

María Concepción Martínez Rodríguez Dulce María ...

Enfoques de las dimensiones complejas y desafiantes de la crisis climática.pdf

 Comunicacion Cientifica Ediciones

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:609605018

Fecha de entrega

22 jul 2026, 1:45 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

22 jul 2026, 2:29 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Enfoques de las dimensiones complejas y desafiantes de la crisis climática.pdf

Tamaño del archivo

1.9 MB

194 páginas

62.569 palabras

359.397 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 16 palabras)

Exclusiones

- N.º de fuente excluida

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 8% Publicaciones
- 0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	research-portal.uu.nl	<1%
2	Publicación	Jingwei Zhang, Md Shamirul Islam, Manimekalai Jambulingam, Weng Marc Lim, S...	<1%
3	Internet	documentop.com	<1%
4	Internet	cris.maastrichtuniversity.nl	<1%
5	Publicación	Pawinee Iamtrakul, Jirawan Klaylee, I-Soon Raungratanaamporn. "Evaluating Sus...	<1%
6	Internet	gredos.usal.es	<1%
7	Internet	ebin.pub	<1%
8	Publicación	S. M. Shafiul Alam, K. M. Zahidul Islam. "Examining the role of environmental cor...	<1%
9	Internet	ejtas.com	<1%
10	Publicación	Turner, Andrea. "Transitioning Urban Organics: From Waste Management to Inte...	<1%
11	Internet	report-2023.global-tipping-points.org	<1%

12	Publicación	Kamran Mohy-ud-Din. "Board diversity and corporate social responsibility versus ...	<1%
13	Publicación	Alexandra Velasco. "Evaluating urban transport systems: A systematic review for ...	<1%
14	Internet	uis.brage.unit.no	<1%
15	Publicación	Pradeep Kumar, Sanjeev Gupta, Vishal Dagar. "Sustainable energy development t...	<1%
16	Internet	doi.org	<1%
17	Publicación	Pantea Foroudi, Maria Palazzo. "Sustainable Branding - Ethical, Social, and Enviro...	<1%
18	Publicación	Muhammad Shujaat Mubarik, Jyri Vilko, Sajid Nazir. "Electric Vehicle Supply Chain...	<1%
19	Publicación	Iskandar Zainuddin Rela, Abd Hair Awang, Zaimah Ramli, Sarmila Md Sum, Meisa...	<1%
20	Publicación	"Environmental Change and Biodiversity Conservation in Sub-Saharan Africa", Sp...	<1%
21	Publicación	Efthymiadi, Pinelopi. "Policy and Investment Gaps in Energy Transition : A Sociote...	<1%
22	Publicación	Werner, Viktor. "Ghosts of the Past or Facilitators of the Future? Firm-System Inte...	<1%
23	Publicación	Heiges, Jessica. "Disposing of Single-Use: Sustainability Transitions Towards Wast...	<1%
24	Internet	ntnuopen.ntnu.no	<1%
25	Internet	www.ipbes.dk	<1%

26	Publicación	Adrián Pedrozo Acuña. "Reflexiones para la sustentabilidad hídrica. Visión prospe...	<1%
27	Publicación	"Life on Land", Springer Science and Business Media LLC, 2021	<1%
28	Publicación	Scognamiglio, Fulvio. "The Circular Transition Through the Network Governance"...	<1%
29	Internet	tesisenred.net	<1%
30	Publicación	Baolong Yuan, Xueyun Cao. "Do corporate social responsibility practices contribu...	<1%
31	Publicación	"Handbook of Latin American Health Psychology", Springer Science and Business ...	<1%
32	Internet	os.zhdk.cloud.switch.ch	<1%
33	Publicación	Thomas Van Laake, Juan Sebastián Gómez-Rodríguez, John Fredy Bustos, Natalia ...	<1%
34	Internet	trepo.tuni.fi	<1%
35	Internet	moam.info	<1%
36	Publicación	Demeke, Betelhem Wondimneh. "Agricultural Water Footprint: Spatiotemporal D...	<1%
37	Publicación	"Encyclopedia of Sustainability in Higher Education", Springer Science and Busine...	<1%
38	Publicación	Kęstutis Daukšys. "Neuromarketingo metodų taikymas investicijoms į užstatytos ...	<1%
39	Publicación	Jader Muñoz Ramos, Jhoanna Magally García Andrade, Mercedes Parra Alviz. "Ges...	<1%

40	Publicación	Lopes, Sofia Helena Lewis. "Renewable Energies and Anaerobic Co-Digestion: A Sy...	<1%
41	Internet	hdl.handle.net	<1%
42	Publicación	"North American and European Perspectives on Sustainability in Higher Educatio...	<1%
43	Publicación	Niko Roorda. "Grundlagen der nachhaltigen Entwicklung", Springer Science and ...	<1%
44	Publicación	Thomas Bolognesi, Francisco Silva Pinto, Megan Farrelly. "Routledge Handbook o...	<1%
45	Internet	flordominguez.blogspot.com	<1%
46	Internet	udekom-balkans.com	<1%
47	Publicación	"Sustainable Service Management", Springer Science and Business Media LLC, 2024	<1%
48	Publicación	Helge Jörgens, Christoph Knill, Yves Steinebach. "Routledge Handbook of Environ...	<1%
49	Publicación	Joanna Paliszkievicz, Ireneusz Dąbrowski, Steven Lorenzet, Angelica Marotta, Qu...	<1%
50	Publicación	Francesco Gangi, Daniele Angelo Previati, Flora Sfez. "Sustainable Finance and So...	<1%
51	Publicación	Luis Domingo Pérez Lores. "Ordenación del territorio y sostenibilidad. Análisis del...	<1%
52	Publicación	Manfred Bruhn, Christoph Burmann, Manfred Kirchgeorg. "Marketing.Neu.Denke...	<1%
53	Internet	dspace.library.uu.nl	<1%

54	Publicación	Cayetano Medina-Molina, Noemí Pérez-Macías, Sierra Rey-Tienda. "Strategies for ...	<1%
55	Publicación	Sarah Eva Martínez Pellegrini. "Ordenamiento territorial. Teorías y políticas con i...	<1%
56	Internet	dspace.ucuenca.edu.ec	<1%
57	Publicación	Evans, Ffion. "A Mixed-Methods Evaluation of Circular Agricultural Practices for G...	<1%
58	Publicación	Jordi Martínez Ventura. "Enseñanza de la Arquitectura y Educación para el desarr...	<1%
59	Publicación	Silvia Sipone, Andrés Rodríguez Gutiérrez, José Luis Moura Berodia, Marta Rojo Ar...	<1%
60	Publicación	Borghei, Benny Behbood. "Incumbent Actors in Sectoral Transformations Toward...	<1%
61	Publicación	Boscheinen, Jens Roman. "Sustainable Change – Betrachtung von Veränderungsp...	<1%
62	Publicación	"Digital Sustainability: Inclusion and Transformation", Springer Science and Busin...	<1%
63	Publicación	Srivastava, Ashutosh. "A Study of the Awareness of UNSDG and an Analysis of the...	<1%
64	Publicación	"Entrepreneurship, Technological Change and Circular Economy for a Green Tran...	<1%
65	Publicación	Bento, Ana Isabel Pimenta Faria Teixeira. "Impacto das Práticas de Sustentabilida...	<1%
66	Publicación	"Green Economy and Sustainable Development", Springer Science and Business ...	<1%
67	Publicación	Bart Wernaart. "The Routledge Companion to International Law and Responsible ...	<1%

68	Publicación	Contesse Ayala, Maria Eugenia. "Get With the Action Change Agency in Sustainab...	<1%
69	Publicación	Kathleen M. Araújo. "Routledge Handbook of Energy Transitions", Routledge, 2022	<1%
70	Internet	idus.us.es	<1%
71	Publicación	"Chapter 300590 SDG 6", Springer Science and Business Media LLC, 2022	<1%
72	Publicación	"Interdependencia y vulnerabilidad : una contribución al enfoque de One-health ...	<1%
73	Publicación	Mukesh Gupta. "Remote Sensing for Geophysicists", Routledge, 2025	<1%
74	Publicación	"Responsible Consumption and Production", Springer Science and Business Medi...	<1%
75	Publicación	"Sustainable Consumption and Production, Volume II", Springer Science and Busi...	<1%
76	Publicación	Jenkin, Nicola Pat. "Collaboration in South Africa's Forestry-Products Biorefinery I...	<1%
77	Internet	lucris.lub.lu.se	<1%
78	Publicación	"Gestaltung des Wandels im Dienstleistungsmanagement", Springer Science and ...	<1%
79	Publicación	"Green Human Resource Management Research", Springer Science and Business ...	<1%
80	Publicación	Fernanda Massarotto Dandaro. "Emissão de títulos verdes em países emergentes...	<1%
81	Internet	ris.utwente.nl	<1%

82	Publicación	Mustafa Hasan Abrah, Lee Vien Leong, Hamid A. Al-Jameel. "Evaluating sustainabl...	<1%
83	Internet	digibug.ugr.es	<1%
84	Publicación	"Escasez, propiedad privada y megaproyectos de infraestructura hídrica en Chile....	<1%
85	Internet	ruj.uj.edu.pl	<1%
86	Publicación	"Handbook of Engaged Sustainability", Springer Science and Business Media LLC, ...	<1%
87	Publicación	"New Developments in Eco-Innovation Research", Springer Science and Business ...	<1%
88	Publicación	Stefan Markovic, Adam Lindgreen, François Maon, Cristina Sancha. "The Routledg...	<1%
89	Internet	www.coursehero.com	<1%
90	Publicación	"Sustainable Cities and Communities", Springer Science and Business Media LLC, ...	<1%
91	Publicación	Jesús Rodrigo Comino. "El método mejorado del tocón (isum) para evaluar proces...	<1%
92	Publicación	Kevin C. Elliott, Ted Richards. "The Routledge Handbook of Values and Science", R...	<1%
93	Publicación	"Proceedings of the 3rd International Conference on Water Energy Food and Sust...	<1%
94	Publicación	Carlos Andres Diaz Restrepo, Monica Patiño, Pedro Duque, Luis Salvador Cervant...	<1%
95	Publicación	Innocent Musonda, Rehema J. Monko, Adetayo Onososen. "Building Infrastructur...	<1%

96	Publicación	Javier Gerardo Zuzunaga Rosas. "Evaluación del producto bioestimulante BALOX ..."	<1%
97	Internet	dokumen.pub	<1%
98	Internet	neptjournal.com	<1%
99	Publicación	Andrea M. Feldpausch-Parker, Danielle Endres, Tarla Rai Peterson, Stephanie L. G...	<1%
100	Publicación	Zahar Koretsky, Peter Stegmaier, Bruno Turnheim, Harro van Lente. "Technologie...	<1%
101	Publicación	Dalia D'Amato, Anne Toppinen, Robert Kozak. "The Role of Business in Global Sust...	<1%
102	Publicación	David Dent, Martin Keulertz, Michael Gilmont. "Tony Allan - An Intellectual Journe...	<1%
103	Publicación	Jakeline Serrano García. "Desarrollo del producto innovador verde desde sus ante...	<1%

Enfoques de las dimensiones complejas y desafiantes de la crisis climática

María Concepción Martínez Rodríguez
Dulce María Monroy Becerril
(coordinadoras)



**EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

Índice

<i>Resumen</i>	13
<i>Introducción</i>	15
1. Propuesta de iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental para México. <i>Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel, Dulce María Monroy Becerril, María Concepción Martínez Rodríguez</i>	21
1. Introducción	22
1.1. Antecedentes y alcance del estudio	22
1.2. Rol estratégico de la responsabilidad social corporativa ambiental	24
1.3. Planificación e implementación de la responsabilidad social corporativa ambiental en México	25
2. Metodología	27
3. Resultados y su discusión	28
3.1. Relación de resultados	28
3.2. Responsabilidad ambiental	29
3.3. Responsabilidad ética	33
3.4. Iniciativas filantrópicas	35
3.5. Responsabilidad económica	36
4. Conclusiones	38
5. Referencias	39

2. Enfoque de las políticas públicas frente a la crisis del cambio climático. <i>María Concepción Martínez Rodríguez, Héctor Guadalupe Ramírez Escamilla, Martín Cutberto Vera Martínez</i>	45
1. Introducción	46
2. Las desigualdades de las políticas ambientales	48
3. Metodología	49
4. Las externalidades ambientales	50
5. El mercado del carbono	51
6. Limitantes en la investigación del cambio climático	52
7. Las industrias de las emisiones	52
8. Seguridad alimentaria	55
9. Resultados y su discusión	55
10. Conclusiones	59
11. Referencias	61
3. El capitalismo ecológico como camino hacia el desarrollo sostenible. <i>Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel, Dulce María Monroy Becerril, Christian Muñoz-Sánchez</i>	63
1. Introducción	64
2. Metodología	65
2.1. Resumen y significado de la pregunta de investigación	67
2.2. Importancia de la pregunta de investigación	67
3. Resultados y discusión	68
3.1. El concepto de capitalismo ecológico	68
3.2. Desarrollo histórico del capitalismo y su impacto ambiental	71
3.3. Enfoques basados en el mercado para la sostenibilidad	74
4. Conclusiones	83
5. Referencias	84
4. Integración transdisciplinaria para la gestión sostenible de residuos: una revisión. <i>Héctor Guadalupe Ramírez-Escamilla, María Concepción Martínez-Rodríguez, Sergio Emmanuel Ramírez-Escamilla</i>	89
1. Introducción	90

2. Análisis bibliométrico (AB)	91
3. Análisis de correspondencia múltiple (ACM)	92
4. Acoplamiento bibliográfico (AB)	92
5. Mapas temáticos (MT)	93
6. Metodología	93
7. Resultados y discusión	96
8. Consideraciones finales	100
9. Referencias	100
 5. Economía circular integrada del agua: soluciones para los problemas derivados de la escasez de agua. <i>Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel, Christian Muñoz-Sánchez, Esteban Martínez Díaz</i>	105
1. Introducción	106
2. Metodología	107
3. Resultados y su discusión	108
3.1. Desafíos derivados de la escasez de agua	108
3.2. Gestión sostenible del agua y reformas institucionales	109
3.3. Gestión integrada de los recursos hídricos para la seguridad hídrica	111
3.4. Reutilización y reciclaje del agua	112
3.5. Conservación y eficiencia del agua	114
3.6. Cambio de paradigma en la gestión del agua	116
3.7. Reconocer el agua como un recurso valioso y finito	116
3.8. Adoptar principios circulares para una utilización óptima de los recursos	117
3.9. Fomentando una cultura de uso responsable del agua	117
4. Conclusiones	118
5. Referencias	120
 6. Indicadores de movilidad sostenible en contextos globales: desafíos y oportunidades. <i>Mariana Marcelino-Aranda, Cinthia Yareli Velazquez Ramos, Alejandro D. Camacho</i>	127
1. Introducción	128
2. Marco teórico	129

3. Metodología	134
3.1. Etapa 1: Búsqueda en Web of Science	134
3.2. Etapa 2: Búsqueda en Google Scholar	135
3.3. Etapa 3: Búsqueda General en la Web	135
4. Resultados	137
5. Conclusiones	146
6. Referencias	147
 7. Transiciones sustentables: hacia un enfoque teórico-práctico integrado. <i>Christian Muñoz-Sánchez, Daniel Romo Rico, Dulce María Monroy Becerril</i>	155
1. Introducción	156
2. Desarrollo	157
2.1. Transiciones Sustentables	157
3. Metodología	158
4. Discusión	159
4.1. Análisis Multi-Nivel (AMN)	159
5. Análisis Funcional (AF)	162
6. Propuesta del modelo teórico-empírico	165
7. Integrando el contexto externo	167
8. Conclusiones	169
9. Referencias	169
 8. Deforestación, erosión y crisis climática, Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México. <i>Miguel Alvarado Cardona, José Aurelio Colmenero Robles, Obed Pardo Santos</i>	175
1. Introducción	176
1.1. Crisis climática	176
1.2. Problema	177
1.3. Hipótesis	177
1.4. Objetivos	178
2. Metodología	178
2.1. Método	178
2.2. Fases Caracterización	178
2.3. Diagnóstico	180

3. Desarrollo de la metodología	180
3.1. Fase de caracterización	180
3.2. Fase de diagnóstico	186
3.3. Deforestación	187
4. Resultados	192
4.1. Uso del suelo	192
4.2. Radiación solar	192
4.3. Deforestación	192
4.4. Clases de erosión actual y formas de erosión	193
4.5. Velocidad y clases de erosión actual	194
4.6. Captura de carbono	194
5. Propuestas	195
5.1. Deforestación	195
5.2. Erosión de suelos	196
6. Conclusiones	196
7. Recomendaciones	196
8. Referencias	196
<i>Sobre los autores</i>	<i>199</i>

Resumen

La presente obra está formada por ocho capítulos en donde esbozamos los diversos enfoques de las dimensiones complejas y desafiantes de la crisis climática. Comenzamos por la responsabilidad social corporativa ambiental busca crear un entorno empresarial sostenible en el que las empresas protejan activamente el medio ambiente mientras generan ingresos para sus partes interesadas, continuamos con el enfoque de políticas públicas donde analizamos cual ha sido el camino de las políticas públicas relacionadas al cambio climático. El tercer capítulo nos muestra al capitalismo ecológico como camino hacia el desarrollo sostenible, mostramos como la integración transdisciplinaria ayuda a la gestión sustentable de los residuos, tocamos los temas ambientales más importantes como la economía circular integrada al agua, también forma parte de los desafíos de los indicadores de movilidad sostenible en los contextos globales, relacionando este enfoque con el de transiciones sustentables hacia un enfoque teórico-práctico integrado y terminamos con una descripción del Valle central de Oaxaca y su deterioro ambiental. A través de este recorrido desafiante de las dimensiones empresariales, gubernamentales, físicas-naturales, comprobamos que cada día son más complejas frente a la crisis climática, nuestro objetivo es mostrar que aún tenemos opciones para cambiar el rumbo y encontrar verdaderas soluciones que beneficien a la mayoría de la población lejos de intereses corporativos empresariales y de poder por parte de las políticas internacionales.

