferos; el excesivo consumo energético; la deforestación; el cambio climático; y la creciente generación de residuos y su ineficiente tratamiento (Fermín, 2014).

En este contexto, Naciones Unidas (2015) marcó el rumbo para su pronta atención mediante el diseño de la Agenda 2030, que es la última guía de referencia a nivel mundial. Aprobada en 2015, se presentó como una visión transformadora por medio de 17 Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), siendo los objetivos 6 agua limpia y saneamiento; 7 energía asequible y no contaminante; 9 industria, innovación e infraestructura; 12 producción y consumo responsable; 13 acción por el clima; 14 vida marina; y 15 vida de ecosistemas terrestres los que se enfocan en la problemática socioambiental (NU, 2015).

Aunado a lo anterior, el Conahcyt en México promueve las capacidades científico-técnicas con diversos actores sociales del sector público y privado para atender problemáticas socioambientales concretas a través de los Pronace 1 Agentes tóxicos y procesos contaminantes, 2 Agua, 5 Energía y cambio climático, 8 Sistemas socio-ecológicos y sustentabilidad, y 10 Vivienda (Conahcyt, 2024).

En años recientes, diversas investigaciones en todo el mundo iniciaron el camino para la atención de estas problemáticas socioambientales desde varios enfoques. Por ejemplo, se han realizado estudios sobre los impactos socioambientales relacionados con la sostenibilidad del agua subterránea y la sobreexplotación de los mantos acuíferos (Hoogesteger, 2022). También existen trabajos sobre el costo socioambiental por el uso del espacio subterráneo urbano que genera pérdidas de energía geotérmica (Qiao *et al.*, 2022). En un estudio desarrollado en Argentina y Chile, Ciftci & Lemaire (2023) exploraron por qué la creciente demanda de vehículos eléctricos propulsados por litio ha generado conflictos socioambientales. Tabelin *et al.* (2021) identificaron la ausencia de una clasificación y legislación coherente con respecto al reciclaje y extracción de cobre, en donde se reconoce la importancia de desarrollar tecnologías emergentes y estrategias socioambientales. A través de un caso de estudio en Japón, Kondo *et al.* (2019) analizaron cómo la ciencia abierta, en conjunto con los principios de investigación participativa basada en la comunidad, puede atender eficientemente cuestiones socioambientales. Por su parte, Singh & Taylor (2019) estudiaron el deterioro de las propiedades agrícolas de la tierra ante la contaminación de arsénico en Bihar, India. Su estudio resalta la disposición de los encuestados a adoptar tecnologías de mitigación para erradicar sus efectos nocivos. Hill *et al.* (2018) evaluaron la cuenca hidrográfica Erie/Niagara, en Nueva York, y concluyeron que la situación social contribuye a una mayor carga ambiental, lo que genera altas concentraciones de contaminación.

Para el caso mexicano, el estudio de las problemáticas socioambientales se ha centrado en su mayoría en el aspecto social, con la atención de problemáticas asociadas a problemas ecológicos, sociales y éticos en las comunidades indígenas y sociedades socialmente vulnerables. No obstante, se identificaron trabajos sobre cómo las actividades extractivas de sectores como el minero y el petrolero han impactado en la dinámica de los usos de la tierra, lo que ha generado conflictos ecoterritoriales y socioambientales (Tetreault, 2020), la detección de riesgos ambientales relacionados con la producción energética (Gamarra *et al.*, 2022; Sánchez & Soler, 2022), el análisis de sustentabilidad mediante la relación entre economía circular e innovación en las Pymes (Rodríguez-Espindola *et al.*, 2022), el modelado de ecosistemas en riesgo (Hu *et al.*, 2020) o los efectos de la urbanización sobre los ecosistemas (Caro-Borrero *et al.*, 2021).

Estos trabajos demuestran que sociedades en el mundo ya han tomado conciencia de que la problemática socioambiental requiere de una atención especial ante la inminente reducción de los recursos naturales y del poco control que se tiene sobre su consumo, derivado del crecimiento exponencial de la población. Crear normas y leyes ya no es suficiente, las sociedades en el mundo deben buscar nuevas alternativas que permitan atender con celeridad y eficiencia estas problemáticas aprovechando sus fortalezas actuales, como lo son el desarrollo y evolución de las tecnologías digitales.

La disrupción de las tecnologías digitales

Las tecnologías digitales son tecnologías emergentes y modernas que se basan en la comunicación de la información, en el análisis de datos y en otras técnicas para facilitar la interacción entre sistemas físicos y digitales (Nambisan *et al.*, 2019). El Big Data se aprovechó para recopilar y evaluar datos a muy alta velocidad y precisión, ayudando a mejorar la toma de decisiones en un menor tiempo de reacción (Rubmann *et al.*, 2015). Los robots autónomos se volvieron imprescindibles para el desarrollo de tareas repetitivas, peligrosas o de alta precisión (Bahrin *et al.*, 2016). El desarrollo de tecnología de simulación aprovechó la información recabada en tiempo real para modelar de forma virtual y paralela el mundo físico (Rubmann *et al.*, 2015). La integración de sistemas mejoró la relación y comunicación entre diferentes áreas y sus respectivos procesos (Fabritius, 2021). El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) permitió una intercomunicación mundial en tiempo real, que sin duda ha mejorado el procesamiento, monitoreo y comunicación entre procesos (Soori *et al.*, 2023). La ciberseguridad nació ante la necesidad de proteger digitalmente áreas y procesos críticos. La nube se creó para disponer de almacenamiento, acceso y recursos informáticos sin la necesidad de espacios físicos. La manufactura aditiva perfeccionó la fabricación de productos personalizados, y la realidad virtual/aumentada se utilizó para combinar el contenido digital con el mundo físico, mediante la creación de una realidad mixta y/o alterna (Rubmann *et al.*, 2015). Finalmente, la Inteligencia Artificial en conjunto con el aprendizaje automático (*machine learning*) y los sistemas ciberfísicos han aprovechado los grandes volúmenes de información que actualmente se generan para diseñar algoritmos integrados con internet que permiten de forma más eficiente la solución de problemas complejos asociados al aprendizaje, razonamiento, planeación y comunicación (Sossa, 2020).

Estas tecnologías, reconocidas como los 10 pilares de Industria 4.0, surgieron principalmente para promover modelos de producción inteligente con el objetivo de aumentar la productividad. Sin embargo, el adoptarlas por parte de organizaciones e instituciones también podría aumentar su eficiencia en otros aspectos, sobre todo los de índole social, como servicios gubernamentales, de salud, transporte y educación, por mencionar algunos. Tal situación ha generado un mayor impacto social, económico y sobre todo ambiental, contribuyendo a un desarrollo más sostenible e inclusivo (CEPAL, 2021). Por ello, ante el crecimiento de la problemática socioambiental en el mundo, las tecnologías digitales surgen como una alternativa que puede no solo atender dichas problemáticas, sino también potenciar el desarrollo verde de las naciones (Wang *et al.*, 2021), ayudando a que el mundo sea más justo, equitativo y pacífico desde un contexto sustentable y sostenible (United Nations [UN], 2021).