Introducción

La presente obra está formada por ocho capítulos en donde esbozamos los diversos enfoques de las dimensiones complejas y desafiantes de la crisis climática. Comenzamos por la “Propuesta de iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental para México”, donde las preocupaciones climáticas están impulsando a la mayoría de las empresas a considerar el impacto de sus actividades en el medio ambiente y las comunidades circundantes. La responsabilidad social corporativa ambiental busca crear un entorno empresarial sostenible en el que las empresas protejan activamente el medio ambiente mientras generan ingresos para sus partes interesadas. El propósito de este estudio fue proponer iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental que las empresas pueden implementar en México para proteger el medio ambiente y apoyar a las comunidades locales. Los datos se obtuvieron de estudios anteriores y se analizaron mediante un método de revisión sistemática. El documento sugiere varias propuestas que permitirán a las empresas mexicanas reducir su impacto ambiental mientras maximizan sus posibilidades de generar más ingresos.

El capítulo dos “Enfoque de las Políticas Públicas frente a la crisis del cambio climático” tiene el objetivo de incorporar algunas ideas de las ciencias sociales y las políticas públicas sobre el cambio climático. Las secciones ponen de relieve ideas sobre las dimensiones: política, de gobernanza y de justicia del cambio climático. Los resultados nos llevan a que la literatura se basa generalmente en cambios tecnológicos, modelos socioeconómicos y

biogeofísicos, sin embargo, perdura la idea de que una técnica o elemento funciona por sí solo, es decir, que su idoneidad para su adopción puede entenderse aisladamente de los acuerdos sociales y políticos que requiere su implementación. En la conclusión analizamos porqué los temas y las ideas que hemos identificado describen las tendencias reduccionistas en la producción de conocimientos ambientales y las conveniencias de formulación de políticas a las que sirven como una forma de despolitización, argumentando que limita el espacio de deliberación pública sobre políticas controvertidas y da prioridad a una lógica gerencial donde la toma de decisiones se considera competencia exclusiva de expertos y tecnócratas. Al hacerlo, excluye oportunidades para un cambio social, político y económico más radical y sirve para defender y reproducir intereses dominantes.

El capítulo tres “El capitalismo ecológico como camino hacia el desarrollo sostenible” tuvo el objetivo de explicar el potencial del capitalismo ecológico como camino hacia el desarrollo sostenible, debido a la necesidad de abordar los impactos negativos del crecimiento económico y el desarrollo en el medio ambiente: como el cambio climático. Los resultados muestran que, si bien el capitalismo ecológico puede ser valioso para promover el desarrollo sostenible, no debe verse como una panacea para los desafíos ambientales. Es necesario un cambio sistémico y una acción colectiva para lograr la sostenibilidad. Los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado, como el etiquetado ecológico y las finanzas verdes, se han mostrado prometedores, pero deben diseñarse e implementarse cuidadosamente para evitar consecuencias negativas no deseadas. El capitalismo ecológico puede ofrecer un marco para abordar las dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo sostenible de forma coordinada. La investigación futura debe continuar explorando modelos económicos alternativos y su potencial para lograr la sostenibilidad.

En el capítulo cuatro titulado “Integración Transdisciplinaria para la Gestión Sostenible de Residuos: Una revisión “se realizó una investigación exploratoria con el objetivo de identificar en la literatura estudios que aborden la “transdisciplina” y la “gestión de residuos”. El análisis se realizó utilizando la base de datos SCOPUS. Estos documentos fueron examinados para identificar las características de la investigación transdisciplinaria en el ámbito de la gestión de residuos, resaltando la presencia de tres áreas

impulsoras: Ecología, Economía Ambiental e Ingeniería Ambiental, con énfasis en la relación con el aspecto económico. La nube de palabras clave reveló la centralidad del manejo de residuos, cambio climático y desarrollo sostenible en estas investigaciones, reflejando su relevancia y la interconexión de problemas en estos ámbitos. Destaca la importancia de un enfoque interdisciplinario para abordar desafíos complejos con implicaciones locales y globales en la sostenibilidad ambiental y la mitigación del cambio climático. El papel de la transdisciplina en el manejo de residuos se centra en integrar conocimientos y enfoques de diversas disciplinas para abordar integralmente aspectos como la gestión del agua, el cambio climático, la salud humana y la equidad ambiental. Con este estudio se destacó, la relevancia que tiene la colaboración entre ingenieros ambientales, economistas, sociólogos y ecologistas para diseñar sistemas eficientes, evaluar costos y beneficios, comprender actitudes comunitarias y evaluar impactos ambientales.

El contenido del capítulo cinco “Economía circular integrada del agua: soluciones para los problemas derivados de la escasez de agua” nos introduce a la disponibilidad de fuentes de agua dulce que está disminuyendo debido a la sobre extracción, la contaminación y los impactos del cambio climático. El aumento de la demanda y la disminución de la oferta crean una situación en la que los recursos hídricos se vuelven escasos. Este capítulo explora la Economía Circular Integrada del Agua como marco para abordar los desafíos de la escasez de agua. Se realizó una búsqueda sistemática, considerando artículos de 2004 a 2024 en bases de datos relevantes. La revisión enfatiza la importancia de la reutilización, el reciclaje y la eficiencia en la Economía Circular Integrada del Agua. Los hallazgos clave resaltan la importancia de tratar y recuperar las aguas residuales mediante filtración avanzada, procesos biológicos y métodos de desinfección. El enfoque de la Economía Circular Integrada del Agua proporciona información sobre cómo maximizar la utilización de los recursos hídricos, minimizar la descarga de aguas residuales y promover un ciclo sostenible del agua. Investigaciones futuras evaluarán las implicaciones ambientales, económicas y sociales de la reutilización y el reciclaje del agua, la escalabilidad de las tecnologías de ahorro de agua, los aspectos del cambio de comportamiento y el impacto en los ecosistemas y la biodiversidad.

El capítulo seis “Indicadores de movilidad sostenible en contextos globales: desafíos y oportunidades” nos describe que dentro de los retos que engloban los Objetivos del Desarrollo Sustentable, están los de la mitigación a la crisis del cambio climático, que lleva a las naciones en lo particular a generar políticas públicas y acciones concretas. Al respecto, la movilidad urbana sustentable no es un concepto nuevo, sin embargo, ha ganado relevancia en las últimas dos décadas debido a su impacto en las tres dimensiones de la sustentabilidad. Este capítulo presenta un análisis documental sobre las vertientes en las que se han trabajado indicadores de movilidad urbana sustentable entre el periodo de enero-mayo 2024, con el objetivo de identificar brechas y tendencias dentro de la literatura. Los resultados muestran siete grupos clave de indicadores: accesibilidad, seguridad, eficiencia energética y calidad ambiental, tecnología e innovación, transporte público y modos alternativos, gestión del tránsito y movilidad, y satisfacción del usuario, los cuales deben adaptarse a las características específicas de cada zona de estudio. Además, es importante considerar indicadores referentes al comportamiento ciudadano, características culturales y dinámicas económicas, aunado a implementación de tecnologías inteligentes como elemento clave para avanzar hacia una movilidad urbana más sostenible.

Dentro del capítulo siete “Transiciones Sustentables: Hacia un enfoque teórico-práctico integrado” describimos que las Transiciones Sustentables (TS) son consideradas como procesos de transformación dentro de un largo plazo considerando niveles multidimensionales mediante los cuales se cambian modos de consumo y producción con la finalidad de ser más sustentables. Sin embargo, la relación entre enfoques es reciente y carece de una ruta de investigación consolidada. Por lo tanto, el propósito del presente capítulo es realizar una revisión teórica sobre TS, con la finalidad de conocer los principales enfoques teóricos con los que se analizan las transiciones sustentables. La investigación permite concluir que el estudio de TS es reciente y con muchas perspectivas para futuros estudios; en especial, a través del análisis multi-nivel y el análisis funcional, la contribución de la investigación se centra en integrar ambos enfoques y proponer un Modelo Teórico-Práctico para evaluar TS.

Y cerramos con el capítulo ocho “Deforestación, erosión y crisis climática, Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México”, los Valles Centrales de

Oaxaca se localizan en la zona central del Estado de Oaxaca, México. La crisis climática es una emergencia causada por calentamiento del planeta en las últimas décadas. La deforestación irracional ha originado que el suelo se erosione, reduciendo cantidad de carbono en el suelo, incrementándose la radiación solar y el CO₂, se planteó el objetivo de proponer técnicas de la ingeniería naturalística y de conservación de suelos para revertir la crisis climática. Se supone que la deforestación y la erosión del suelo contribuyen a la crisis climática. Para cumplir con el objetivo y probar la hipótesis, se aplicó un método integrado por la fase caracterización, diagnóstico y propuestas. Se concluye que los Valles Centrales de Oaxaca están severamente erosionados y talados, se cumple con el objetivo y se prueba la hipótesis.

A través de este recorrido desafiante de las dimensiones empresariales, gubernamentales, físicas-naturales, comprobamos que cada día son más complejas frente a la crisis climática, nuestro objetivo es mostrar que aún tenemos opciones para cambiar el rumbo y encontrar verdaderas soluciones que beneficien a la mayoría de la población lejos de intereses corporativos empresariales y de poder por parte de las políticas internacionales.

1. Propuesta de iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental para México*

JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL**

DULCE MARÍA MONROY BECERRIL***

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ ****



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.01>

Resumen

Las preocupaciones climáticas están impulsando a la mayoría de las empresas a considerar el impacto de sus actividades en el medio ambiente y las comunidades circundantes. La responsabilidad social corporativa ambiental busca crear un entorno empresarial sostenible en el que las empresas protejan activamente el medio ambiente mientras generan ingresos para sus partes interesadas. El propósito de este estudio fue proponer iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental que las empresas pueden implementar en México para proteger el medio ambiente y apoyar a las comunidades locales. Los datos se obtuvieron de estudios anteriores y se analizaron mediante un método de revisión sistemática. Se incluyeron en la revisión un total de 37 artículos, mostrando diversas propuestas que se sustentan con evidencia adecuada. Los resultados indican que las iniciativas se pueden clasificar en responsabilidad ambiental, ética, filantrópica y eco-

* Derivado del proyecto SIP 20240598: Responsabilidad Social Empresarial y Sostenibilidad en el Abastecimiento de Agua. (Agregar que el capítulo es derivado del proyecto de investigación)

** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. Correspondencia: j.a.silva@outlook.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

*** Doctora en Administración Pública. Profesora-investigadora de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-5577>

**** Doctora en Política Pública. Profesora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>

nómica. El documento sugiere varias propuestas que permitirán a las empresas mexicanas reducir su impacto ambiental mientras maximizan sus posibilidades de generar más ingresos.

Palabras clave: *responsabilidad económica, responsabilidad ética, responsabilidad social corporativa ambiental.*

1. Introducción

1.1. Antecedentes y alcance del estudio

La responsabilidad social corporativa ambiental es una práctica voluntaria en la que las empresas protegen el medio ambiente y las comunidades circundantes mientras cumplen con sus requisitos obligatorios. Las empresas demuestran su compromiso con la responsabilidad social corporativa ambiental utilizando varias iniciativas, incluidas inversiones en fuentes limpias de energía para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Li y Wu, 2020; Kraus et al., 2020; Peña- Miranda et al., 2022). Algunas empresas participan en el Día Mundial de la Limpieza anual para eliminar plásticos y otros contaminantes de ríos, lagos y océanos (Anser et al., 2020). El enfoque renovado en la responsabilidad social corporativa ambiental entre las organizaciones también indica que los clientes están notando lo que las empresas están haciendo para mejorar sus vidas, en lugar de centrarse solo en los ingresos (Crifo y Forget, 2015). Las preocupaciones ecológicas están teniendo un profundo impacto en muchas organizaciones, impulsando más iniciativas destinadas a reducir la contaminación y construir un entorno sostenible (Xu et al., 2022). Las empresas también están notando los beneficios estratégicos que surgen de la integración de prácticas comerciales e iniciativas ecológicas para crear una cadena de suministro sostenible.

Hasta hace poco, la mayoría de las empresas operaban con el único propósito de generar ganancias para los propietarios. Maximizar las ganancias siempre ha estado en el centro de cada decisión comercial y plan a largo plazo realizado por los gerentes (Anser et al., 2020). Sin embargo, muchas cosas han cambiado en las últimas décadas. Muchos gerentes y lí-

deres se han dado cuenta de que tienen una responsabilidad mayor de hacer algo más que generar ingresos y ganancias para los dueños de sus negocios (Li y Wu, 2020). En cambio, las empresas solo pueden lograr cadenas de suministro sostenibles centrándose en las personas, el planeta y las ganancias (Kraus et al., 2020). Con la creciente urgencia de combatir desafíos como el cambio climático, se ha convertido en más que una necesidad para las empresas adaptarse al entorno cambiante (Xu y Lee, 2022). Invertir en las iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental coloca a las empresas de gestión del agua en un mejor entorno para abordar los desafíos relacionados con la contaminación y el cambio climático (Peña- Miranda et al., 2022). Esto les permite crear un entorno empresarial sostenible que opera al menor costo posible.

Este documento propone iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental que las empresas de gestión de agua en México pueden utilizar para mejorar sus operaciones y minimizar sus emisiones de carbono. Las iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental propuestas ayudarán a las empresas de gestión del agua a construir una imagen corporativa ecológica y obtener una ventaja competitiva en el mercado. El alcance del documento se puede describir en términos de sus secciones principales, incluida la introducción, la metodología, los resultados, la discusión y la conclusión. La introducción proporciona antecedentes sobre el tema, explica el papel estratégico de la responsabilidad social corporativa ambiental, analiza la planificación y la implementación de las iniciativas de la responsabilidad social corporativa ambiental y describe el impacto de la responsabilidad social corporativa ambiental en la sociedad. La sección de metodología describe los métodos que se utilizaron para recopilar y analizar los datos. La sección de resultados y su discusión proporciona detalles sobre los hallazgos sobre las iniciativas de la responsabilidad social corporativa ambiental propuestas para México, mientras que la conclusión argumenta sobre los principales puntos encontrados en la investigación. Los problemas ambientales como la crisis climática, entre otros, requieren solución, por lo cual con las iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental de las empresas de gestión de agua en México planteadas en esta investigación se vinculan con la temática principal de este libro.

1.2. Rol estratégico de la responsabilidad social corporativa ambiental

Según Xu et al. (2022), el papel estratégico de la responsabilidad social corporativa ambiental sigue siendo crear valor a largo plazo para la empresa y la sociedad. El valor a largo plazo para la empresa incluye la construcción de una imagen corporativa verde y la obtención de ventajas competitivas en el mercado. La imagen corporativa verde es un tipo de *branding* en el que la empresa presenta sus productos y acciones como ecológicas y sostenibles (Xu y Lee, 2022). Para las empresas de gestión del agua, desarrollar una imagen de marca ecológica es más crucial en función del tipo de producto que venden en el mercado (Kraus et al., 2020; Anser et al., 2020). Si bien más del 70 % de la superficie de la Tierra está cubierta por agua, acceder a ella siempre ha sido un gran desafío para la mayoría de las comunidades (Vu et al., 2022). En México, por ejemplo, quienes viven en el centro y norte del país tienen acceso limitado a agua limpia y segura para beber (Crifo y Olvidar, 2015). La imagen corporativa verde permite a las empresas gestoras del agua demostrar su compromiso con la conservación de los recursos naturales como el agua. La imagen de marca verde también promueve una cultura organizacional ecológica donde todas las actividades y decisiones comerciales apoyan la conservación del medio ambiente.

Además de la imagen corporativa verde, las inversiones en las iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental también generan lo que se conoce como la obtención de ventajas competitivas. Una de las ventajas competitivas que una empresa puede derivar de sus actividades de responsabilidad social empresarial es la lealtad a la marca (Di Segni et al., 2015; Suska, 2021). La mayoría de las actividades de responsabilidad social empresarial están dirigidas a abordar los desafíos que afectan a una comunidad determinada (Xu et al., 2022). Por ejemplo, la eliminación de plásticos y otros contaminantes de los ríos y arroyos demuestra que una empresa se preocupa por el bienestar de la comunidad circundante. Tales actividades generan lealtad entre los consumidores que quieren asociarse con empresas comprometidas con la protección de su bienestar (Xu y Lee, 2022). Las empresas con fuertes inversiones en responsabilidad social corporativa ambiental tienen más probabilidades de disfrutar de la lealtad de los consumi-

dores que aquellas sin inversiones en responsabilidad social empresarial (Schill y Godefroit-Winkel, 2022; Ahmad et al., 2021). Otra ventaja competitiva que se deriva de las prácticas verdes es la eficiencia operativa y la reducción del costo de las operaciones (Sadiq et al., 2022). Además, los compromisos con la responsabilidad social corporativa ambiental promueven prácticas comerciales sostenibles. Esto crea oportunidades para que las empresas de gestión del agua operen sin temor a quedarse sin agua para atender a sus clientes.

1.3. Planificación e implementación de la responsabilidad social corporativa ambiental en México

La planificación e implementación de responsabilidad social corporativa ambiental comienza con la identificación de las necesidades de la comunidad circundante. Esto puede incluir la realización de investigaciones para determinar las preocupaciones más urgentes que una empresa puede abordar a través de iniciativas de responsabilidad social corporativa (Vu et al., 2022). Algunas de las preocupaciones incluyen la contaminación del agua, la escasez aguda y el socorro en casos de desastre, entre otros desafíos. Xu et al. (2022) encontraron que las empresas de gestión del agua brindan asistencia crítica a las comunidades que han sido devastadas por desastres naturales como inundaciones e incendios. El apoyo crítico incluye principalmente la provisión de agua limpia para beber, cocinar y saneamiento (Schill y Godefroit-Winkel, 2022). Otros tipos de apoyo pueden incluir la excavación de pozos en áreas afectadas por la sequía para ayudar a las comunidades locales a dar de beber a sus animales. La realización de análisis de necesidades también ayuda a las empresas de gestión del agua a determinar si el problema requiere una solución colectiva que incluya a las agencias gubernamentales (Sadiq et al., 2022). Vale la pena señalar que, debido a las limitaciones presupuestarias, las iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental generalmente están diseñadas para apoyar a pequeños grupos o comunidades, en lugar de grandes poblaciones.

El segundo y tercer paso implican invitar a las partes interesadas al proceso y considerar el presupuesto, respectivamente. Antes de implemen-

tar cualquier asistencia a la comunidad, la organización debe invitar a las partes interesadas que brinden más orientación sobre qué áreas específicas priorizar (Li y Wu, 2020; Di Segni et al., 2015). Las partes interesadas también ayudan a desarrollar el presupuesto y crear conciencia sobre la iniciativa de responsabilidad social empresarial (Alam y Islam, 2021). Las partes interesadas también pueden ayudar a proporcionar activos críticos, como terrenos que pueden ser necesarios para proyectos como la construcción de torres de agua para abastecer a quienes experimentan una escasez aguda (Anser et al., 2020). La fase final del proceso de planificación implica el desarrollo del presupuesto y su presentación para la aprobación de los ejecutivos. El presupuesto de la responsabilidad social corporativa ambiental debe ser un porcentaje razonable de la ganancia para evitar un posible rechazo por parte de los ejecutivos (Schill y Godefroit-Winkel, 2022). También hay casos en los que las organizaciones pueden trabajar con donantes y simpatizantes de una comunidad para expandir sus proyectos más allá del presupuesto inicial.

La responsabilidad social empresarial promueve la conservación del medio ambiente, protege a las comunidades vulnerables y promueve la responsabilidad social. Si bien las organizaciones no tienen la obligación de invertir sus recursos para apoyar a las comunidades locales, existe un creciente sentido de humanidad que impulsa a la mayoría de las empresas a operar de manera que promuevan el crecimiento empresarial y social (Xu et al., 2022).

Según Peña- Miranda et al. (2022), uno de los beneficios demostrados de la responsabilidad social ambiental es la conservación del medio ambiente, incluida la protección de las especies en peligro de extinción. En México, las actividades filantrópicas también protegen a las comunidades vulnerables del daño potencial de los desastres naturales, incluida la sequía (Kraus et al., 2020).

Las inversiones en iniciativas de responsabilidad social empresarial también promueven una cultura en la que las empresas piensan en los entornos y las comunidades en las que operan en lugar de centrarse únicamente en las ganancias (Sadiq et al., 2022). Si bien el impulso para generar ganancias sigue siendo el único propósito de las organizaciones comerciales, invertir en las comunidades locales y proteger el medio ambiente ha demostrado

ser una gran ventaja estratégica en lugar de centrarse únicamente en los ingresos.

2. Metodología

La metodología seleccionada para este estudio fue una revisión sistemática de la literatura, utilizando el enfoque narrativo. Se seleccionó la revisión sistemática porque es fácil de reproducir, completa y precisa al establecer los resultados. Las revisiones sistemáticas son exhaustivas porque extraen evidencia de varias fuentes. La mayoría de las pruebas utilizadas en la revisión generalmente provienen de investigaciones primarias, como ensayos y experimentos controlados aleatorios. Además de ser exhaustivas, las revisiones sistemáticas son precisas al establecer los resultados de un estudio. Por ejemplo, aquellos que buscan resultados particulares de la intervención pueden usar revisiones sistemáticas para evaluar los resultados. También es fácil reproducir los resultados obtenidos de una revisión sistemática ya que el método es sencillo y está documentado.

Dado que el estudio examinó las posibles iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental que las empresas en México pueden implementar, se obtuvieron datos de varios estudios anteriores con sugerencias sobre las iniciativas de responsabilidad social empresarial más apropiadas para proteger el medio ambiente. La investigación comenzó formulando una pregunta adecuada utilizando las palabras clave. Se utilizó un enfoque exploratorio para formular una pregunta apropiada para el estudio. La pregunta de investigación decía lo siguiente: “¿cuáles son las iniciativas ambientales de responsabilidad social corporativa más efectivas?” La pregunta se utilizó para buscar artículos en varias bases de datos en línea, incluidas *Water*, *Sustainability*, *ProQuest* y *Scopus*. Los resultados de la búsqueda mostraron más de 1000 artículos que utilizaban la palabra clave “responsabilidad social corporativa ambiental”. Sin embargo, la mayoría de los artículos eran repetitivos o no cumplían con los diversos requisitos de inclusión.

Se utilizó un método conocido como elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y metanálisis para reducir los artículos a un total de 44. Este modelo se basa en los criterios de inclusión y exclusión

especificados para seleccionar los artículos más apropiados necesarios para el estudio (Lee y Park, 2017). En este caso, los criterios de inclusión incluyeron relevancia para el tema, diseño del estudio, año de publicación (2011-2023) y validez y confiabilidad de la evidencia. Los 44 artículos restantes se analizaron más a fondo para identificar un total de 37 que se revisaron y se muestran en la sección de resultados. El estudio estuvo limitado en gran medida por el área cubierta por el tema y los resultados requeridos. Vale la pena señalar que los criterios de inclusión fueron predeterminados por los resultados esperados y las iniciativas de responsabilidad social corporativa ambiental propuestas. Ampliar la investigación más allá del alcance habría resultado en más artículos con resultados diversificados.

3. Resultados y su discusión

3.1. Relación de resultados

La siguiente relación muestra los resultados obtenidos de un total de 37 artículos que fueron evaluados y seleccionados para su posterior análisis. Los investigadores utilizaron un enfoque narrativo o en prosa para explicar los resultados obtenidos de los estudios anteriores seleccionados. Los autores de los artículos fueron los siguientes, los cuales sirvieron de base para desarrollar los puntos subsecuentes de esta sección de resultados y su discusión: Orlitzky et al. (2011), Post et al. (2011), Lioui y Sharma (2012), Rahman y Post (2012), Rashid et al. (2014), Liu et al. (2015), Shaukat et al. (2016), Lee y Park (2017), Wei et al. (2017), Chuang y Huang (2018), Ee et al. (2018), Xu et al. (2018), Han et al. (2019), Nie et al. (2019), Xu et al. (2019), Chang et al. (2020), Han et al. (2020), Hirose et al. (2020), Orazalin y Baydauletov (2020), Rela et al. (2020), Shabbir y Wisdom (2020), Tsalis et al. (2020), Alam y Islam (2021), Amorelli y García- Sánchez (2021), Forcadell et al. (2021), Wolniak et al. (2021), Zhou et al. (2021), Ahmed et al. (2022), Bárcena-Ruiz y Sagasta (2022), Godefroit-Winkel et al. (2022), Lahouel et al. (2022), Latif et al. (2022), Sadiq et al. (2022), Schill y Godefroit-Winkel (2022), Vu et al. (2022) Xu y Lee (2022) y Xu et al. (2022).

3.2. Responsabilidad ambiental

Los resultados indican tres propuestas de responsabilidad social corporativa ambiental cruciales para las empresas de gestión del agua en México. La primera propuesta se centra en diversas iniciativas encaminadas a promover la responsabilidad ambiental. Bajo esta propuesta, las principales iniciativas incluyen la reducción de prácticas nocivas, la regulación del consumo de energía y la reducción de los efectos ambientales negativos (Kraus et al., 2020; Li y Wu, 2020). Las responsabilidades ambientales también incluyen el apoyo a las comunidades afectadas por desastres naturales como incendios e inundaciones (Crifo y Forget, 2015). La responsabilidad ética consiste en promover la igualdad de trato para todas las partes interesadas, incluida la provisión de salarios dignos a los empleados (Di Segni et al., 2015; Xu y Lee, 2022). Las responsabilidades filantrópicas incluyen varios esfuerzos para promover el bienestar de las comunidades circundantes. Los esfuerzos filantrópicos pueden incluir el apoyo a la educación, la construcción de torres de agua para las comunidades afectadas y el apoyo a quienes no pueden acceder a agua potable limpia y segura, como las familias de la calle (Xu et al., 2022). Según Tsalis et al. (2020), las tres propuestas generales apoyan tanto el medio ambiente como el bienestar social. Las tres propuestas también aumentan las posibilidades de una organización de lograr el resultado final triple: personas, planeta y ganancias.

La responsabilidad ambiental es la creencia de que las organizaciones deben operar de manera que protejan el medio ambiente de posibles daños. El término “responsabilidad ambiental” refleja el entendimiento general de que toda organización tiene una responsabilidad natural de proteger el medio ambiente donde opera (Peña- Miranda et al., 2022). Por ejemplo, una empresa que procesa y vende agua embotellada o entubada debe operar de manera que no cause ningún daño al medio ambiente circundante, incluidos los bosques, ríos, lagos, arroyos, océanos y las comunidades circundantes (Kraus et al., 2020). La responsabilidad medioambiental indica una conciencia general del papel del medio ambiente en la promoción de las actividades empresariales (Vu et al., 2022). Por ejemplo, sería difícil para las empresas de gestión del agua procesar y vender sus productos básicos si el agua no existe de forma natural y en abundancia (Ee et al., 2018). Según

Shabbir y Wisdom (2020), el término responsabilidad ambiental también se ha utilizado para demostrar las obligaciones que tienen las organizaciones de asegurar que los lugares donde operan puedan sustentar la vida en su estado más natural.

Schill y Godefroit-Winkel (2022) argumentan que las organizaciones irresponsables tienden a operar de manera que exponen al entorno circundante al peligro, incluso de forma deliberada. En un momento, por ejemplo, una empresa bioquímica conocida como Monsanto permitió deliberadamente que los desechos tóxicos llegaran a los arroyos cerca de la ciudad de Anniston, en Alabama (Amorelli y García-Sánchez, 2021). Después de décadas de contaminación, la gente de Anniston se dio cuenta de que podrían haber estado expuestos a químicos tóxicos en el agua cuando vieron que los peces morían en grandes cantidades y los arroyos se volvían de un color amarillento (Li y Wu, 2020; Vu et al., 2022). Cuando se responsabilizó a la empresa por sus acciones, la vida de la gente de Anniston había sufrido daños significativos, algunos de los cuales nunca se recuperarían (Sadiq et al., 2022). La historia de Monsanto demuestra hasta qué punto las empresas irresponsables pueden destruir su entorno con sus acciones (Kraus et al., 2020; Suska, 2021). La historia también indica por qué se desarrolló el término “responsabilidad ambiental” para aumentar la conciencia sobre las obligaciones que las empresas tienen con el entorno que las rodea.

La responsabilidad ambiental busca restaurar la disciplina en las operaciones comerciales, al obligar a las empresas a rendir cuentas por sus acciones. Hoy en día, en muchos países, las empresas deben dar cuenta de la cantidad de emisiones de carbono que liberan a la atmósfera (Di Segni et al., 2015; Xu et al., 2022). En México, por ejemplo, se introdujo un impuesto al carbono en 2013 para responsabilizar a las empresas por la cantidad de dióxido de carbono que emiten a la atmósfera (Rela et al., 2020). La tasa base del impuesto al carbono es de \$3.5 por tonelada de emisiones de dióxido de carbono (Orazalin y Baydauletov, 2020; Rela et al., 2020). El papel del impuesto al carbono no es castigar a las empresas por sus operaciones, sino garantizar que las organizaciones sean responsables por la cantidad de daño que imponen al medio ambiente (Schill y Godefroit-Winkel, 2022). El impuesto al carbono también ha demostrado ser eficaz para impulsar a la mayoría de las empresas a considerar el uso de fuentes de energía limpias,

como la electricidad y la energía solar, para minimizar sus emisiones de carbono (Crifo y Forget, 2015). El impuesto al carbono es una de las estrategias que ayudan al gobierno a reducir la tasa de emisiones de carbono y proteger el medio ambiente de peligros potenciales.

Una de las acciones propuestas para potenciar la responsabilidad ambiental es la reducción de prácticas nocivas. Los ejemplos incluyen la reducción de la contaminación, las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo excesivo de agua y los plásticos de un solo uso. Forcadell et al. (2021) describen las prácticas nocivas como operaciones comerciales, productos o servicios que imponen un peligro para el medio ambiente. Un buen ejemplo es la reducción de acciones que puedan contaminar ríos, arroyos, océanos o lagos cercanos (Chuang y Huang, 2018). Las acciones que contaminan las aguas subterráneas, como el vertido de desechos tóxicos en vertederos, también deben eliminarse para proteger el medio ambiente (Peña- Miranda et al., 2022). La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero puede tomar muchos enfoques, incluido el reemplazo de los combustibles fósiles con fuentes de energía limpias (Xu y Lee, 2022). Las empresas de gestión del agua pueden utilizar fuentes limpias de energía para hacer funcionar las bombas de agua y las instalaciones de recuperación de aguas residuales (Anser et al., 2020). Además, las empresas de gestión del agua deben trabajar para reemplazar los plásticos de un solo uso con materiales ecológicos para minimizar el daño potencial al medio ambiente (Wei et al., 2017). Al reducir las prácticas nocivas, las organizaciones no solo protegen el medio ambiente, sino también a la gran cantidad de personas que dependen del medio ambiente para sobrevivir.