Gobiernos y organizaciones han comenzado a aceptar y a demostrar su disposición para evaluar su desempeño en relación con sus principales problemas socioambientales. El siguiente paso es analizar y seleccionar de forma más eficiente qué tecnologías digitales son apropiadas y determinantes, no solo para atender sus problemáticas y alcanzar sus metas sustentables, sino para continuar con su desarrollo y preservar sus recursos para el futuro (Tanveer *et al.*, 2023).

Materiales y métodos

En el presente trabajo se planteó una investigación de tipo mixto. Se inició con un enfoque cualitativo a través de una revisión teórica y sistemática, como parte de un análisis exploratorio y descriptivo sobre las variables de investigación. Para ello, se tomó como referencia el proceso de revisión sistemática de Castagnoli *et al.* (2022), el cual se presenta con detalle en la Figura 1.

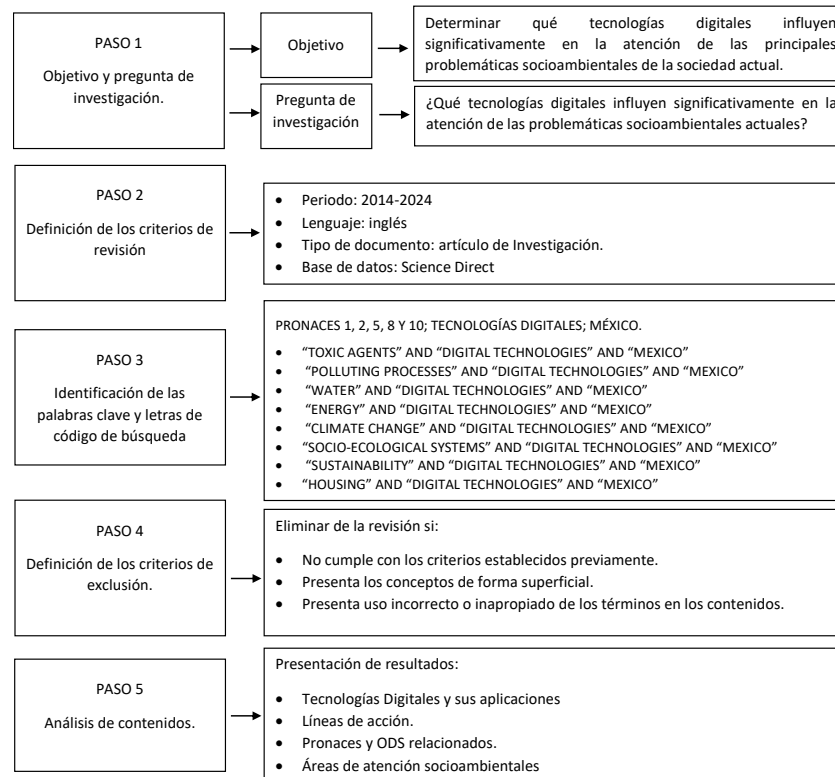


Figura 1. Proceso de revisión sistemática realizado en el análisis cualitativo.

Fuente: Elaboración propia con base en Castagnoli *et al.* (2022).

De la figura 1, con base en el objetivo y la pregunta de investigación presentados en el paso 1, en el paso 2 se realizó una revisión sistemática de investigaciones publicadas en idioma inglés en la base de datos Science Direct, delimitándolas a artículos de investigación que fueron publicados en los últimos 10 años (2014-2024). Para las palabras clave y letras de código se consideraron investigaciones que relacionaran a los Pronaces socioambientales con la implementación y/o consideración de tecnologías digitales en trabajos que relacionaran al país de México (paso 3).

Con los trabajos identificados y seleccionados, después de haber aplicado los criterios de exclusión (paso 4), en el paso 5 se realizó un análisis de contenidos para identificar a las tecnologías digitales más investigadas, así como sus aplicaciones. Con esta información, se diseñó un modelo de estudio donde se identifican líneas de acción para las TD, su relación con los Pronaces, los ODS socioambientales, y las áreas de atención socioambientales requeridas.

Para el enfoque cuantitativo, se tomó como referencia el modelo de estudio propuesto derivado del análisis de contenidos en el paso 5 para el diseño de un instrumento que permita medir la percepción de las variables de investigación propuestas, medición que se realizó por medio de un escalamiento Likert con cinco categorías de respuesta, considerando los siguientes valores: 1 = nada determinante, 2 = poco determinante, 3 = indiferente, 4 = determinante y 5 = muy determinante. La validez de este instrumento se realizó aplicando el criterio de expertos, evaluando el nivel de acuerdo entre ellos por medio del coeficiente V de Aiken a través de una rúbrica que consideró tres indicadores: suficiencia, claridad y coherencia (Torres-Malca *et al.*, 2022). Para su aplicación, se realizó la invitación a investigadores, académicos y docentes reconocidos con líneas afines a las variables de investigación, calculando su confiabilidad por variable y en general por medio del alfa de Cronbach.

Finalmente, el análisis inferencial se realizó a través de modelos de regresión lineal múltiple para determinar la influencia de las variables predictoras sobre la variable dependiente. Los resultados obtenidos de este análisis se sometieron a un espacio de discusión para así dar cumplimiento al objetivo de investigación y, al mismo tiempo, responder la pregunta de investigación planteada, finalizando con las conclusiones obtenidas del presente estudio.

Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación se presentan desde dos enfoques. En primera instancia, desde el enfoque cualitativo, se obtuvo lo siguiente. Se identificaron 505 trabajos de investigación relacionados con las palabras clave especificadas en el paso 3 del proceso de revisión sistemática mostrado en la figura 1. Posteriormente, con base en los criterios de exclusión descritos en el paso 4, el número de trabajos considerados en este estudio y que se relacionaron directamente con los Pronaces y ODS socioambientales fue 122. Con esta selección, se realizó un primer análisis de contenidos bajo un enfoque teórico comparativo con el fin de identificar el número de investigaciones que relacionan la aplicación de las tecnologías digitales. Este paso ofreció un parámetro de referencia y representó una fuente de legitimación dentro de la investigación (Piovani & Krawczyk, 2017). El resultado de este análisis se muestra en la Figura 2, en la que se presenta la distribución de las tecnologías digitales en los 122 trabajos seleccionados.