La segunda acción propuesta en materia de responsabilidad ambiental es regular el consumo de energía. Uno de los retos a los que se enfrentan las empresas gestoras del agua es el consumo excesivo de energía. Los proyectos como la recuperación y reutilización de aguas residuales son cruciales para la conservación del agua, pero son significativamente difíciles de mantener debido al consumo excesivo de energía (Hirose et al., 2020). Si bien la mayoría de los proyectos de recuperación de aguas residuales pueden producir energía limpia, solo pueden operar alrededor de una cuarta parte de la instalación durante unas pocas horas durante el día (Lee y Park, 2017). Una de las estrategias que puede ayudar a las organizaciones a regular el

consumo de energía es aumentar la dependencia de fuentes de energía renovables como la solar y la electricidad.

Las fuentes de energía renovable, como la solar, son sostenibles y es más probable que ayuden a las organizaciones a reducir el costo de las operaciones (Vu et al., 2022). El mayor uso de materiales reciclados es otra estrategia que las organizaciones pueden utilizar para regular su consumo de energía (Di Segni et al., 2015). Dado que se necesita una cantidad significativa de energía para producir nuevos productos, el reciclaje brinda la oportunidad de reducir la presión sobre las fuentes de energía.

La tercera propuesta en línea con la responsabilidad ambiental es compensar los efectos ambientales negativos que ya se están presenciando. Wolniak et al. (2021) argumentan que el medio ambiente ha sufrido daños significativos que pueden tardar demasiado en revertirse. Sin embargo, cada esfuerzo que las organizaciones estén dispuestas a realizar para restaurar algunos de los daños puede ser significativamente importante para el medio ambiente (Han et al., 2020). Una de las acciones que puede ayudar a las organizaciones a corregir el daño ambiental es plantar árboles (Kraus et al., 2020). A lo largo de décadas o siglos, los humanos han talado vastas porciones de bosques para crear tierras para la agricultura, el asentamiento y la industrialización (Crifo y Forget, 2015). El efecto no solo ha dejado tierras yermas que no pueden atraer la lluvia, sino que también ha llevado a algunas partes del mundo a la desertificación. Plantar árboles restauraría los paisajes verdes e impulsaría el ciclo hidrológico necesario para crear patrones de lluvia estables (Shaukat et al., 2016). Las empresas de gestión del agua deben centrarse en plantar árboles porque potenciaría las fuentes naturales de agua y reduciría la escasez actual.

Otras acciones propuestas incluyen la financiación de la investigación y la donación a organizaciones y causas ambientales relacionadas. Las organizaciones pueden financiar investigaciones sobre la contaminación del agua, la contaminación del aire y otras formas de degradación ambiental (Xu et al., 2022). El propósito de dichos estudios es proporcionar evidencia sobre las causas y los efectos en relación con la contaminación ambiental (Chang et al., 2020). Por ejemplo, la investigación puede centrarse en los desechos plásticos y el tipo de daño que representan para la vida acuática y la higiene general del agua. Además de invertir en investigación, las orga-

nizaciones también pueden apoyar otras causas relacionadas con el medio ambiente mediante donaciones y otras formas de apoyo físico (Vu et al., 2022). Invertir en causas relacionadas con el medio ambiente es casi similar a invertir en los mismos proyectos utilizando presupuestos internos (Liu et al., 2015). Sin embargo, uno de los principales beneficios de las donaciones es que reúne recursos y evita las restricciones presupuestarias que pueden limitar los esfuerzos de una organización para proteger el medio ambiente.

3.3. Responsabilidad ética

La responsabilidad ética es la creencia de que las empresas deben operar de acuerdo con los estándares morales de la sociedad. La moralidad examina lo que es bueno y malo y cómo las operaciones comerciales pueden ser percibidas en el espectro “malo” o “bueno” por las partes interesadas (Li y Wu, 2020; Di Segni et al., 2015). La responsabilidad ética se centra en actuar de manera que promuevan el bien común. Las organizaciones generalmente obtienen sus políticas éticas de varias fuentes, incluidas las industrias en las que operan (Zhou et al., 2021). La responsabilidad ética infunde un sentido de obligación en las empresas para operar de manera que minimicen el daño a las partes interesadas. Las empresas también pueden enfrentarse a desafíos importantes, como enfrentarse a demandas si sus operaciones comerciales están vinculadas a efectos negativos del medio ambiente para la humanidad (Kraus et al., 2020). Por ejemplo, en el caso de Monsanto mencionado anteriormente, la empresa enfrentó acciones legales por sus acciones que se consideraron tanto poco éticas como ilegales (Xu et al., 2019). No fue ético porque la empresa entendió la naturaleza tóxica de los productos químicos y aun así permitió que se desecharan en los arroyos y ríos cercanos, causando daños significativos a la vida acuática y de las personas.

Las propuestas bajo la responsabilidad ética incluyen la promoción de la justicia para todas las partes interesadas, el abastecimiento ético de materias primas y evitar la codicia o el egoísmo. Las organizaciones deben operar de manera que promuevan la equidad para todas las partes interesadas (Bárcena-Ruiz y Sagasta, 2022). Según Anser et al. (2020), esto se puede lograr mediante la evaluación de los efectos potenciales de una acti-

vidad, decisión o política comercial en todas las partes interesadas. La realización de un análisis de las partes interesadas permite a las empresas comprender cómo sus acciones afectarían a cada parte interesada, tanto a corto como a largo plazo (Crifo y Forget, 2015).

El análisis de las partes interesadas también permite a las organizaciones determinar quiénes están a favor o en contra de sus proyectos y la influencia que tienen sobre otras partes interesadas (Rashid et al., 2014). Por ejemplo, al emprender proyectos como la excavación de tuberías subterráneas para suministrar agua, una organización debe realizar un análisis de las partes interesadas para determinar cómo afectaría el proyecto a cada una. Por ejemplo, es probable que el proyecto ocupe tierras que pertenecen a algunas comunidades o pase por tierras sagradas protegidas (Schill y Godefroit-Winkel, 2022). Ser justo también implica limitar los efectos negativos involucrando a los actores afectados o desarrollando compensaciones adecuadas por los daños potenciales causados.

La segunda parte de la responsabilidad ética es obtener materias primas de organizaciones responsables. Las responsabilidades éticas también incluyen asumir la responsabilidad por acciones que pueden poner en riesgo la vida de las personas o causar daños a la dignidad humana. Según Vu et al. (2022), uno de los desafíos que enfrentan las empresas es no examinar el origen de sus materias primas. Muchas organizaciones multinacionales tienen demandas en varias partes del mundo donde han sido acusadas de diversas atrocidades, incluido el apoyo al trabajo infantil, la esclavitud y la contaminación ambiental (Peña- Miranda et al., 2022). México es uno de los países con organizaciones multinacionales cuyas operaciones se han asociado con el trabajo infantil o la esclavitud (Nie et al., 2019). Para superar tales acusaciones, es apropiado que las organizaciones evalúen los comportamientos de sus proveedores para evitar ser asociados con organizaciones cuyas actividades causan daños significativos al medio ambiente o ponen en riesgo millones de vidas (Di Segni et al., 2015). Según Xu y Lee (2022), también es más probable que los consumidores eviten las organizaciones cuyas actividades comerciales están asociadas con la esclavitud, el trabajo infantil o la trata de personas.

Además del abastecimiento ético, las organizaciones también deben evitar acciones o políticas que representen la codicia y el egoísmo. Ejemplos

de tales actividades o políticas son el pago de salarios a los empleados muy por debajo de sus servicios o las horas dedicadas al lugar de trabajo (Rahman y Post, 2012). La explotación laboral ocurre cuando las organizaciones se niegan deliberadamente a ofrecer salarios razonables a sus empleados a pesar de generar ingresos significativos de sus actividades comerciales (Xu et al., 2022). Otras acciones que representan el egoísmo y la codicia están tratando de usar atajos para limitar el costo de las operaciones. Esto puede incluir el uso de materiales de calidad inferior y tomar más tiempo para reparar los daños y mejorar el lugar de trabajo para limitar los peligros potenciales que enfrenta la fuerza laboral (Crifo y Forget, 2015). La responsabilidad ética requiere que las organizaciones limiten las acciones y decisiones que pueden causar daño a otros mientras ayudan a la organización a generar más ingresos (Anser et al., 2020). También es crucial que las empresas examinen periódicamente el impacto general de sus actividades comerciales en las partes interesadas (Bárcena-Ruiz y Sagasta, 2022). Las acciones o decisiones que causan daño al medio ambiente no solo son poco éticas, sino que también pueden ser ilegales.

3.4. Iniciativas filantrópicas

Según Vu et al. (2022), la responsabilidad filantrópica se refiere al deseo de una organización de hacer de la sociedad un lugar mejor. Además de ser ética y ambientalmente responsables, las organizaciones también pueden estar impulsadas por el deseo de construir mejores comunidades o resolver problemas específicos que afectan a una comunidad determinada (Lioui y Sharma, 2012). Por ejemplo, una organización puede decidir construir una clínica de atención médica en una comunidad donde el acceso a la atención es problemático debido a la escasez de hospitales (Post et al., 2011). Incluso si una organización está en el negocio de la gestión del agua, las iniciativas filantrópicas pueden enfocarse en resolver problemas que no están relacionados en absoluto con el curso comercial (Han et al., 2019). Una de las razones que puede impulsar a las organizaciones a convertirse en filantrópicas es el deseo de promover la buena salud en las comunidades donde operan (Kraus et al., 2020). Las actividades filantrópicas también pueden

mejorar la imagen general de una organización con las comunidades circundantes (Godefroit-Winkel et al., 2022). Por ejemplo, una organización que opera en un país extranjero puede usar actividades filantrópicas para ganarse el cariño de los locales ayudándolos a resolver problemas.

Una de las organizaciones que demuestra cómo volverse filantrópica es *NatWest Group* que ha dedicado un *Giving Tuesday* para permitir que sus empleados den su voz y donaciones a una causa preferida (Xu y Lee, 2022). *NatWest* permite a sus empleados invertir en programas específicos en sus comunidades que apoyan una causa preferida, como la lucha contra el racismo, la discriminación o las enfermedades (Sadiq et al., 2022; Xu et al., 2018). La organización también apoya a sus empleados mediante donaciones a las organizaciones de su elección. En México, las empresas de gestión del agua también pueden emular actividades similares al invertir en proyectos que son cruciales para las comunidades aledañas, incluso si no se alinean con sus objetivos y prácticas comerciales (Lioui y Sharma, 2012). *Coca-Cola* también ha invertido en varias iniciativas filantrópicas, incluida la construcción de depósitos de agua para aumentar el suministro de agua en comunidades que enfrentan una escasez aguda o se ven afectadas por desastres (Vu et al., 2022). *Phillips Electronics* es otra organización que ha invertido en la creación de clínicas de salud para apoyar a las comunidades que experimentan un acceso deficiente a la atención (Li y Wu, 2020). La responsabilidad filantrópica demuestra que una organización es consciente de los problemas que afectan a las comunidades aledañas.

3.5. Responsabilidad económica

La responsabilidad económica es parte de la responsabilidad social corporativa ambiental porque las empresas deben permanecer fieles a su obligación general de generar ingresos mientras protegen el medio ambiente donde operan. El enfoque de triple resultado argumenta que las empresas pueden lograr la sostenibilidad económica y ambiental invirtiendo en las personas, el planeta y las ganancias (Xu et al., 2018). Invertir en las personas incluye capacitar a la fuerza laboral, pagar mejores salarios, contratar personal talentoso y apoyar a las comunidades locales (Orlitzky et al., 2011). Las inver-

siones de las personas también incluyen poner más dinero en organizaciones benéficas locales y programas educativos para mejorar el bienestar de las comunidades circundantes (Anser et al., 2020; Crifo y Forget, 2015). El argumento económico detrás de la inversión de las personas es que es más probable que los empleados cumplan cuando sus organizaciones escuchan y resuelven sus desafíos (Post et al., 2011). Es más probable que una fuerza laboral motivada ayude a las organizaciones a generar más ingresos que una fuerza laboral menos motivada.

Las inversiones en el planeta incluyen reducir la contaminación y reemplazar los combustibles fósiles con fuentes limpias de energía. El argumento económico detrás de la inversión en el planeta es que las empresas deben mantener los recursos naturales para respaldar sus operaciones actuales y futuras (Di Segni et al., 2015; Lioui y Sharma, 2012). La sostenibilidad ambiental respalda los ingresos comerciales y crea oportunidades para el crecimiento futuro (Kraus et al., 2020). Para las empresas de gestión del agua, el mantenimiento de los recursos naturales es crucial porque respalda las operaciones comerciales actuales y futuras (Lahouel et al., 2022). Las empresas solo pueden seguir siendo sostenibles si el entorno en el que operan respalda sus operaciones. La degradación ambiental puede causar varios desafíos, incluido el crecimiento de enfermedades y epidemias, un aumento de los desastres naturales y la destrucción masiva de los medios de vida de las personas (Xu y Lee, 2022). Es muy difícil para las empresas sobrevivir o generar recursos en un entorno completamente agotado.

Mientras mantienen la responsabilidad ética y ambiental, las empresas no deben perder de vista su obligación general de generar ingresos y ganancias para sus partes interesadas. La responsabilidad económica examina la capacidad de las organizaciones para tomar decisiones financieras basadas en su compromiso de hacer el bien (Peña- Miranda et al., 2022; Di Segni et al., 2015). Además, la responsabilidad económica puede ayudar a las empresas a generar más ganancias al enfocarse en reducir el desperdicio, mejorar la productividad y la mejora continua (Di Segni et al., 2015). Para que las organizaciones generen más ingresos, deben buscar formas de reducir el desperdicio, incluido el tiempo dedicado a operaciones innecesarias (Latif et al., 2022). La reducción de residuos también protege los recursos naturales del agotamiento potencial, mejorando la sostenibilidad ambiental

(Xu et al., 2022). La conexión general entre las ganancias y la sustentabilidad hace necesario que las organizaciones sigan mejorando sus operaciones utilizando las últimas tecnologías y los modelos comerciales emergentes destinados a reducir el desperdicio.

4. Conclusiones

El creciente interés en la responsabilidad social corporativa ambiental indica una mayor conciencia sobre la conexión entre la responsabilidad social empresarial, la imagen corporativa y el éxito económico. La mayoría de los gerentes entienden el impacto de la responsabilidad social corporativa en la imagen de su empresa y en los ingresos generales. Además, la responsabilidad social corporativa ambiental busca promover la conservación del medio ambiente al tiempo que aumenta las oportunidades de crecimiento económico y sostenibilidad. Las inversiones en responsabilidad social corporativa ambiental permiten a las organizaciones construir una imagen corporativa verde y ventajas competitivas verdes. La imagen corporativa verde es la buena imagen que las organizaciones derivan de sus actividades que demuestran el cuidado del medio ambiente y el bienestar de las comunidades aledañas. La imagen corporativa verde muestra que las organizaciones son conscientes de la necesidad de hacer algo más que generar ganancias para sus propietarios. La obtención de ventajas competitivas son las ventajas que las empresas pueden generar a partir de sus inversiones en responsabilidad social corporativa ambiental, incluida una mayor lealtad entre los clientes. Tanto la obtención de ventajas competitivas como la imagen corporativa verde permiten a las organizaciones generar más ganancias mientras protegen el medio ambiente de posibles daños.

Las propuestas de responsabilidad social corporativa ambiental para las empresas mexicanas se pueden categorizar en responsabilidad ambiental, responsabilidad ética, responsabilidad económica e iniciativas filantrópicas. La responsabilidad ambiental recuerda a las organizaciones su obligación de operar de manera que se proteja el medio ambiente de posibles daños, como los efectos por el cambio climático. Las propuestas de responsabilidad ambiental incluyen la reducción de prácticas comerciales dañinas, la regu-

lación del consumo de energía y la compensación de los efectos negativos de la degradación ambiental. La responsabilidad ética recuerda a las organizaciones su obligación de operar de manera que promuevan la equidad para todos. Las propuestas de responsabilidad ética incluyen ser justo con todas las partes interesadas, el abastecimiento ético de materias primas y evitar la codicia o el egoísmo. Las iniciativas filantrópicas incluyen la inversión en fuentes alternativas de energía y el apoyo a causas relacionadas con el medio ambiente a través de donaciones. La investigación también propone una responsabilidad económica que se puede implementar utilizando el enfoque de triple resultado, centrándose en las personas, el planeta y las ganancias.

Por último, se requiere indagar más sobre las propuestas planteadas y su operación en las empresas para contribuir significativamente a fortalecer el compromiso de las empresas con la responsabilidad social corporativa ambiental.

5. Referencias

- Ahmad, Z., Chao, L., Chao, W., Iqbal, W., Muhammad, S., y Ahmed, S. (2022). Assessing the performance of sustainable entrepreneurship and environmental corporate social responsibility: revisited environmental nexus from business firms. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 21426–21439. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17163-5>
- 2 Alam, S. M., y Islam, K. M. (2021). Examining the role of environmental corporate social responsibility in building green corporate image and green competitive advantage. *International Journal of Corporate Social Responsibility*, 6(8), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40991-021-00062-w>
- 12 Amorelli, M. F. y García-Sánchez, I. M. (2021). Trends in the dynamic evolution of board gender diversity and corporate social responsibility. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 28(2), 537-554. <https://doi.org/10.1002/csr.2079>
- Anser, M. K., Yousaf, Z., Majid, A., y Yasir, M. (2020). Does corporate social responsibility commitment and participation predict environmental and social performance? *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(6), 2578-2587. <https://doi.org/10.1002/csr.1977>
- Bárcena-Ruiz, J. C., y Sagasta, A. (2022). International trade and environmental corporate social responsibility. *Energy Economics*, 115, pp. 106-104. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106104>
- 2 Chang, T. W., Yeh, Y. L., y Li, H. X. (2020). How to shape an organization's sustainable

- green management performance: The mediation effect of environmental corporate social responsibility. *Sustainability*, 12(21), pp. 91-98. <https://doi.org/10.3390/su12219198>
- Chuang, S. P., y Huang, S. J. (2018). The effect of environmental corporate social responsibility on environmental performance and business competitiveness: The mediation of green information technology capital. *Journal of Business Ethics*, 150, 991-1009. <https://doi.org/10.1007/s10551-016-3167-x>
- Crifo, P., y Forget, V. D. (2015). The economics of corporate social responsibility: A firm-level perspective survey. *Journal of Economic Surveys*, 29(1), 112-130. <https://doi.org/10.1111/joes.12055>
- DiSegni, D. M., Huly, M., y Akron, S. (2015). Corporate social responsibility, environmental leadership, and financial performance. *Social Responsibility Journal*, 11(1), 131-148. <https://doi.org/10.1108/SRJ-02-2013-0024>
- Ee, M. S., Chao, C. C., Wang, L. F., y Eden, S. H. (2018). Environmental corporate social responsibility, firm dynamics, and wage inequality. *International Review of Economics & Finance*, 56, 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2018.03.018>
- Forcadell, F. J., Úbeda, F., y Aracil, E. (2021). Effects of environmental corporate social responsibility on innovativeness of Spanish industrial SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120355. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120355>
- Godefroit-Winkel, D., Schill, M., y Diop-Sall, F. (2022). Does environmental corporate social responsibility increase consumer loyalty? *International Journal of Retail & Distribution Management*, 50(4), 417-436. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-08-2020-0292>
- Han, H., Chua, B. L., Ariza-Montes, A., y Untaru, E. N. (2020). Effect of environmental corporate social responsibility on green attitude and norm activation process for sustainable consumption: Airline versus restaurant. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(4), 1851-1864. <https://doi.org/10.1002/csr.1931>
- Han, H., Yu, J., y Kim, W. (2019). Environmental corporate social responsibility and the strategy to boost the airline's image and customer loyalty intentions. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 36(3), 371-383. <https://doi.org/10.1080/10548408.2018.1557580>
- Hirose, K., Lee, S. H., y Matsumura, T. (2020). Noncooperative and cooperative environmental corporate social responsibility. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 176(3), 549-571. <https://doi.org/10.1628/jite-2020-0035>
- Kraus, S., Rehman, S. U., y García, F. J. S. (2020). Corporate social responsibility and environmental performance: The mediating role of environmental strategy and green innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 160, 120262. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120262>
- Lahouel, B. B., Zaied, Y. B., Managi, S., y Taleb, L. (2022). Re-thinking about U: The relevance of regime-switching model in the relationship between environmental corporate social responsibility and financial performance. *Journal of Business Research*, 140, 498-519. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.11.019>
- Latif, B., Gunarathne, N., Gaskin, J., San Ong, T., y Ali, M. (2022). Environmental corpo-

- rate social responsibility and pro-environmental behavior: The effect of green shared vision and personal ties. *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106-572. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106572>
- Lee, S. H., y Park, C. H. (2017). Eco-firms and the sequential adoption of environmental corporate social responsibility in the managerial delegation. *The BE Journal of Theoretical Economics*, 19(1). <https://doi.org/10.1515/bejte-2017-0043>
- Li, J., y Wu, D. (2020). Do corporate social responsibility engagements lead to real environmental, social, and governance impact? *Management Science*, 66(6), 2564-2588. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2019.3324>
- 6 Lioui, A., y Sharma, Z. (2012). Environmental corporate social responsibility and financial performance: Disentangling direct and indirect effects. *Ecological Economics*, 78, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.004>
- Liu, C. C., Wang, L. F., y Lee, S. H. (2015). Strategic environmental corporate social responsibility in a differentiated duopoly market. *Economics Letters*, 129, 108-111. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2015.02.027>
- Nie, P. Y., Wang, C., y Meng, Y. (2019). An analysis of environmental corporate social responsibility. *Managerial and Decision Economics*, 40(4), 384-393. <https://doi.org/10.1002/mde.3009>
- 12 Orazalin, N., y Baydauletov, M. (2020). Corporate social responsibility strategy and corporate environmental and social performance: The moderating role of board gender diversity. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(4), 1664-1676. <https://doi.org/10.1002/csr.1915>
- 17 Orlitzky, M., Siegel, D. S., y Waldman, D. A. (2011). Strategic corporate social responsibility and environmental sustainability. *Business & Society*, 50(1), 6-27. <https://doi.org/10.1177/0007650310394323>
- Peña-Miranda, D. D., Guevara-Plaza, A., Fraiz-Brea, J. A., y Camilleri, M. A. (2022). Corporate social responsibility model for a competitive and resilient hospitality industry. *Sustainable Development*, 30(3), 433-446. <https://doi.org/10.1002/sd.2259>
- 8 Post, C., Rahman, N., y Rubow, E. (2012). Green governance: Boards of directors' composition and environmental corporate social responsibility. *Business & Society*, 50(1), 189-223. <https://doi.org/10.1177/0007650310394642>
- Rahman, N., y Post, C. (2012). Measurement issues in environmental corporate social responsibility (ECSR): Toward a transparent, reliable, and construct valid instrument. *Journal of Business Ethics*, 105, 307-319. <https://doi.org/10.1007/s10551-011-0967-x>
- 2 Rashid, N. R. N. A., Rahman, N. I. A., y Khalid, S. A. (2014). Environmental corporate social responsibility (ECSR) as a strategic marketing initiative. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 130, 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.058>
- 12 Rela, I. Z., Awang, A. H., Ramli, Z., Md Sum, S., y Meisanti, M. (2020). Effects of environmental corporate social responsibility on environmental well-being perception and the mediation role of community resilience. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(5), 2176-2187. <https://doi.org/10.1002/csr.1956>
- Sadiq, M., Nonthapot, S., Mohamad, S., Chee Keong, O., Ehsanullah, S., y Iqbal, N.

- (2022). Does green finance matter for sustainable entrepreneurship and environmental corporate social responsibility during COVID-19? *China Finance Review International*, 12(2), 317-333. <https://doi.org/10.1108/CFRI-02-2021-0038>
- Schill, M., y Godefroit-Winkel, D. (2022). Consumer responses to environmental corporate social responsibility and luxury. *Journal of Services Marketing*, 36(6), 769-780. <https://doi.org/10.1108/JSM-11-2020-0472>
- 6 Shabbir, M. S., y Wisdom, O. (2020). The relationship between corporate social responsibility, environmental investments, and financial performance: evidence from manufacturing companies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 39946-39957. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10217-0>
- 61 Shaukat, A., Qiu, Y., y Trojanowski, G. (2016). Board attributes, corporate social responsibility strategy, and corporate environmental and social performance. *Journal of Business Ethics*, 135, 569-585. <https://doi.org/10.1007/s10551-014-2460-9>
- Suska, M. (2021). Environmental Corporate Social Responsibility (ECSR) on the Example of Polish Champion Oil, Gas and Mining Companies. *Sustainability*, 13(11), 61-79. <https://doi.org/10.3390/su13116179>
- 70 Tsalis, T. A., Nikolaou, I. E., Konstantakopoulou, F., Zhang, Y., y Evangelinos, K. I. (2020). Evaluating the corporate environmental profile by analyzing corporate social responsibility reports. *Economic Analysis and Policy*, 66, 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.02.009>
- 2 Vu, D. M., Ha, N. T., Ngo, T. V. N., Pham, H. T., y Duong, C. D. (2022). Environmental corporate social responsibility initiatives and green purchase intention: an application of the extended theory of planned behavior. *Social Responsibility Journal*, 18(8), 1627-1645. <https://doi.org/10.1108/SRJ-06-2021-0220>
- 19 Wei, Z., Shen, H., Zhou, K. Z., y Li, J. J. (2017). How does environmental corporate social responsibility matter in a dysfunctional institutional environment? Evidence from China. *Journal of Business Ethics*, 140, 209-223. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2704-3>
- Wolniak, R., Wyszomirski, A., Olkiewicz, M., y Olkiewicz, A. (2021). Environmental corporate social responsibility activities in heating industry—case study. *Energies*, 14(7), 19-30. <https://doi.org/10.3390/en14071930>
- Xu, J., Wei, J., y Lu, L. (2019). Strategic stakeholder management, environmental corporate social responsibility engagement, and financial performance of stigmatized firms derived from Chinese special environmental policy. *Business Strategy and the Environment*, 28(6), 1027-1044. <https://doi.org/10.1002/bse.2299>
- Xu, L., y Lee, S. H. (2022). Non-cooperative and cooperative environmental corporate social responsibility with emission taxes. *Managerial and Decision Economics*, 43(7), 2849-2862. <https://doi.org/10.1002/mde.3567>
- Xu, L., Chen, Y. y Lee, S. H. (2022). Emission tax and strategic environmental corporate social responsibility in a Cournot–Bertrand comparison. *Energy Economics*, 107, 105-846. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105846>
- Xu, X., Zeng, S., y Chen, H. (2018). Signaling good by doing good: How does environ-

mental corporate social responsibility affect international expansion? *Business Strategy and the Environment*, 27(7), 946-959. <https://doi.org/10.1002/bse.2044>

Zhou, P., Arndt, F., Jiang, K., y Dai, W. (2021). Looking backward and forward: Political links and environmental corporate social responsibility in China. *Journal of Business Ethics*, 169, 631-649. <https://doi.org/10.1007/s10551-020-04495-4>

2. Enfoque de las políticas públicas frente a la crisis del cambio climático*



MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ**

HÉCTOR GUADALUPE RAMÍREZ ESCAMILLA***

MARTÍN CUTBERTO VERA MARTÍNEZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.02>

Resumen

El presente capítulo tiene el objetivo de incorporar algunas ideas de las ciencias sociales y las políticas públicas sobre el cambio climático. Las secciones ponen de relieve ideas sobre las dimensiones: política, de gobernanza y de justicia del cambio climático. La investigación se realiza con artículos más citados open access, durante 2010-2024, que centran su investigación en el cambio climático y el aspecto social. Los resultados nos llevan a que la literatura se basa generalmente en cambios tecnológicos, modelos socioeconómicos y biogeofísicos, sin embargo, perdura la idea de que una técnica o elemento funciona por sí solo, es decir, que su idoneidad para su adopción puede entenderse aisladamente de los acuerdos sociales y políticos que requiere su implementación. En la conclusión analizamos porqué los temas y las ideas que hemos identificado describen las tendencias reduccionistas en

* Capítulo derivado del proyecto de investigación del Instituto Politécnico Nacional SIP: 20240927.

** Doctora en Política Pública. Profesora-investigadora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), del Instituto Politécnico Nacional, México. Correspondencia: mcmartinezr@ipn.mx ; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>

*** Estudiante de Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-4644>

**** Doctor en Gobierno y Administración Pública, Universidad Complutense de Madrid. Profesor-investigador de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3415-9357>

la producción de conocimientos ambientales y las conveniencias de formulación de políticas a las que sirven como una forma de despolitización, argumentando que limita el espacio de deliberación pública sobre políticas controvertidas y da prioridad a una lógica gerencial donde la toma de decisiones se considera competencia exclusiva de expertos y tecnócratas. Al hacerlo, excluye oportunidades para un cambio social, político y económico más radical y sirve para defender y reproducir intereses dominantes.

Palabras clave: *gobernanza, políticas ambientales, inclusión social, intereses económicos, cambio climático.*

1. Introducción

Las políticas sobre el cambio climático no toman en cuenta la dinámica contextual, subestiman los factores y barreras que complican el proceso y, por lo tanto, las comunidades y las perspectivas de los pueblos indígenas, entre otros, se vuelven invisibles al considerar que ciertas tierras están infrautilizadas y, por lo tanto, son adecuadas, por ejemplo, como sumideros de carbono, parques eólicos, áreas naturales protegidas, ignorando las complejas prácticas de uso de la tierra de las comunidades locales e indígenas.

En otros casos, los discursos sobre el clima se basan en marcos simplistas de la deforestación y degradación de la tierra que singularizan el uso de los recursos por parte de los pequeños agricultores pobres y restan importancia a los impulsores más sistémicos del cambio ambiental, las grandes organizaciones, las empresas transnacionales. En diversos lugares de México los ejidatarios, comuneros o los propietarios de las tierras son orillados a rentar, vender, o se las expropián legitimando el uso de la violencia con el fin de excluir y para dar paso a otros que explotan los recursos bajo acuerdos muy desiguales y perniciosos.

Estos ejemplos ilustran como las comprensiones dominantes y globales de la realidad social y ecológica no son inocentes, tienden a desplazar formas de conocimiento más diversas, basadas en el lugar y matizadas, y pueden legitimar intervenciones potencialmente contraproducentes. Subrayan la necesidad de estar atentos a como las prácticas científicas relativas al cambio

climático y las “soluciones climáticas naturales” crean condiciones en la que las personas, los ecosistemas y los problemas ambientales se presentan de manera reductiva, así como los efectos que estos genera. Las capacidades desiguales para acceder a las tecnologías que lo sustentan les dan a ambos un carácter exclusivo (Carton et al., 2020)

Esto crea barreras a la participación en la creación e interpretación de conocimientos para los actores del sur global (países en vías de desarrollo) lo que plantea interrogantes sobre quién o que es reconocido, los pueblos indígenas y las comunidades locales suelen ser retratados como los más afectados por el cambio climático, por su papel en la reformulación de los marcos que guían las evaluaciones y los sistemas siguen siendo limitados.

Una literatura cada vez mayor destaca que existen oportunidades para que una variedad de actores no especialistas utilicen métodos de contabilidad global y se apropien, transformen o readapten técnicas y marcos científicos para promover sus propios intereses (Carton et al., 2020)

Las soluciones hasta hoy dadas para el cambio climático son herramientas tecnocráticas que dan prioridad a las soluciones técnicas y económicas, mientras que dejan de lado el cambio de comportamiento o las intervenciones regulatorias directas.

Como modelo a escala global, se ha descubierto que subestiman las complejidades ecológicas, las barreras socioeconómicas para la implementación, las preocupaciones de justicia social y las muchas otras compensaciones involucradas en la implementación a gran escala de soluciones concretas. Las investigaciones sobre cambio climático en general siguen estando dominados por científicos del norte global (países desarrollados), lo que plantea preguntas sobre qué escenarios y supuestos terminan articulando estos modelos (Carton et al., 2020).

Las soluciones al cambio climático, en el área social deben de ser trabajadas con rendición de cuentas y transparencia. Hasta hoy el conocimiento climático solo sirve a ciertos intereses, pero margina a otros, como la perspectiva basada en derechos que priorizan los defensores de la justicia ambiental o los tipos de conocimiento y experiencias articulados por diferentes indígenas. Hay otras formas de entender, analizar y representar tanto el cambio climático que probablemente sean ejecutorias de diferentes tipos de políticas.