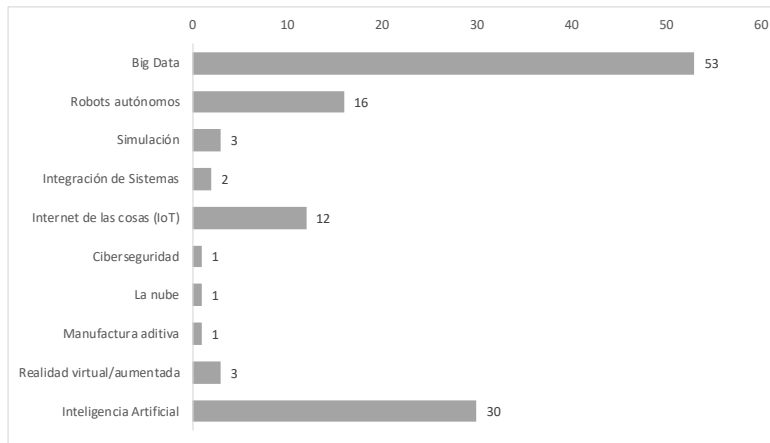


Figura 2. Número de investigaciones relacionadas con las tecnologías digitales.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura se identifican claramente dos tecnologías disruptivas como las de mayor investigación sobre las problemáticas socioambientales en México: el Big Data (53 investigaciones) y la Inteligencia Artificial (30 investigaciones). En un siguiente nivel se encuentran los Robots Autónomos (16 investigaciones) y el Internet de las Cosas (12 investigaciones). En contraste, el resto de las tecnologías no presentaron una aplicación determinante pues se identificaron pocos trabajos. La Realidad Virtual/Aumentada (3 investigaciones), a pesar de su potencial, está más enfocada en otros tipos de desarrollo, principalmente en las áreas de la salud y del entretenimiento. La Simulación (3 investigaciones) y la Integración de sistemas (2 investigaciones) se presentan como tecnologías enfocadas especialmente en aspectos industriales. La nube (1 investigación) solo se visualiza como un repositorio o archivero digital de espacio infinito. Finalmente, se ubican la Manufactura Aditiva (1 investigación), con mayores aplicaciones direccionadas hacia la producción industrial, y la Ciberseguridad (1 investigación), esta última como la que tiene menor injerencia para este tipo de investigaciones.

Con base en un segundo análisis de contenidos, en la Tabla 1 se presentan las principales aplicaciones de las TD relacionadas con las problemáticas socioambientales en México.

Tabla 1. Aplicaciones de las TD relacionadas con las problemáticas socioambientales en México.

Tecnologías Digitales	Aplicaciones para atender las problemáticas socioambientales
Big Data	<p>Conformación de bases de datos climáticas, ambientales, hídricas e hidrometeorológicas para realizar predicciones.</p> <p>Evaluación de estrategias de monitoreo ambiental y desempeño sostenible urbano.</p> <p>Identificación de patrones de producción y acceso a servicios energéticos.</p> <p>Análisis de riesgos ambientales relacionados con producción energética.</p> <p>Evaluación de la producción agrícola y de agricultura inteligente.</p> <p>Gestión y evaluación de cadenas de suministro.</p> <p>Bases de datos para el entrenamiento de sistemas inteligentes sustentables.</p> <p>Gestión, control y reciclamiento de residuos.</p> <p>Evaluación de datos para la protección, monitoreo, conservación y restauración de ecosistemas.</p>
Inteligencia Artificial	<p>Aplicaciones de aprendizaje automático para el cuidado, acceso y optimización de recursos.</p> <p>Aplicaciones de aprendizaje automático ante contingencias ambientales y procesos contaminantes.</p> <p>Aplicaciones de autoaprendizaje automático para la protección, conservación y restauración de ecosistemas.</p> <p>Innovación y tecnologías inteligentes para el sector energético.</p> <p>Aplicaciones en agricultura inteligente.</p>
Robots Autónomos	<p>Seguridad y protección ambiental.</p> <p>Protección, monitoreo y conservación de ecosistemas.</p> <p>Aplicaciones en agricultura inteligente.</p>
Internet de las Cosas (IoT)	<p>Diseño de sistemas de monitoreo, control inteligente y almacenaje de información.</p> <p>Sistemas de operación a distancia y/o teleoperación.</p> <p>Cuidado y monitoreo de ecosistemas y recursos naturales a distancia en tiempo real.</p>
Realidad Virtual/Aumentada	<p>Mapeo para identificación de fugas de sustancias peligrosas en el subsuelo.</p> <p>Mapeo de contenedores de residuos geolocalizados aplicando algoritmos de visión.</p> <p>Aplicaciones de realidad aumentada móvil para gestionar la conservación de la biodiversidad.</p>
Simulación	<p>Modelado de información para la construcción y generación de diseños sustentables.</p> <p>Modelado de sistemas de transporte que usan energía solar.</p> <p>Modelado de evaluación de suelos y agua para los trópicos por medio de datos locales de evapotranspiración y caudal.</p>
Integración de Sistemas	<p>Diseño de modelos de negocio sostenibles en la industria manufacturera.</p>
La nube	<p>Construcción de repositorios para servicios medioambientales.</p>
Manufactura Aditiva	<p>Procesamiento de residuos urbanos para impresión 3D como prácticas de reciclaje al final de las cadenas de suministro.</p>
Ciberseguridad	<p>Diseño de modelos computacionales inteligentes de bajo consumo de energía para la seguridad de sistemas urbanos.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Con la información anterior, se elaboró el modelo de estudio mostrado en la Figura 3, que divide la aplicación de las tecnologías digitales en tres categorías. En la primera, se presentan las tecnologías para recopilar y resguardar información (TDRI). Le siguen las tecnologías de modelado y diseño (TDMD) que utilizan la información recabada para su procesamiento. Posteriormente, se presentan las tecnologías de implementación y aplicación (TDIA). Para cada momento se identificaron líneas de acción direccionadas hacia los Pronaces del Conahcyt y los ODS de la Agenda 2030, orientadas hacia diversas áreas de atención socioambientales (ASOC), que también fueron propuestas con base en los trabajos de investigación seleccionados.

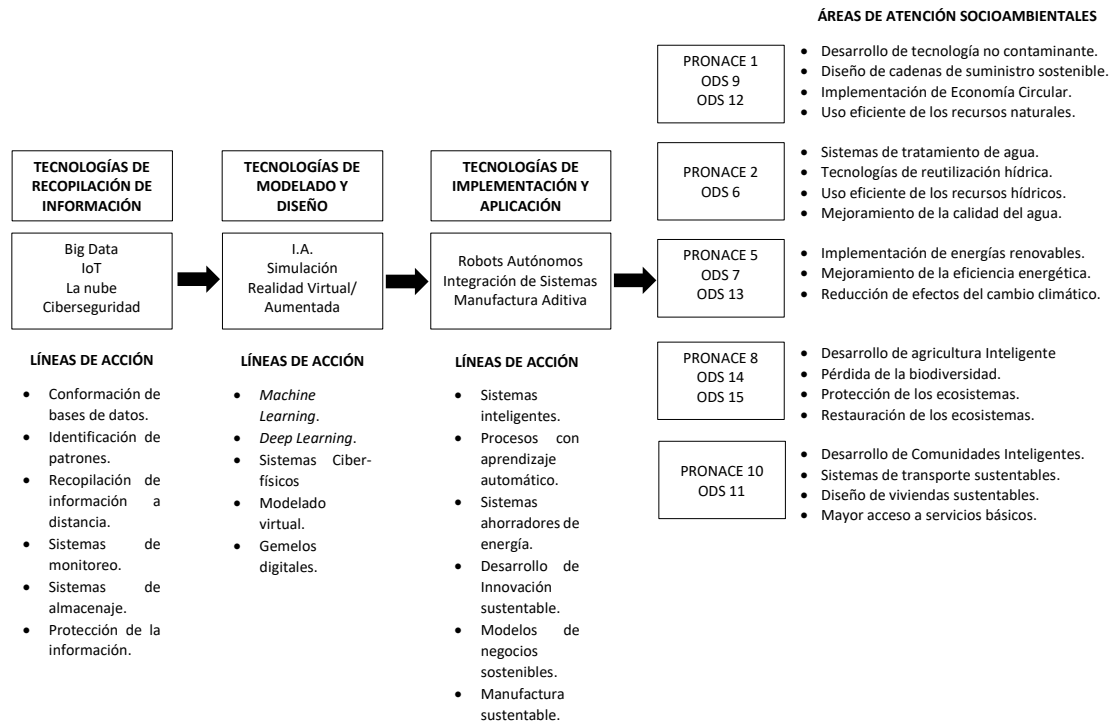


Figura 3. Modelo de estudio resultado del segundo análisis de contenidos.

Fuente: Elaboración propia.

Para el enfoque cuantitativo, este se dividió en dos etapas. Primero, con la información presentada en la Tabla 1 y en el modelo de estudio previo, se diseñó un instrumento de evaluación conformado por 50 ítems. La validación del instrumento fue realizada por cinco expertos invitados, cuya selección se hizo con base en la relación de sus líneas de investigación, su producción académica (artículos, libros y capítulos de libro) y su nivel correspondiente al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) en México. La información recabada se muestra en la Tabla 2, la cual demuestra con claridad la capacidad académica y de investigación comprobada y reconocida de los expertos.

Tabla 2. Criterios de selección de expertos para la validación del instrumento.

Experto	Línea de Investigación	Artículos	Libros/Capítulos de libro	Nivel SNII
1	Sustentabilidad Ambiental.	51	9	2
2	Sustentabilidad de los sistemas rurales y urbanos.	39	11	1
3	Inteligencia Artificial y aprendizaje automático. Sustentabilidad.	24	3	1
4	Ingeniería de software para el desarrollo sustentable.	18	2	1
5	Ingeniería y tecnología del medio ambiente.	15	2	1

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la rúbrica de validez de contenidos por juicio de expertos, con base en el cálculo del coeficiente V de Aiken, fueron los siguientes: Suficiencia con un valor de 0.8500, Claridad con 0.8640 y Coherencia con 0.8870, donde se obtuvo una validez general de 0.8670. Dichos valores resultaron ser superiores al límite crítico de 0.70, lo que indica que el instrumento presenta la evidencia suficiente para ser validado y aplicado (Torres-Malca *et al.*, 2022). El cálculo del coeficiente V de Aiken se realizó usando Microsoft Excel 2019 ®.

Para la aplicación del instrumento, se invitó a 150 investigadores, académicos y docentes reconocidos con líneas afines a las variables de investigación, quienes aportaron su percepción, opinión y comentarios sobre los temas propuestos. En total, se recabaron 105 instrumentos, lo que representó el 70% de respuesta. Con respecto a la confiabilidad, esta se calculó por variable y de forma general con base en los criterios de Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 3. El cálculo del alfa de Cronbach se realizó aplicando SPSS 21 ®.

Tabla 3. Resultados de confiabilidad del instrumento.

Variable	Número de ítems	Alfa de Cronbach	Nivel de confiabilidad
Tecnologías de recopilación e información	10	0.901	Alta
Tecnologías de Modelado y Diseño	10	0.862	Aceptable
Tecnologías de Implementación y Aplicación	10	0.869	Aceptable
Áreas de atención socioambientales	20	0.924	Alta
General	50	0.966	Alta

Fuente: Elaboración propia.

En la segunda etapa se realizó el análisis inferencial a través del cálculo de modelos de regresión lineal múltiple utilizando SPSS 21 ®. Para la variable dependiente se consideró evaluar qué tan determinantes son las áreas de atención socioambientales (ASOC) para la sociedad actual. Para las variables independientes se consideró qué tan determinante es la influencia de las TD para atender dichas problemáticas, considerando de forma independiente a las tecnologías con base en cada categoría propuesta.

De esta forma, en el modelo 1 se determinaron como variables independientes a las TDRI, a saber, el Big Data (BD), el Internet de las Cosas (IoT), la Nube (CLD) y la Ciberseguridad (CIB). Para el modelo 2, se consideraron las TDMD conformadas por la Inteligencia Artificial (IA), la Simulación (SIM) y la Realidad Virtual/Aumentada (RVA). Para el modelo 3, se integraron las TDIA, representadas por Robots Autónomos (RA), Integración de Sistemas (IS) y la Manufactura Aditiva (MA). Los resultados obtenidos se presentan con detalle en las Tablas 4, 5 y 6 obtenidos del software SPSS 21 ©.

Tabla 4. Modelo 1 de regresión múltiple.

Modelo Áreas de atención socioambientales (ASOC)	R = 0.797		R ² = 0.635		F = 43.45		Sig. p = 0.000	
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		Beta		Sig.	
	B	Error	Beta					
Constante	-1.059	0.460	-					0.023
Big Data (BD)	0.892	0.152	0.616					0.000
Internet de las Cosas (IoT)	0.181	0.072	0.169					0.014
La nube (CLD)	0.098	0.076	0.083					0.204
Ciberseguridad (CIB)	0.126	0.139	0.086					0.367

Nota. Variable dependiente: ASOC; Variables predictoras: BD, IoT, CLD y CIB.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Modelo 2 de regresión múltiple.