Hasta este momento se ha reducido los estudios de cambio climático a la dependencia casi exclusiva de los modelos tecnoeconómicos para construir escenarios climáticos futuros. No se hacen justicia a la complejidad de las relaciones sociales y económicas de uso de suelo en diferentes entornos geográficos. Se requiere pensamiento a largo plazo y un cambio profundo en las economías políticas nacionales e internacionales lo que contradice las concepciones simplificadas del cambio social incorporadas como los pagos por servicios ecosistémicos.

La primera parte del capítulo esboza las políticas que se han dictado para el cambio climático, la segunda parte analiza como estas se dirigen para mantener un status quo de determinados sectores y la tercera las posibles propuestas que tenemos sobre el tema. Hasta el momento la parte introductoria nos ha llevado al punto de que las políticas ambientales tomadas para minorar la crisis climática responden a ciertos intereses, están sesgadas, manejan el determinismo tecnológico, la segunda parte del capítulo corresponde a la metodología del trabajo basada en los artículos más citados en la materia y lo que de ellos hemos obtenido para dar paso a la discusión y la propuesta que se realiza. Sin duda lo expuesto en el capítulo es un enfoque desafiante y complejo de la crisis climática.

2. Las desigualdades de las políticas ambientales

La gobernanza de los recursos, lejos de lo escrito y descrito en las leyes, en la práctica es decepcionante o incluso negativa se arraigan las desigualdades locales existentes o desestabilizan las economías locales, mientras que los incentivos locales prometidos comúnmente no se han materializado de manera significativa.

En los esquemas basados en el mercado, en particular, la promesa de eficiencia impulsa la búsqueda de economías de escala, que a menudo se manifiestan en prejuicios contra los pequeños agricultores e intentos de agrupar a las comunidades locales de manera que se privilegien a los grupos dominantes y desviar beneficio de los más pobres. Las políticas para la creación de empleo en diversas localidades privilegian la tenencia de la tierra para las grandes empresas transnacionales que bajo concesiones desiguales

en el uso de los recursos provocan daños irreparables a los lugareños, es un despojo legal de los recursos justificando económicamente su actuar.

Las políticas públicas actuales corren el riesgo de arraigar desigualdades socioeconómicas y sostener y reproducir una geografía desigual de indigencia y prosperidad económicas. La perspectiva de los tomadores de decisiones y las comunidades locales son muy diferentes en relación con los impactos sociales y ambientales.

La crisis climática ha aumentado por: la extracción continua de los recursos basada en la tierra, un consumo desenfrenado por parte de los países desarrollados, al tiempo que crea exclusiones y restringe las oportunidades de los países en desarrollo. Los esfuerzos nulos de mitigación llevan a un mayor calentamiento global que tendrá impactos negativos desproporcionados en las regiones más pobres del mundo. Las experiencias de compensación indican que la mayoría de las ganancias económicas de esos proyectos probablemente se vayan de vuelta a los países desarrollados, a través de consultoría internacional, costos administrativos para organizaciones internacionales e incluso ganancias internacionales, ganancias legales de estafadores de carbono. Los proyectos también pueden estancarse o fracasar precisamente porque son inaceptables a nivel local.

Los estudios han demostrado como las burocracias y las instituciones de educación superior se convierten en sitios donde se reproducen normas universalizadoras y en algunos casos, contraproducentes. Las investigaciones en ciencias sociales, donde se encuentra un cuerpo extenso y empírico de investigaciones, siguen siendo prácticamente ignoradas, tornadas irrelevantes, tal vez por un enfoque de investigación dominante en promesas futuras, políticas novedosas, agendas y potenciales tecnoeconómicos. Las políticas de cambio climático sirven a las ambiciones políticas tecnocráticas al adoptar perspectivas de escala global que pasan por alto la diversidad ecológica y socioeconómica (Carton et al., 2020)

3. Metodología

La metodología propuesta para el presente capítulo consistió en una revisión de la literatura en la base de datos web of science, se buscaron artículos

relacionados con las palabras ciencias sociales, políticas públicas ambientales y cambio climático en un periodo de 2010 al 2024, se eligieron los artículo más citados, open access, el resultado fue de once artículos, aquí presentamos un análisis de los enfoques para la revisión sistemática y la síntesis de las investigaciones cuyos temas son los co-beneficios no valuados del ambiente, la fijación de los precios de carbono, la política internacional del cambio climático, la transparencia y las dimensiones humanas en la investigación climática, las emociones que se desprenden de los problemas ambientales, las industrias mas intensivas en gases de efecto invernadero, tecnologías energéticas, la aceptación social en la implementación y adopción de la tecnología, la economía del carbono y la mitigación del clima, gobernanza del clima, la industria de combustibles fósiles, la geopolítica, el modelado de mitigación, sistemas energéticos, imaginarios sociales, los desafíos actuales relacionados con la seguridad alimentaria, la ciencia social energética.

4. Las externalidades ambientales

La política climática basada en conocimientos es algo ideal, la presente investigación intenta ayudar a los responsables políticos e identificar las lagunas de investigación, se estructura, describe, analiza y sintetiza los conocimientos sobre la política climática. El ambiente al no tener fronteras representa un compromiso internacional-intergeneracional-nacional-regional-local, los temas que en estos momentos se encuentran dominando la literatura son la calidad del suelo, agua, biodiversidad, alimentación, actividad física, rendimiento económico y seguridad energética.

Los beneficios colaterales del ambiente aún no se cuantifican o monetizan, la proporción de estudios que abordan el tema es limitada y la evidencia empírica es pequeña, en particular para áreas de la calidad del aire y la salud. Conjuntamente, los conocimientos rara vez se utilizan en la formulación de políticas, lo que significa que la toma de decisiones a menudo es sesgada y se ocupa demasiado de los costos, lo que conduce a políticas climáticas subóptimas y a un incumplimiento de objetivos. Evidentemente, se necesita más investigación, así como una mejor toma de decisiones. La

comprensión y la actuación en materia de co-beneficios de la política climática pueden promover políticas que mitiguen mejor el cambio climático y mejoren el bienestar general.

Los beneficios colaterales de la política climática en campos bien investigados, son grandes, a menudo iguales o superan los costos de mitigación. En varias áreas, como la seguridad energética, los co-beneficios se investigan escasamente, pero la evidencia emergente apunta a valores altos. Se necesita más investigación, incluso sobre cómo describir el valor total de los diferentes beneficios colaterales. Se necesitan mejores procesos, requisitos de documentación y criterios en la adopción de decisiones, a fin de asegurar que los encargados de adoptar decisiones políticas consideren los beneficios colaterales (Karlsson et al., 2020).

5. El mercado del carbono

La fijación de precios del carbono es un tema recurrente en los debates sobre la política climática. Las diferentes conferencias de las partes continúan con las deliberaciones para un acuerdo climático en los años siguientes. Como todavía hay mucho malentendido sobre las muchas razones para implementar un precio global del carbono, la resistencia ideológica en su contra prospera. Los principales argumentos para la fijación de precios del carbono es la eficacia ambiental a un costo relativamente bajo, lo que a su vez contribuye a mejorar la aceptabilidad social y la política climática. Los precios estimulan las rápidas innovaciones medioambientales. Estos argumentos son poco apreciados en el debate público, donde con frecuencia se resta importancia a los precios y la opinión errónea de que las políticas de innovación son suficientes, está muy extendida. Sin embargo, las políticas de fijación de precios del carbono y de tecnología son en gran medida complementarias y, por lo tanto, ambas son necesarias para una política climática eficaz, al precio del carbono también se suman las cuestiones de economía política, el cabildeo, los beneficios colaterales, la coordinación de políticas internacionales, (Baranzini et al., 2017).

6. Limitantes en la investigación del cambio climático

La reciente controversia ha llevado a llamamientos para una mayor normalización y transparencia en los métodos utilizados para sintetizar la investigación sobre el cambio climático. Aunque estos debates se han centrado en gran medida en las dimensiones biofísicas del cambio climático, la investigación en dimensiones humanas necesita igualmente mejores enfoques metodológicos. Durante décadas se han utilizado enfoques sistemáticos de revisión, y más recientemente métodos de revisión realistas, en las ciencias de la salud para guiar la síntesis de investigación. A pesar de ello, la penetración de estos enfoques en las ciencias sociales y ambientales ha sido limitada; se destacan las aplicaciones innovadoras de enfoques sistemáticos, centrándose en los desafíos singulares de integrar múltiples fuentes de datos y formatos para examinar la política y la práctica de adaptación al cambio climático. Es necesario realizar más estudios para abordar los desafíos metodológicos de la síntesis y seguimiento de la adaptación al cambio climático (Berrang-Ford et al., 2015).

La preocupación por el cambio climático, la ecoansiedad y el dolor ecológico son conceptos que han surgido en los medios de comunicación, el discurso público y la investigación en los últimos años. No obstante, no hay mucha literatura examinando y resumiendo las formas en que se expresan estas emociones, a qué procesos están relacionados y cómo se distribuyen. Las emociones negativas con respecto a los problemas ambientales son respuestas normales y a menudo constructivas. Sin embargo, dada la naturaleza, el alcance de estas emociones, es importante identificar diversas estrategias basadas en el lugar y culturalmente relevantes para ayudar a las personas a sobrellevarlas (Ojala et al., 2021).

7. Las industrias de las emisiones

La industria siderúrgica es la mayor consumidora de carbón y la industria más intensiva en gases de efecto invernadero. Consume alrededor del 7% del suministro energético mundial, y las estimaciones conservadoras infor-

man que es responsable del 7-9% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la descarbonización de la industria siderúrgica es vital para cumplir los objetivos de mitigación del cambio climático y lograr un futuro sostenible para la industria. Los beneficios de la descarbonización de la industria del hierro y del acero se consideran a través del ahorro de energía y carbono, el ahorro financiero y otros beneficios para la salud pública. Las barreras a la descarbonización se consideran en todos los aspectos financieros, organizacionales y conductuales. En la literatura revisada se encontró también que diversos instrumentos financieros e instrumentos normativos que pueden ayudar a superar las barreras (Kim et al., 2022).

A medida que la importancia de la opinión pública y la práctica para el cambio del sistema energético se ha entendido más ampliamente, un cuerpo de trabajo en expansión está investigando los factores que impulsan la aceptación social y pública de una amplia diversidad de tecnologías energéticas, tanto de infraestructura como de aplicaciones para los usuarios finales. La literatura es grande y abarca múltiples contextos, métodos, perspectivas teóricas disciplinarias y paradigmas. Si bien esta diversidad es en muchos sentidos saludable, la experiencia sugiere que puede ser confusa para aquellos sin un conocimiento cercano de sus partes constituyentes. La aceptación de la tecnología energética es relativamente neutral en términos normativos y teóricos, no obstante, es necesario realizar más investigación psicosocial sobre la aceptación social de la tecnología energética (Upham et al., 2015)

Las recientes evaluaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático ponen de relieve un papel clave para la eliminación de carbono a gran escala en el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París. Este enfoque en la eliminación, también conocido como emisiones negativas, es una sugerencia de nuevas oportunidades, riesgos y desafíos para hacer frente al cambio climático, pero tiende a basarse en los estrechos marcos tecnoeconómicos que caracterizan el modelado de evaluación integrada. Si bien la discusión sobre las emisiones negativas tiene importantes paralelismos con una literatura más amplia y antigua sobre el secuestro y sumideros de carbono, particularmente las ciencias sociales crí-

ticas, rara vez están involucradas por la comunidad negativa de investigación de emisiones.

La investigación y la política sobre emisiones negativas deben proceder no sólo a partir de las proyecciones del futuro, sino también de un reconocimiento de controversias, éxitos y fracasos pasados. La importancia de ver la continuidad en la discusión de eliminación de carbono pide más compromiso con las ciencias sociales existentes en el tema. Reconocer la continuidad y abrazar una agenda de investigación interdisciplinaria sobre la eliminación de carbono son aspectos importantes para hacer más responsable la investigación sobre mitigación del cambio climático, y una condición previa para evitar que se repitan errores y fracasos del pasado (Carton et al., 2020).

A pesar de tres décadas de esfuerzos políticos y de una gran cantidad de investigación sobre las causas y los impactos catastróficos del cambio climático, las emisiones mundiales de dióxido de carbono han seguido aumentando y hoy son un 60% más altas que en 1990. Explorar este aumento a través de temas que cubren las lentes temáticas de la gobernanza del clima, la industria de combustibles fósiles, la geopolítica, la economía, el modelado de mitigación, los sistemas energéticos, la inequidad, los estilos de vida y los imaginarios sociales, es de suma importancia el conocer las razones multifacéticas de nuestro fracaso colectivo para doblar la curva de emisiones globales es necesario para poder continuar. Empero, un hilo común que surge a través de la literatura revisada es el papel central del poder, manifiesto en muchas formas, desde una hegemonía político-económica dogmática e intereses creados influyentes hasta estrechas mentalidades tecno-económicas e ideologías de control (Stoddard et al., 2021).

El campo de los estudios de ciencia y tecnología ha introducido y desarrollado una perspectiva “sociotécnica” que ha sido asumida por muchas disciplinas y áreas de investigación. Se han identificado áreas principales de perspectivas sociotécnicas en la investigación energética (sistemas sociotécnicos, políticas y experiencia) así como se sugiere que la investigación muestre mayor atención a la diversidad demográfica y geográfica, a diseños de investigación más fuertes, a una mayor triangulación teórica y a enfoques más transdisciplinarios (Sovacool et al., 2020).

8. Seguridad alimentaria

Los desafíos actuales relacionados con la seguridad alimentaria como el aumento de la población, los cambios en los hábitos alimentarios, la eficiencia del agua, el cambio climático y los precios volátiles de los alimentos; la demanda de productos agrícolas en crecimiento se ha visto satisfecha en parte por el aumento de las tierras cultivadas en las últimas décadas. Al mismo tiempo, existe una grave competencia por las zonas agrícolas existentes, lo que limita aún más la extensión de las tierras agrícolas, además de las limitaciones naturales de la disponibilidad de tierras. La producción agrícola debe expandirse más rápido que el crecimiento de la población sin mayores daños al medio ambiente. La fuerza motriz del desarrollo es la agricultura intensiva sostenible, lo que significa una utilización más eficaz de las tierras agrícolas y los recursos hídricos. Las tendencias mundiales actuales en el consumo de alimentos son insostenibles, se analizan en términos de salud pública, impacto ambiental o costos socioeconómicos. La creciente población debe esforzarse por lograr un consumo sostenible de alimentos, ya que los impactos sociales, ambientales y para la salud también son muy importantes a este respecto. Con este fin, los beneficios de consumir alimentos menos dañinos para el medio ambiente durante la producción también deben destacarse en el ámbito de la política de consumo y la educación relacionada con la nutrición frente a otros tipos de alimentos, cuya producción causa una gran demanda de materias primas (Fróna et al., 2019).

9. Resultados y su discusión

La priorización de soluciones rentables y basadas en el mercado en lugar de enfoques más inclusivos de cambio climático probablemente afiance aún más desigualdades locales y globales, y reproduzca los patrones actuales de desarrollo desigual y sin resultados fructíferos en la reducción de emisiones a largo plazo.

A menos que los investigadores y los responsables de políticas, en el campo nacional como internacional, comiencen a tomar en serio las leccio-

nes serán los países en desarrollo los que soportaran la peor parte de la carga del cambio climático. Las experiencias pasadas sugieren que es probable que esto genere resentimiento, y resistencias locales, inclusive violencia y guerras por los recursos. La literatura de las ciencias sociales sobre este tema señala amplias oportunidades para que las reformas legislativas e institucionales ayuden a desencadenar una acción de eliminación del cambio climático, basada en la ciudadanía e inclusiva, en todos los países en desarrollo y más allá, incluyendo aquellos hacedores de políticas contra el cambio climático que desde una posición privilegiada dictan lo que se debe hacer.

Hay que señalar la necesidad de reconocer las limitaciones de la investigación científica, cuando se trata de proyectar un futuro cada vez más incierto basado solo en supuestos que subyacen en la elección de tecnologías particulares y técnicas de contabilidad de carbono, metodológicas, como las que considera el cambio climático, siendo ellos mismos los proveedores de esas tecnologías, y certificaciones que experimentan vendiéndolas en los países en desarrollo; estas elecciones de tecnologías particulares y técnicas de contabilidad de carbono deben de rendir cuentas al debate público, sobre los resultados obtenidos así como transparentar su producción, distribución y disposición; ir avanzando en materia institucional para analizar no solo los productos que ofrecen sino los procesos internos que involucran las supuestas soluciones, llevar esto a una evaluación pública del presupuesto invertido contra resultados obtenidos.