Modelo Áreas de atención socioambientales (ASOC)	R = 0.572		R ² = 0.327		F = 16.344		Sig. p = 0.000	
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		Beta		Sig.	
	B	Error	Beta					
Constante	0.736	0.522	-					0.162
Inteligencia Artificial (IA)	0.525	0.110	0.435					0.000
Simulación (SIM)	0.104	0.082	0.108					0.206
Realidad Virtual/Aumentada (RVA)	0.195	0.102	0.174					0.060

Nota. Variable dependiente: ASOC; Variables predictoras: IA, SIM y RVA.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Modelo 3 de regresión múltiple.

Modelo Áreas de atención socioambientales (ASOC)	R = 0.328		R ² = 0.108		F = 4.063		Sig. p = 0.009	
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		Beta		Sig.	
	B	Error	Beta					
Constante	2.166	0.896	-					0.017
Robots Autónomos (RA)	0.246	0.083	0.285					0.004
Integración de Sistemas (IS)	0.238	0.160	0.142					0.139
Manufactura Aditiva	0.042	0.102	0.040					0.681

Nota. Variable dependiente: ASOC; Variables predictoras: RA, IS y MA.

Fuente: Elaboración propia.

Como resultados, el modelo 1 presentó un valor de $R^2 = 0.635$ y $p = 0.000$, lo cual indica que es un modelo viable al 63.5% y significativo. De las variables predictoras, el Big Data presenta una influencia en el modelo del 61.6% (coeficiente beta = 0.616) con una significancia al 1%, y el Internet de las Cosas con una influencia del 16.9% (Coeficiente Beta = 0.169) y significancia al 5%. La Nube y la Ciberseguridad no resultaron significativas con el 8.3% y 8.6% de influencia en el modelo, respectivamente.

El modelo 2 presentó un valor $R^2 = 0.327$ y $p = 0.000$, que representa una viabilidad del 32.7% y aún significativa. La razón es la influencia de la variable Inteligencia Artificial (IA) en un 43.5% (Coeficiente Beta = 0.435) y significancia al 1%. La variable Realidad Virtual/Aumentada presenta una influencia débil (17.4%) con significancia al 10%. Simulación no representó una influencia significativa ($p = 0.206$).

Finalmente, el modelo 3 obtuvo un valor $R^2 = 0.108$ y $p = 0.009$, representando una viabilidad baja, pero significativa. En el modelo se presentó a los Robots Autónomos con una influencia del 28.5% (coeficiente beta = 0.285) y significativa al 1% ($p = 0.004$). Las variables Integración de Sistemas ($p = 0.139$) y Manufactura Aditiva ($p = 0.681$) no resultaron ser significativas.

Discusión

Los modelos de regresión revelaron que en cada división propuesta para las tecnologías digitales existen tecnologías que son consideradas determinantes y con la capacidad de atender las problemáticas socioambientales, siendo estas el Big Data, el Internet de las Cosas, la Inteligencia Artificial y los Robots Autónomos.

Los datos son el poder del nuevo siglo. Es por ello que el Big Data representa el nuevo poder de la información, convirtiéndose en una herramienta esencial para ofrecer soluciones nuevas y potencialmente más efectivas ante la exorbitante cantidad de datos que actualmente la misma tecnología puede recabar. Esta característica beneficia ampliamente a los procesos de monitoreo ambiental, clima y observación de comunidades y ecosistemas en todo el planeta, los cuales generan miles de datos que —gracias a las nuevas capacidades de *software*— se pueden analizar en tiempo real (Barron-Lugo *et al.*, 2021; Esperón-Rodríguez & Barradas, 2015). Otra característica que la hace determinante es que usa datos para calcular resultados que ayudan a mejorar los procesos, como el porcentaje de tratamiento de aguas residuales, la cantidad de producción de energías renovables o el porcentaje de desperdicios sólidos generados.

Los modelos de pronóstico ambiental aprovechan el historial en diversas bases de datos para tomar acciones preventivas ante posibles contingencias ambientales, cuando las concentraciones de contaminantes alcanzan niveles elevados y puede ser nocivos para la salud. En otra vertiente, se tiene la minería de datos para la evaluación de la producción agrícola y alimentaria mediante el uso intensivo de datos ante las cambiantes condiciones ambientales y sociales en el mundo. La evolución de los dispositivos de recolección de información (sensores para diversos tipos de mediciones), las redes sociales y tecnologías de la información han contribuido a conformar bases de datos infinitas, lo que hace del Big Data una tecnología única para que la toma de decisiones sea más rápida, eficiente y, sobre todo, confiable.

En cuanto al Internet de las Cosas (IoT), su importancia radicó en sus diversas aplicaciones relacionadas con la teleoperación y su conectividad por medio del GPS (*Global Positioning System*) y LTE (*Long-Term Evolution*) para visualizar datos e información en tiempo real. Otro punto relevante es su alta conectividad, que se logra gracias a extensas redes ubicadas en zonas estratégicas para recopilar y transmitir información veraz y al momento. Sus diversas aplicaciones también aprovechan su potencia de conectividad a través de sitios web, con la capacidad de interconectar sistemas de monitoreo de ecosistemas y de recursos naturales ubicados en zonas de difícil acceso por medio de telefonía móvil o redes de internet satelitales. Otro ejemplo claro son sus múltiples aplicaciones en las Ciudades Inteligentes para el monitoreo continuo del consumo y uso de servicios urbanos (Flores *et al.*, 2014; Moral *et al.*, 2022) y en la agricultura (Castañeda-Miranda & Castaño-Meneses 2020; Cepeda *et al.*, 2013; Cicioglu & Calhan 2021; Miranda *et al.*, 2019; Roldán-Serrato *et al.*, 2018) para recopilar, procesar y analizar datos de diferentes fuentes, contribuyendo al desarrollo de la "inteligencia agrícola" y la "agricultura inteligente".

Con relación a la Inteligencia Artificial, se identificó que su relevancia actual se debe al desarrollo de aplicaciones que evalúan e impulsan nuevos límites tecnológicos. Tecnologías de aprendizaje automático (*machine learning*), aprendizaje profundo (*Deep Learning*) y sistemas ciber-físicos aprovechan el autoaprendizaje para reducir el consumo de energía, para implementar sistemas inteligentes que clasifican los desechos, para diseñar sistemas que optimizan el consumo de agua y para evaluar con precisión el desarrollo de los ecosistemas. La agricultura inteligente ha implementado IA para detectar y dar seguimiento automático de plagas en cultivos, así como para desarrollar invernaderos inteligentes. La conservación de la biodiversidad marina bajo el concepto de "océano inteligente" permite la evaluación constante de las áreas marinas protegidas móviles y el desarrollo de energía renovable oceánica (Bakker, 2022). El impulso a los sistemas inteligentes aplicados al sector energético ha progresado, desde la producción de energía limpia hasta la evolución de los servicios de transmisión, considerando ahora condiciones climáticas y ambientales. Hoy en día, la aplicación de TD en sistemas híbridos de energía renovable (solares o eólicos) representan una solución para satisfacer la demanda y, al mismo tiempo, proporcionar soluciones para la mitigación del CO₂ en la atmósfera. Serrano-Arévalo *et al.* (2023) exponen la importancia de aplicar la IA en el desarrollo energético mediante dos objetivos: económicos (costos de operación, producción y mantenimiento) y ambientales (consumo de recursos naturales y reducción de emisiones).

Sobre los Robots Autónomos, se identificó que la tecnología de los "drones" es una de las de mayor aplicación, en especial para la agricultura mediante el monitoreo en tiempo real de cultivos a través de un control más preciso en los procesos de fumigación, lo cual reduce la contaminación por pesticidas en un gran porcentaje. Además, los drones conforman principalmente a la tecnología de los vehículos operados a distancia ROV (*Remotely Operated Vehicle*) y vehículos submarinos autónomos AUV (*Autonomous Underwater Vehicles*), tecnologías de gran apoyo para los sistemas de inspección y respuesta ante incidentes desafortunados como los desastres ecológicos (derrames de petróleo en el mar, incendios forestales), para el monitoreo y cuidado de ecosistemas (medición de temperatura, salinidad, concentración de oxígeno en las costas, calidad del agua dulce en ríos, cuidado y conservación de biodiversidad endémica) y para el cultivo agrícola (sistemas de riego y recolección).

Con respecto al resto de las tecnologías, a pesar no haber presentado una influencia significativa, es importante mencionar la importancia que tienen dentro del contexto analizado.

La Nube y la Ciberseguridad son determinantes para resguardar y proteger de forma efectiva la información conformada por el Biga Data, de ahí que su relevancia es trascendental, a pesar de no ser vistas como parte de la solución a las problemáticas socioambientales.

La Simulación y la Realidad Virtual/Aumentada han desarrollado propuestas con un impacto positivo en las áreas del transporte y desarrollo urbano, así como en procesos importantes relacionados con las áreas de la salud. No obstante, actualmente estas tecnologías están preponderantemente enfocadas en el sector industrial, puesto que aún son consideradas costosas y poco accesibles para la sociedad en general, por lo que se espera que en un futuro cercano tengan mayor relevancia e impacto dentro de las problemáticas socioambientales.

La integración de sistemas y la manufactura aditiva van por el mismo camino, debido a que su aplicabilidad y desarrollo también están más orientadas hacia los procesos industriales. Sin embargo, en la actualidad, el desarrollo de la domótica en la integración de sistemas ha demostrado el potencial que las tecnologías digitales pueden generar a futuro, con grandes beneficios para la sociedad desde un punto de vista social y energético.

Estos hallazgos demuestran que la sociedad actual experimenta un momento crucial de crecimiento económico sostenible, donde el alto costo de implementación y la resistencia a la adopción de nuevos procesos son algunas de las principales barreras que obstaculizan la adopción de tecnologías emergentes (Sharma *et al.*, 2023). Atender las problemáticas socioambientales es un tema prudente y prioritario, y las tecnologías digitales representan una excelente alternativa para su atención. Lo importante ahora es que gobiernos, sector privado y sociedad en general apliquen apropiadamente estas tecnologías con base en una cultura sustentable. Ya es tiempo de hacerlo, si es que realmente queremos seguir satisfaciendo nuestras necesidades actuales sin comprometer la subsistencia de las generaciones futuras

Conclusiones

En la presente investigación se determinaron qué tecnologías digitales influyen de forma significativa para atender en forma conjunta las problemáticas socioambientales que experimentan tanto México como otros países, en especial los que no consideran prioritaria la sustentabilidad. Por ello, el siguiente paso es continuar innovando para que, en conjunto, sean en total los 10 pilares de Industria 4.0 quienes se conviertan en componentes determinantes para la atención de los problemas socioambientales.

Por otra parte, también se concluye que la sociedad actual enfrenta nuevos desafíos en torno al uso y aplicación de las tecnologías digitales. Por ejemplo, la infraestructura obsoleta, pobre gestión de datos, gran dependencia de los combustibles fósiles, poco desarrollo de investigación, indiferencia ante la sustentabilidad y poca regulación normativa son algunos de los principales retos que deben ser atendidos para evitar que afecten negativamente el desarrollo de las sociedades, instituciones, empresas y ciudades en todo el mundo.

A pesar de que el futuro estará enmarcado por nuevas disrupciones tecnológicas —como el desarrollo de macrodatos, cadenas de suministro de circuito cerrado, la remanufactura y el diseño de redes de cadenas de suministro (Tsai *et al.*, 2021)—, en este trabajo de investigación se visualizaron a las tecnologías actuales como el puente hacia el desarrollo de nuevas estrategias, de líneas de acción pertinentes y de investigaciones en áreas de atención socioambientales. La tecnología debe ser parte de la sustentabilidad debido a su mutua relación y no ser vista únicamente como un facilitador o una barrera (Evangelista & Hallikas, 2022), ya que no solo representa la oportunidad de mejorar la eficiencia operativa, también representa el poder para reducir costos, riesgos y, especialmente, impactos ambientales (Al-Rbeawi, 2023).

Así, los modelos de regresión permitieron cumplir el objetivo de investigación planteado y responder la pregunta de investigación, especificando qué tecnologías son actualmente determinantes y, sobre todo, en qué áreas de atención deben trabajar y desarrollarse en conjunto.

A pesar de que solamente cuatro tecnologías representaron una influencia significativa en los modelos, los 10 pilares de Industria 4.0 tienen el potencial para atender en conjunto áreas de atención socioambiental desde diversas perspectivas.

El desarrollo de tecnología no contaminante, de cadenas de suministro sostenible, la economía circular y el uso eficiente de los recursos naturales son áreas de atención que requieren de TD de modelado digital para reducir la contaminación, impulsar el desarrollo industrial sustentable y garantizar mejores prácticas de producción y consumo.

Los sistemas de tratamiento de aguas requieren nuevas tecnologías para ser reutilizadas, mejorar su calidad y hacer más eficiente su uso. Es prioritario aprovechar el potencial de las TD para restablecer no solo los recursos hídricos, sino también todos los ecosistemas relacionados con el agua.

Se requiere orientar a las TD hacia el uso de energías renovables para mejorar la eficiencia energética, lo cual podría garantizar un mejor acceso a servicios energéticos verdes, con la capacidad de mitigar los efectos cada vez más preocupantes del cambio climático (NU, 2023).