Hay una literatura emergente que apunta a hacer esto, al hacer visibles las redes a menudo ocultas de colaboración, financiamiento y definición de problemas involucrados en áreas emergentes de ciencia y tecnología, y proporcionar una base de evidencia transparente que pueda informar la evaluación y la deliberación democrática. También hay esfuerzo en curso para abrir la conversación sobre cambio climático a través de metodologías deliberativas, que involucran a un amplio grupo de actores, lo que puede ayudar a promover la reflexividad al exponer los límites sociales de los supuestos científicos.

Las investigaciones tienen la opción de no solo hablar en nombre y en favor de quienes están en el poder con su investigación sino también en nombre y en favor de los más marginados y con más probabilidades de soportar el peso del cambio climático, negarse a mantener un status quo

insostenible y explotador al prever escenarios, herramientas de política y acuerdos regulatorios que activamente cierran las oportunidades de que las cosas sigan como hasta ahora. Las ciencias sociales críticas tienen mucho que ofrecer aquí en términos de herramientas y teorías para comprender y cuestionar los intereses, ideologías y visiones del mundo específicas de los actores que sustentan las situaciones climáticas propuestas. Ya existe una gran cantidad de propuestas concretas que pueden ayudar a abrir el camino político a la solución de los problemas climáticos. Señalar que el futuro de los sistemas sociales, económicos y políticos siempre puede ser diferentes.

Desde hace tiempo se ha observado que las ciencias y las humanidades se incluyen en la conversación científica sobre cambio climático de manera limitada y selectiva. Las ciencias sociales sobre el tema tienden a ser “marginadas, limitadas y despolitizadas” el olvidar el fracaso de políticas anteriores afianza las divisiones disciplinarias entre las ciencias sociales, las naturales y las aplicadas /orientadas a las políticas. Es necesaria una conversación más inclusiva e interdisciplinaria sobre el cambio climático para maximizar la diversidad de perspectivas y presentar una gama más amplia de posibles soluciones climáticas para el debate público, incluidas aquellas que actualmente parecen políticamente ingenuas o que no encajan bien con los marcos epistemológicos dominantes. Un reconocimiento más amplio de las continuidades en la conversación sobre el cambio climático y del conocimiento que ya existen sobre este tema proporciona un punto de partida esencial para ello.

A finales de la década de 1980, los industriales, científicos y políticos influyentes comprendían que el cambio climático antropogénico era una preocupación real y que era necesario tomar medidas.

Los desafiantes niveles de adaptación y las pérdidas y daños irreversibles a los medios de vida y los ecosistemas humanos resultantes de eventos de aparición repentina o procesos de aparición lenta derivadas del cambio climático, que no se pueden mitigar ni adaptar son ahora realidades actuales que enfrentan las comunidades de todo el mundo, solo basta con mirar las noticias de desastres en Valencia, España; incremento de ciclones, huracanes, tormentas en los océanos Pacífico y Atlántico, o el escalamiento de una simple tormenta a un gran huracán en horas, desastres en comunidades costeras como Acapulco, México.

Las deficiencias de las políticas públicas de cambio climático internacionales radican en la creación de mecanismos para poner en práctica sus principios y compromisos, en particular en relación con la financiación y la transferencia de tecnologías inadecuadas para los países en desarrollo. Los países donantes han sido criticados por incumplir constantemente sus promesas financieras y por demorarse en la presentación de informes financieros, incluida la doble contabilidad.

Otro problema que ha obstaculizado el progreso ha surgido de las estrategias políticas deliberadas de los grupos de interés, en particular la industria de los combustibles fósiles y sectores relacionados y su cabildeo; lo anterior abre la puerta a debates relacionados con los intereses de los países que no tienen combustibles fósiles en imponer energías alternativas y los países que cuentan con combustibles fósiles de usar los recursos que tienen ya que el adquirir nuevas formas de hacer energía es un costo muy alto que beneficia a quienes están inventando estas tecnologías y respuestas al cambio climático, la pregunta sería ¿cuáles son las soluciones que proponen los países en desarrollo que tienen combustibles fósiles para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero? ¿qué proponen desde su Estado (gobierno, población, territorio) para enfrentar al cambio climático? Propuestas que vengan desde esa mirada y no solo ser contestatarios a las propuestas del primer mundo que como hemos mencionado están cargadas de interés económicos.

El fracaso en la inversión dentro de la gobernanza climática internacional es un poder desigual y la ausencia de liderazgo. A pesar de los avances relativos en algunos países, las naciones ricas y desarrolladas no han logrado liderar decisivamente la lucha contra el cambio climático, ni en lograr reducciones significativas de emisiones, ni en proporcionar financiación adecuada y previsible, lo que podría haber generado confianza y el impulso para una carrera hacia la cima.

Esa desconfianza ha proporcionado amplios flancos para que poderosos intereses creados dentro de estos países en desarrollo mantengan enfoques de statu quo, prolongando y consolidando así un desarrollo con alto contenido de carbono en lugar de alternativas con bajo contenido de carbono.

Cierta antipatía hacia la acción climática surge de la comprensión de que abordar el cambio climático a menudo puede implicar niveles signifi-

cativos de intervención gubernamental, y como tal, puede entrar en conflictos con visiones del mundo y valores políticos particulares.

Los intereses creados pueden ser tanto privados como públicos, lo que tienen en común es que consideran el cambio climático como un riesgo empresarial importante, aunque han adaptado estrategias ligeramente diferentes para afrontarlo; su enfoque pierde de vista el riesgo social, y sus soluciones no contemplan la aceptación y adaptación por parte de las comunidades, lo único que piensan es en la protección económica de sus inversiones financieras, desde ese punto de vista nada puede dar resultado ni solucionar un problema antropogénico.

Las políticas ambientales se complementan con otras disciplinas y dominios como la geopolítica, este contexto se basa en las interconexiones entre las estructuras de poder globales y el militarismo que las sustenta, y se manifiesta en el extractivismo global, la competencia por los recursos energéticos y las ideologías de control que enmarcan las respuestas dominantes al cambio climático

La preocupación por los costos de mitigación impide la adopción de las políticas climáticas necesarias para alcanzar los objetivos acordados de calentamiento global. Si bien los costos son importantes de considerar, también lo son los beneficios. Sin embargo, las pruebas de los beneficios de la política climática, es decir, los beneficios, además de los costos del cambio climático evitados, se pasan comúnmente por alto en la formulación de políticas.

10. Conclusiones

Con base en lo expuesto en la literatura relacionada con las políticas públicas ambientales y el cambio climático o las políticas ambientales o políticas climáticas, observamos en primera instancia que hay poca investigación al respecto, el fenómeno del cambio climático abordado desde un inicio por las ciencias físicas-biológicas-ciencias del mar, lo que conocemos como las ciencias duras marco su devenir histórico en la investigación, las ciencias sociales entraron tarde para abordar el problema y lo hicieron desde la parte económica, lo cierto es que aquí tenemos que especular en cuanto a que el impacto del cambio climático fue llevado a la liga internacional por

los problemas económicos que estaban generando escenarios peligrosos para los dueños del capital, y fue entonces que las ciencias duras tomaron la batuta y comenzaron a generar sus estudios (incremento en el nivel del mar, desaparición de glaciares, especies, escases de agua, etc.) pero no se tocaba aun las repercusiones en la sociedad, en las poblaciones, sino hasta que entraron para valorar la economía del cambio climático pero desde un punto de vista de ¿cuánto nos costará la pérdida de infraestructura? ¿qué negocios nuevos podemos crear? como los seguros para desastres naturales, mercados de carbono, transferencias de tecnología, certificaciones inventadas para hacer toda industria relacionada al cambio climático, energías verdes, mercados verdes, y lo que nos espera las cadenas de producción a nivel internacional serán certificadas con sus lineamientos de industrias bajas en emisiones, para así descartar a todos aquellos países o industrias que no hayan participado de sus certificaciones, que no hayan comprado sus tecnologías y van cerrando los caminos de comercialización. Es muy importante hacer más visible estas intenciones sesgadas para que la política internacional cambie, y detenga un desastre más hacia los países en vías de desarrollo. La Cepal (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), mencionaba entre sus últimas propuestas que los países de la región deberían de unirse para dar precios a sus recursos naturales, para formar un frente regional hacia la política internacional, algo que no ha penetrado lo suficiente en la región pero, que es una propuesta que ayudaría a enfrentar no solo el fenómeno del cambio climático, sino las políticas dominantes, que hemos descrito en el capítulo, que acompañan las supuestas soluciones al fenómeno, y que desde nuestro punto vista son aún más devastadoras que el cambio climático en sí.

Algo que puede contribuir a la implementación de estas políticas públicas desiguales son los estudios sociales que involucren a la aceptación de las poblaciones locales a las soluciones planteadas, estudios que analicen las repercusiones de estas políticas en las diferentes poblaciones, sumado a ello realizar políticas públicas locales, basadas en las diferentes realidades sociales-culturales de cada región, necesitamos que nuestros gobiernos asuman un papel más preponderante en la propuesta de políticas públicas del cambio climático, no solo en materia de reglamentación sino en la creación de diagnósticos, implementaciones y evaluaciones.

11. Referencias

- 7 Baranzini, A., Van Den Bergh, J. C. J. M., Carattini, S., Howarth, R. B., Padilla, E., y Roca, J. (2017). Carbon pricing in climate policy: Seven reasons, complementary instruments, and political economy considerations. *WIREs Climate Change*, 8(4), e462. <https://doi.org/10.1002/wcc.462>
- Berrang-Ford, L., Pearce, T., y Ford, J. D. (2015). Systematic review approaches for climate change adaptation research. *Regional Environmental Change*, 15(5), 755-769. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0708-7>
- Carton, W., Asiyanbi, A., Beck, S., Buck, H. J., y Lund, J. F. (2020). Negative emissions and the long history of carbon removal. *WIREs Climate Change*, 11(6), e671. <https://doi.org/10.1002/wcc.671>
- 83 Fróna, D., Szenderák, J., y Harangi-Rákos, M. (2019). The challenge of feeding the world. *Sustainability*, 11(20), 5816. <https://doi.org/10.3390/su11205816>
- 92 Karlsson, M., Alfredsson, E., y Westling, N. (2020). Climate policy co-benefits: A review. *Climate Policy*, 20(3), 292-316. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1724070>
- 9 Kim, J., Sovacool, B. K., Bazilian, M., Griffiths, S., Lee, J., Yang, M., y Lee, J. (2022). Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options. *Energy Research & Social Science*, 89, 102565. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102565>
- 9 Kumar, R., Verma, A., Shome, A., Sinha, R., Sinha, S., Jha, P. K., Kumar, R., Kumar, P., Shubham, Das, S., Sharma, P., y Vara Prasad, P. V. (2021). Impacts of plastic pollution on ecosystem services, sustainable development goals, and need to focus on circular economy and policy interventions. *Sustainability*, 13(17), 99-63. <https://doi.org/10.3390/su13179963>
- 38 Ojala, M., Cunsolo, A., Ogunbode, C. A., y Middleton, J. (2021). Anxiety, worry, and grief in a time of environmental and climate crisis: A narrative review. *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 35-58. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-022716>
- 24 Sovacool, B. K., Hess, D. J., Amir, S., Geels, F. W., Hirsh, R., Rodriguez Medina, L., Miller, C., Alvia Palavicino, C., Phadke, R., Ryghaug, M., Schot, J., Silvest, A., Stephens, J., Stirling, A., Turnheim, B., Van Der Vleuten, E., Van Lente, H., & Yearley, S. (2020). Socio-technical agendas: Reviewing future directions for energy and climate research. *Energy Research & Social Science*, 70, 101-617. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101617>
- 11 Stoddard, I., Anderson, K., Capstick, S., Carton, W., Depledge, J., Facer, K., Gough, C., Hache, F., Hoolohan, C., Hultman, M., Hällström, N., Kartha, S., Klinsky, S., Kuchler, M., Lövbrand, E., Nasiritousi, N., Newell, P., Peters, G. P., Sokona, Y. y Williams, M. (2021). Three decades of climate mitigation: Why haven't we bent the global emissions curve? *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 653-689. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-011104>

99

Upham, P., Oltra, C. y Boso, À. (2015). Towards a cross-paradigmatic framework of the social acceptance of energy systems. *Energy Research & Social Science*, 8, 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.05.003>

3. El capitalismo ecológico como camino hacia el desarrollo sostenible*



JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUE**

DULCE MARÍA MONROY BECERRIL***

CHRISTIAN MUÑOZ-SÁNCHEZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.03>

Resumen

El objetivo de esta investigación es explicar el potencial del capitalismo ecológico como camino hacia el desarrollo sostenible, debido a la necesidad de abordar los impactos negativos del crecimiento económico y el desarrollo en el medio ambiente: como el cambio climático. Para ello, el método utilizó un enfoque sistemático, con términos de búsqueda centrados en la sostenibilidad, el capitalismo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La revisión de la literatura abarcó desde 2010 hasta 2024. Se utilizaron varias bases de datos académicas y de investigación para identificar la literatura relevante. Los resultados muestran que, si bien el capitalismo ecológico puede ser valioso para promover el desarrollo sostenible, no debe verse como una panacea para los desafíos ambientales. Es necesario un cambio sistémico y una acción colectiva para lograr la sostenibilidad. Los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado, como el etiquetado ecológico y las finanzas verdes, se han mostrado prometedores, pero deben diseñarse

* Derivado del proyecto SIP 20240598: Responsabilidad Social Empresarial y Sostenibilidad en el Abastecimiento de Agua.

** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor-investigador de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. Correspondencia: j.a.silva@outlook.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

*** Doctora en Administración Pública. Profesora-investigadora de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-5577>

**** Doctor en Ciencias Sociales en Economía, Gestión y Políticas de Innovación. Profesor-investigador de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8692-4252>

e implementarse cuidadosamente para evitar consecuencias negativas no deseadas. El capitalismo ecológico puede ofrecer un marco para abordar las dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo sostenible de forma coordinada. La investigación futura debe continuar explorando modelos económicos alternativos y su potencial para lograr la sostenibilidad.

Palabras clave: *ecoetiquetado, fijación de precios del carbono, innovación tecnológica, pago por servicios ecosistémicos.*

1. Introducción

El capitalismo ha sido un sistema económico dominante durante muchos años. Sin embargo, el medio ambiente ha sufrido costos significativos debido a la industrialización, el aumento de la extracción de recursos y los patrones de consumo dinámicos. Por lo tanto, la sostenibilidad ha ganado una atención considerable. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) desarrollados por las Naciones Unidas abordan los desafíos ambientales, sociales y económicos más apremiantes (Boluk et al., 2019). Los gobiernos y las entidades comerciales han adoptado ampliamente los ODS, lo que indica una creciente consideración por el desarrollo sostenible (Bebbington y Unerman, 2018).

El capitalismo es la base para la innovación y la eficiencia y puede utilizarse para crear soluciones sostenibles a los problemas ambientales (Porter y Kramer, 2019). Sin embargo, existen numerosos debates sobre si el capitalismo y la sostenibilidad pueden conciliarse. El capitalismo puede hacerse más sostenible mediante la implementación de precios del carbono, la innovación verde y políticas de inversión sostenible. Por ejemplo, el precio del carbono puede incentivar a las empresas a minimizar sus emisiones de gases de efecto invernadero. Al mismo tiempo, la innovación verde puede impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías y productos menos dañinos para el medio ambiente. Por lo tanto, el capitalismo incentiva fuertemente la innovación y la eficiencia, creando potencialmente soluciones sostenibles a los problemas ambientales (Robbins et al., 2022).

Los defensores afirman que los ODS no se pueden lograr dentro de un modelo capitalista, debido a que la maximización de las ganancias pasará por alto las preocupaciones sociales y ecológicas (Georgeson y Maslin, 2018). Por lo tanto, el capitalismo puede considerarse intrínsecamente insostenible porque prioriza las ganancias sobre la protección ambiental y la equidad social. Por ejemplo, las entidades pueden priorizar la ganancia a corto plazo sobre la sostenibilidad a largo plazo, lo que lleva a la extracción de recursos no sostenibles y la degradación ambiental. El capitalismo puede agravar las desigualdades sociales y contribuir a la sobreutilización de los recursos naturales (Georgeson y Maslin, 2018).