El creciente desarrollo de la agricultura inteligente gracias a las TD ha generado impactos positivos en los ecosistemas, razón por la cual es determinante impulsar su crecimiento con un mayor desarrollo tecnológico que permita recuperar las tierras de cultivo y zonas de hábitat natural, como selvas, bosques, montañas, lagos y ríos.

Finalmente, el análisis realizado refuerza el impacto positivo de proyectos a futuro, como lo es el desarrollo de ciudades inteligentes, donde la innovación y la inclusión financiera tienen un papel mediador positivo. Por ello, empresas, sociedad y gobierno deben ser conscientes y sensatos de su nuevo contexto, así como tomar decisiones inteligentes y sostenibles, con especial atención a las problemáticas socioambientales y a sus consecuentes repercusiones económicas (Chavarria-Barrientos *et al.*, 2017). Sin embargo, a pesar de que se sabe que la tecnología en todas sus representaciones conforma un elemento importante e integral para atender estas problemáticas, también es vista como parte del problema, por lo que su adopción requiere de una nueva cultura que nos permita transitar de nuestros comportamientos actuales a ser una sociedad más amigable con el ambiente y más cuidadosa de nuestros recursos para perdurar en el futuro (Dwivedi *et al.*, 2022).

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Al-Rbeawi, S. (2023). A review of modern approaches of digitalization in oil and gas industry. *Upstream Oil and Gas Technology*, 11(9), 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.upstre.2023.100098>
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6), 137-143.
- Bakker, K. (2022). Smart Oceans: Artificial intelligence and marine protected area governance. *Earth System Governance*, 13(8), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2022.100141>
- Barron-Lugo, J. A., Gonzalez-Compean, J. L., Carretero, J., Lopez-Arevalo, I., & Montella, R. (2021). A novel transversal processing model to build environmental big data services in the cloud. *Environmental Modelling & Software*, 144(10), 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105173>
- Caro-Borrero, A., Carmona-Jiménez, J., Rivera-Ramírez, K., & Bieber, K. (2021). The effects of urbanization on aquatic ecosystems in peri-urban protected areas of Mexico City: the contradictory discourse of conservation amid expansion of informal settlements. *Land Use Policy*, 102(3), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105226>
- Castagnoli, R., Büchi, G., Coeurderoy, R., & Cugno, M. (2022). Evolution of industry 4.0 and international business: a systematic literature review and a research agenda. *European Management Journal*, 40(4), 572-589. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2021.09.002>
- Castañeda-Miranda, A., & Castaño-Meneses, V. M. (2020). Internet of things for smart farming and frost intelligent control in greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176(9), 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105614>
- Cepeda, P., Ponce, P., Molina, A., & Lugo, E. (2013). Towards sustainability of protected agriculture: automatic control and structural technologies integration of an intelligent greenhouse. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(7), 366-371. <https://doi.org/10.3182/20130522-3-BR-4036.00085>
- Chavarria-Barrientos, D., Chen, D., Funes, R., Molina, A., & Vernadat, F. (2017). An enterprise operating system for the sensing, smart, and sustainable enterprise. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 13052-13058. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2004>
- Cicioglu, M., & Calhan, A. (2021). Smart agriculture with internet of things in cornfields. *Computers & Electrical Engineering*, 90(3), 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.106982>
- Ciftci, M. M., & Lemaire, X. (2023). Deciphering the impacts of 'green' energy transition on socio-environmental lithium conflicts: evidence from Argentina and Chile. *The Extractive Industries and Society*, 16(12), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101373>
- Comisión Económica para América y el Caribe (CEPAL). (2021). *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/879779be-c0a0-4e11-8e08-cf80b41a4fd9/content>
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt). (2024). *Sistemas socioecológicos y sustentabilidad. Glosario*. https://repositorio-socioecologia.conahcyt.mx/jspui/bitstream/1000/119/1/Glosario_Pronace%20Sistemas%20Socioecol%3b3gicos.pdf
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Grover, P., Abbas, R., Andreini, D., Abumoghli, I., Barlette, Y., Bunker, D., Kruse, L. C., Constantiou, I., Davison, R. M., De, R., Dubey, R., Fenby-Taylor, H., Gupta, B., He, W., Kodama, M., Mäntymäki, M., & Wade, M. (2022). Climate change and COP26: Are digital technologies and information management part of the problem or the solution? An editorial reflection and call to action. *International Journal of Information Management*, 63(4), 1-39. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102456>
- Esperón-Rodríguez, M., & Barradas, V. L. (2015). Comparing environmental vulnerability in the montane cloud forest of eastern Mexico: a vulnerability index. *Ecological Indicators*, 52, 300-310. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.019>
- Evangelista, P., & Hallikas, J. (2022). Exploring the influence of ICT on sustainability in supply management: evidence and directions for research. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100051>

- Fabritius, A. (2021). *Cómo elegir el método de integración de sistemas adecuado para su negocio*.
<https://stratify.cl/es/2021/08/08/como-elegir-el-metodo-de-integracion-de-sistemas-adecuado-para-su-negocio/>
- Fermín, C. (2014). *Los 10 problemas socio-ambientales de Latinoamérica*. Ecoportal.net.
<https://www.ecoportal.net/temas-especiales/desarrollo-sustentable/los-10-problemas-socio-ambientales-de-latinoamerica/>
- Flores, V., Viguera, M. O., & Velasco, R. (2014). Solar vehicles design for urban use: case adapted to Cuitláhuac Veracruz. *Energy Procedia*, 57, 965-974. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.079>
- Gamarrá, A. R., Lechón, Y., Escribano, G., Lilliestam, J., Lázaro, L., & Caldés, N. (2022). Assessing dependence and governance as value chain risks: natural gas versus concentrated solar power plants in Mexico. *Environmental Impact Assessment Review*, 93(3), 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106708>
- GeSI. (2015). *#SMARTer2030. ICT Solutions for 21st Century Challenges*. Global e-sustainability Initiative.
https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Hidalgo, F., Quiñones-Ruiz, X. F., Birkenberg, A., Daum, T., Bosch, C., Hirsch, P., & Birner, R. (2023). Digitalization, sustainability, and coffee. Opportunities and challenges for agricultural development. *Agricultural Systems*, 208, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103660>
- Hill, D. T., Collins, M. B., & Vidon, E. S. (2018). The environment and environmental justice: linking the biophysical and the social using watershed boundaries. *Applied Geography*, 95, 54-60.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.04.007>
- Hoogesteger, J. (2022). Regulating agricultural groundwater use in arid and semi-arid regions of the Global South: challenges and socio-environmental impacts. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 24(5), 1-6.
<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100341>
- Hu, Z., Hu, J., Hu, H., & Zhou, Y. (2020). Predictive habitat suitability modeling of deep-sea framework-forming scleractinian corals in the Gulf of Mexico. *Science of the Total Environment*, 742, 1-26.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140562>
- Kondo, Y., Miyata, A., Ikeuchi, U., Nakahara, S., Nakashima, K., Onishi, H., Osawa, T., Ota, K., Sato, K., Ushijima, K., Baptista, B. V., Kumazawa, T., Hayashi, K., Murayama, Y., Okuda, N., & Nakanishi, H. (2019). Interlinking open science and community-based participatory research for socio-environmental issues. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 39, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.07.001>
- Little, J. C., Hester, E. T., Elsayah, S., Filz, G. M., Sandu, A., Carey, C. C., Iwanaga, T., & Jakeman, A. J. (2019). A tiered, system-of-systems modeling framework for resolving complex socio-environmental policy issues. *Environmental Modelling & Software*, 112, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.11.011>
- Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. (2019). Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. *Computers in Industry*, 108, 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.02.002>
- Moral, P., García-Martín, A., Escudero-Viñolo, M., Martínez, J. M., Bescós, J., Peñuela, J., Martínez, J. C., & Alvis, G. (2022). Towards automatic waste containers management in cities via computer vision: containers localization and geo-positioning in city maps. *Waste Management*, 152, 59-68.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.08.007>
- Naciones Unidas (NU). (1987). *Our common future*. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Naciones Unidas (NU). (2015). *Los ODS en acción*. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Naciones Unidas (NU). (2019). *Aplicaciones digitales ayudan a reducir los riesgos ambientales en la acción humanitaria*.
<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/aplicaciones-digitales-ayudan-reducir-los-riesgos-ambientales-en>
- Naciones Unidas (NU). (2020). *Influencia de las tecnologías digitales*.
<https://www.un.org/es/un75/impact-digital-technologies>
- Naciones Unidas (NU). (2021). *Making pace with nature. A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies*. <https://wedocs.unep.org/items/1f52ec62-1c09-4e41-8b50-3134c6d7f668>

- Naciones Unidas (NU). (2022). *Digital Strategy 2022-2025*.
<https://www.undp.org/publications/digital-strategy-2022-2025>
- Naciones Unidas (NU). (2023). *Causas y efectos del cambio climático*.
<https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8), 1-20.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018>
- Özkaynak, B., Muradian, R., Ungar, P., & Morales, D. (2023). What can methods for assessing worldviews and broad values tell us about socio-environmental conflicts?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 64, 1-18.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101316>
- Piovani, J. I., & Krawczyk, N. (2017). Los estudios comparativos: algunas notas históricas, epistemológicas y metodológicas. *Educao Realidade*, 42(3), 821-840. <https://doi.org/10.1590/2175-623667609>
- Planelles, M. (18 de febrero de 2021). *La ONU alerta de una triple crisis: calentamiento, pérdida de la biodiversidad y contaminación*.
https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-02-18/la-onu-alerta-de-una-triple-crisis-ambiental-en-el-planeta-calentamiento-perdida-de-biodiversidad-y-contaminacion.html?event=go&event_log=go&prod=REGCRARTMX&o=cerradomx
- Qiao, Y., Peng, F., Wu, X., & Luan, Y. (2022). Visualization and spatial analysis of socio-environmental externalities of urban underground space use: Part 2 negative externalities. *Tunneling and Underground Space Technology*, 121(3), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104326>
- Rodríguez-Espíndola, O., Cuevas-Romo, A., Chowdhury, S., Díaz-Acevedo, N., Albores, P., Despoudi, S., Malesios, C., & Dey, P. (2022). The role of circular economy principles and sustainable-oriented innovation to enhance social, economic and environmental performance: evidence from Mexican SMEs. *International Journal of Production Economics*, 248(6), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108495>
- Roldán-Serrato, K. L., Escalante-Estrada, J. A. S., & Rodríguez-González, M. T. (2018). Automatic pest detection on bean and potato crops by applying neural classifiers. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11(4), 245-255. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.08.003>
- Rubmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M., & Justus, J. (2015). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*.
https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries
- Sánchez, M. A., & Soler, F. I. (2022). Data science - time series analysis of oil & gas production in Mexican fields. *Procedia Computer Science*, 200, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.201>
- Serrano-Arévalo, T. I., López-Flores, F. J., Raya-Tapia, A. Y., Ramírez-Márquez, C., & Ponce-Ortega, J. M. (2023). Optimal expansion for a clean power sector transition in Mexico based on predicted electricity demand using deep learning scheme. *Applied Energy*, 358, 1-32. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121597>
- Sharma, M., Raut, R. D., Sehwat, R., & Ishizaka, A. (2023). Digitalisation of manufacturing operations: the influential role of organisational, social, environmental, and technological impediments. *Expert Systems with Applications*, 211, 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118501>
- Singh, S. K., & Taylor, R. W. (2019). Assessing the role of risk perception in ensuring sustainable arsenic mitigation. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(10), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100241>
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3, 192-204. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.006>
- Sossa, J. H. (2020). *El papel de la inteligencia artificial en la industria 4.0*. IIBI-UNAM.
https://ru.iibi.unam.mx/jspui/bitstream/IIBI_UNAM/89/1/01_inteligencia_artificial_juan_sossa.pdf
- Tabelin, C. B., Park, I., Phengsaart, T., Jeon, S., Villacorte-Tabelin, M., Alonzo, D., Yoo, K., Ito, M., & Hiroyoshi, N. (2021). Copper and critical metals production from porphyry ores and E-wastes: a review of resource availability, processing/recycling challenges, socio-environmental aspects, and sustainability issues. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105610>

- Tanveer, U., Kremantzis, M. D., Roussinos, N., Ishaq, S., Kyrgiakos, L. S., & Vlontzos, G. (2023). A fuzzy TOPSIS model for selecting digital technologies in circular supply chains. *Supply Chain Analytics*, 4, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100038>
- Tetreault, D. (2020). The new extractivism in Mexico: rent redistribution and resistance to mining and petroleum activities. *World Development*, 126, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104714>
- Torres-Malca, J. R., Vera-Ponce, V. J., Zuzunaga-Montoya, F. E., Talavera, J. E., & De la Cruz-Vargas, J. A. (2022). Validez de contenido por juicio de expertos de un instrumento para medir conocimientos, actitudes y prácticas sobre el consumo de sal en la población peruana. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 22(2), 273-279. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v22i2.4768>
- Tsai, F. M., Bui, T., Tseng, M., Ali, M. H., Lim, M. K., & Chiu, A. S. F. (2021). Sustainable supply chain management trends in world regions: a data-driven analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 16, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105421>
- Wang, L., Chen, Y., Ramsey, T. S., & Hewings, G. J. D. (2021). Will researching digital technology really empower green development? *Technology in Society*, 66, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101638>