La sostenibilidad refleja un reconocimiento creciente de la interconexión de las preocupaciones ambientales, sociales y económicas (Richardson y Sjøfjell, 2015). Los ODS destacan esta evolución y brindan un marco amplio para abordar los desafíos críticos, como el cambio climático. Sin embargo, lograr estos objetivos requiere cambios significativos en la producción, el consumo y la distribución de bienes y servicios. Este aspecto cuestiona si el capitalismo, un sistema inherentemente centrado en la ganancia y el crecimiento, puede reconciliarse con la sostenibilidad. Por lo tanto, si el capitalismo ecológico es posible es importante, debido a que tiene importantes implicaciones para el desarrollo económico y la protección del medio ambiente. Este artículo explora esta cuestión investigando las condiciones necesarias para que el capitalismo ecológico sea posible, como una forma innovadora de un sistema económico. Los problemas ambientales como la crisis climática exigen innovación de los sectores de la economía para estar a la altura de los desafíos, y aquí es donde se encuentra la vinculación de esta investigación con el tema principal de este libro.

En este capítulo también se analizan las críticas a los enfoques, estrategias y avances existentes hacia los ODS y considera cómo estos deben cambiar para permitir el desarrollo sostenible en un sistema capitalista.

2. Metodología

Este artículo implica una revisión exhaustiva de la literatura sobre el capitalismo ecológico. Los principales son artículos de revistas académicas, li-

bro e informes. La metodología de investigación utilizó un enfoque sistemático, con términos de búsqueda centrados en la sostenibilidad, el capitalismo y los ODS. A continuación, se examinaron las fuentes para determinar su relevancia y se realizó un análisis crítico para identificar los argumentos más destacados sobre el capitalismo ecológico. La revisión de la literatura abarcó desde 2010 hasta 2024. Se utilizaron varias bases de datos académicas y de investigación para identificar la literatura relevante, incluidas JSTOR, ScienceDirect, Elsevier, Google Scholar y ResearchGate. Además, también se utilizaron informes y documentos de trabajo de Social Science Research.

La metodología de investigación siguió un enfoque sistemático que incluyó los siguientes pasos:

- Definición de los términos de búsqueda: se desarrolló una lista de términos de búsqueda relevantes centrados en la sostenibilidad, el capitalismo ecológico y los ODS. Estos términos se utilizaron para buscar literatura relevante en las bases de datos y otras fuentes.
- Selección de fuentes: los resultados de la búsqueda se examinaron según su relevancia en función de sus títulos, resúmenes y palabras clave. Se seleccionaron fuentes relevantes centradas en el capitalismo ecológico para un análisis más profundo.
- Análisis crítico: Las fuentes fueron analizadas críticamente para identificar argumentos y conceptos clave relacionados con el capitalismo ecológico. El análisis involucró la identificación de patrones, temas y lagunas en la literatura.
- Síntesis de los hallazgos: Los argumentos y conceptos clave se sintetizaron para desarrollar una comprensión integral del potencial del capitalismo ecológico para promover la sostenibilidad.

La metodología tuvo como objetivo proporcionar una revisión exhaustiva y rigurosa de la literatura sobre el capitalismo ecológico y ofrecer información valiosa sobre el potencial del capitalismo ecológico para abordar los problemas de sostenibilidad.

2.1. Resumen y significado de la pregunta de investigación

La pregunta de investigación explora las condiciones para que el capitalismo se alinee con la sostenibilidad y la medida en que tales condiciones están presentes o emergentes: ¿es posible un capitalismo ecológico? La pregunta es fundamental en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que prevén un futuro sostenible y equitativo para todos.

2.2. Importancia de la pregunta de investigación

Esta pregunta de investigación podría informar la política y la práctica hacia la realización del desarrollo sostenible. El sistema económico dominante del capitalismo ha sido criticado por su impacto negativo en el medio ambiente, con evidencia creciente del agotamiento de los recursos naturales, la contaminación y el cambio climático. El capitalismo también es considerado por muchos como el único sistema económico viable, y alternativas como el socialismo o el comunismo no han logrado lograr un desarrollo sostenible. Por lo tanto, comprender la posibilidad del capitalismo ecológico es crucial para identificar caminos potenciales hacia un futuro sostenible.

La pregunta de investigación es relevante para las partes interesadas, incluidos los encargados de formular políticas, los líderes empresariales, las organizaciones de la sociedad civil y los investigadores. Puede proporcionar una valiosa guía para la toma de decisiones sobre la adopción de políticas y prácticas que promuevan la sostenibilidad y el desarrollo de sistemas económicos alternativos que prioricen la protección ambiental y la equidad social. La pregunta contribuye a una discusión más informada y basada en evidencia sobre el capitalismo ecológico y su compatibilidad con la sostenibilidad.

3. Resultados y discusión

3.1. El concepto de capitalismo ecológico

El capitalismo ecológico busca conciliar el crecimiento económico y el desarrollo con la sostenibilidad ambiental. Es una propuesta de solución a la crisis del actual sistema capitalista, criticado por sus negativas implicaciones sobre el medio ambiente, como el cambio climático. El capitalismo ecológico ha sido ampliamente debatido en el contexto de modelos económicos alternativos. La afirmación central es que los incentivos y estructuras basados en el mercado del capitalismo pueden utilizarse para mejorar los patrones de producción y consumo sostenibles (Newell, 2013). Newell (2013) argumentó que el capitalismo ecológico intenta integrar las consideraciones ambientales en las prácticas comerciales y la toma de decisiones económicas en lugar de una transformación fundamental del sistema económico. Busca abordar los desafíos ecológicos que plantea el capitalismo sin desafiar fundamentalmente sus principios fundamentales. Foster (2011), por su parte, afirmó que capitalismo y decrecimiento son incompatibles y que el capitalismo ecológico es un teorema de imposibilidad. El capitalismo requiere un crecimiento y una acumulación constantes, lo que es incompatible con los recursos naturales finitos (Foster, 2011).

Goron (2018) examinó el concepto de civilización ecológica en el contexto de China y sus limitaciones como concepto de sostenibilidad y afirmó que el modelo chino de sostenibilidad se basa principalmente en el crecimiento continuo de la economía en lugar de un cambio fundamental hacia una economía sostenible. Smith (2010) propuso el concepto de poscapitalismo, que se basa en la descentralización del poder económico y un cambio hacia un sistema económico más cooperativo y democrático. Esta descentralización del poder económico se basaría en la creación de pequeñas empresas y cooperativas que prioricen el bienestar de la comunidad y la sostenibilidad ambiental por encima de las ganancias. Esto también requeriría volver a imaginar el papel del estado en la regulación de la economía y la protección del medio ambiente. Una sociedad poscapitalista sería más democrática, equitativa y sostenible y priorizaría las necesidades

de las personas y del planeta sobre la acumulación de riqueza por parte de una pequeña minoría (Smith, 2010). El concepto poscapitalista que Smith (2010) propone desafía a las sociedades capitalistas, paradigma dominante de crecimiento y ganancias perpetuos. Ofrece una visión alternativa que prioriza la sostenibilidad ambiental, el bienestar de la comunidad y la toma de decisiones democrática. Si bien existen desafíos en la transición hacia dicho sistema, abordar las causas profundas de las injusticias sociales y ambientales causadas por el sistema capitalista es necesario (Smith, 2010).

Igoe et al. (2010) exploró la convergencia de la conservación de la biodiversidad y la expansión capitalista y argumentó que los dos están estrechamente vinculados. Los esfuerzos de conservación a menudo catalizan el desarrollo capitalista y se han integrado con la expansión capitalista (Igoe et al., 2010). Igoe et al. (2010) también describió la “espectacularización” de la conservación, donde la conservación se convierte en un espectáculo que oscurece las relaciones sociales y económicas subyacentes. Este proceso es evidente en la propagación del ecoturismo, donde las regiones de conservación se comercializan como mercancías y están cada vez más sujetas a las demandas del turismo mundial. La mercantilización de la naturaleza refuerza la expansión capitalista al promover el consumo en lugar de desafiarlo. La conservación de la biodiversidad se ha vuelto cada vez más dependiente de los mecanismos de mercado, como el comercio de carbono, las compensaciones de biodiversidad y el ecoturismo, que a menudo socavan a las comunidades locales y perpetúan las desigualdades. Por lo tanto, estas estrategias de conservación basadas en el mercado benefician a las corporaciones y a los poderosos intereses económicos al tiempo que marginan a las comunidades locales y erosionan la toma de decisiones democrática (Igoe et al., 2010).

Moore (2011a) propuso una teoría de las crisis en la ecología-mundo capitalista, argumentando que el capitalismo se basa en la extracción y explotación constante de los recursos naturales, lo que genera preocupaciones ambientales que amenazan la base misma del sistema económico. Moore (2011b) sugirió que el capitalismo depende de la extracción y explotación continua de los recursos naturales, lo que lleva a una “brecha metabólica” entre la naturaleza y la sociedad. La brecha metabólica es una ruptura en el ciclo natural de reposición de nutrientes, donde la capacidad de la natura-

leza para reproducirse se ve socavada por la extracción insostenible de recursos y la acumulación de desechos. El modo de producción capitalista es insostenible y ecológicamente destructivo (Moore, 2011b). La brecha metabólica es la causa principal de muchas crisis ambientales, como el cambio climático, el agotamiento del suelo y la escasez de agua (Moore, 2011b). El capitalismo exacerba estas crisis al tratar a la naturaleza como un recurso inagotable en lugar de reconocer los límites de la capacidad ecológica del planeta (Moore, 2011b). La búsqueda constante de nuevos recursos para explotar y nuevos mercados para conquistar ha llevado a un ciclo interminable de crisis ecológicas que amenazan las bases mismas del sistema económico (Moore, 2011b; y Wanner, 2015). El capitalismo se caracteriza por la constante expansión y transformación de la ecología-mundo, que implica apropiarse y mercantilizar nuevos recursos y paisajes. El proceso requiere la explotación del trabajo humano y los recursos naturales, lo que lleva a una lucha continua por el control de los medios de producción, lo que pone de manifiesto la insostenibilidad ecológica del enfoque capitalista (Moore, 2011a).

Flint y Flint (2013) exploraron los conceptos básicos del desarrollo sostenible y argumentaron que requiere un cambio significativo en los enfoques de desarrollo económico y social. Sugieren un marco participativo para el cambio que enfatiza el empoderamiento de la comunidad, el desarrollo de capacidades y la importancia del conocimiento y los recursos locales para dar forma a los resultados del desarrollo sostenible. Según Flint y Flint (2013), el desarrollo sostenible implica equilibrar las preocupaciones económicas, sociales y ambientales. Esto requiere alejarse del enfoque tradicional en el crecimiento económico y adoptar un enfoque más holístico que tenga en cuenta la sostenibilidad a largo plazo de los recursos naturales y los ecosistemas, que solo se puede lograr a través de un enfoque participativo que involucre a todas las partes interesadas en la toma de decisiones y priorice las necesidades de las poblaciones más vulnerables y marginadas (Flint y Flint, 2013).

Kothari (2014) propuso la idea de democracia ecológica radical basada en los principios de democracia participativa y sostenibilidad ambiental. La idea desafía el sistema económico dominante y mejora una sociedad más equitativa y sostenible. Las formas convencionales de democracia han sido

ineficaces para enfrentar la actual crisis ecológica debido a la concentración del poder económico y político en unas pocas manos, muchas veces priorizando sus intereses sobre los demás (Kothari, 2014). Sin embargo, la democracia ecológica radical sugiere un sistema de gobierno descentralizado y participativo que prioriza la sostenibilidad ecológica y la justicia social.

La democracia ecológica radical se basa en el autogobierno, donde las comunidades tienen voz en las decisiones que les afectan. Según Kothari (2014), este principio es fundamental para promover la sostenibilidad ecológica, ya que permite a la sociedad tomar decisiones que reflejen sus conocimientos y valores ecológicos. Este enfoque desafía el sistema económico central, que se basa en el supuesto de que el crecimiento y el consumo son necesarios para el bienestar humano.

La democracia ecológica radical también promueve la idea de ciudadanía ecológica, que reconoce la interconexión de los humanos y el mundo natural. Este concepto destaca la importancia de la responsabilidad individual y la acción colectiva para mejorar la sostenibilidad ecológica. También cuestiona la idea de que la ciudadanía solo se define por la nacionalidad, argumentando que todos los humanos son responsables del planeta y sus ecosistemas (Kothari, 2014). Varios principios para lograr una democracia ecológica radical incluyen la equidad social y económica, la sostenibilidad ecológica y la gobernanza participativa. Estos principios son interdependientes, y lograr uno requiere avanzar en los demás. Por ejemplo, lograr la sostenibilidad ecológica requiere desafiar el sistema económico dominante, que a menudo prioriza el crecimiento y el consumo sobre la sostenibilidad y la equidad (Kothari, 2014).

3.2. Desarrollo histórico del capitalismo y su impacto ambiental

El desarrollo histórico del capitalismo ha impactado significativamente el medio ambiente. El auge del capitalismo se remonta a la transición del feudalismo en Europa durante la Edad Media. A medida que declinaba el feudalismo, el grupo de comerciantes comenzó a acumular riqueza y poder, lo que condujo al crecimiento del comercio y el comercio (Neal y Williamson, 2014). Este período de transición vio el surgimiento de formas tempranas

de capitalismo, caracterizadas por la maximización de ganancias y la acumulación de capital. Este proceso permitió a un pequeño grupo de individuos acumular capital y controlar los medios de producción (Neal y Williamson, 2014). Las primeras etapas del capitalismo involucraron la acumulación primitiva con el despojo violento de las personas de sus recursos (DuPlessis, 2019). El crecimiento del capitalismo industrial durante el siglo XIX vio el aumento de la producción a gran escala y la explotación de los recursos naturales a un ritmo sin precedentes. Este período también fue testigo del desarrollo de una economía global, con un aumento del comercio y el colonialismo (Böhm et al., 2012).

El desarrollo del capitalismo estuvo estrechamente ligado a la expansión geopolítica de Occidente, cuyo dominio de la economía global se basaba en el poder militar, la coerción económica y la hegemonía cultural (Anievas y Nişancıoğlu, 2015). La expansión del capitalismo estuvo acompañada de la explotación de los recursos naturales y la destrucción de los ecosistemas, lo que condujo a una importante degradación ambiental. Böhm et al. (2012) argumentaron que el auge de los mercados de carbono como solución al cambio climático es un ejemplo de la mercantilización de la naturaleza bajo el capitalismo. Los mercados de carbono perpetúan el mismo sistema de acumulación por desposesión que ha caracterizado al capitalismo desde sus inicios. Los mercados de carbono permiten que las entidades continúen contaminando mientras afirman ser “carbono neutrales” mediante la compra de créditos de carbono. Este sistema refuerza el dominio de las corporaciones sobre los recursos naturales y perpetúa la injusticia ambiental (Böhm et al., 2012).

Según Chakrabarty (2014), el cambio no es solo un problema científico o ambiental, sino un problema político y económico profundamente entrelazado con la historia del capitalismo. Él postula que la era geológica actual, el Antropoceno, es el resultado de un proceso histórico en el que los modos de producción capitalistas han dado forma al medio ambiente. El argumento de Chakrabarty se basa en la idea de que el impacto humano sobre el medio ambiente no siempre ha sido el mismo y que el Antropoceno es una nueva era que implica un efecto significativo de la actividad humana en el planeta. El capitalismo y el medio ambiente han contribuido al estado actual del planeta (Chakrabarty, 2014). El capitalismo se ha asociado histórica-

mente con el crecimiento infinito, lo que lleva a un desprecio por los límites ambientales. Su crecimiento ha dependido de la explotación de los recursos naturales, lo que ha llevado a la degradación ambiental y al cambio climático. El desarrollo histórico del capitalismo ha priorizado el crecimiento económico sobre la sustentabilidad ambiental, dando lugar al Antropoceno y la crisis climática (Chakrabarty, 2014). Cáceres (2015) examinó el impacto de la expansión de la agroindustria en Argentina y su rol en la acumulación de capital por despojo. Aseveró que la expansión de la agroindustria ha llevado a la destrucción de ecosistemas y al desplazamiento de comunidades rurales. El Estado ha facilitado este proceso, que ha impulsado políticas que favorecen la agroindustria a gran escala en detrimento de los pequeños agricultores y las comunidades indígenas.

Moore (2011a) estableció que el capitalismo se basa en la extracción y explotación constante de los recursos naturales, lo que genera preocupaciones ambientales que amenazan la base misma del sistema económico. El afán de lucro y acumulación del capitalismo requiere la constante expansión y explotación de los recursos naturales (Moore, 2011a). La acumulación de capital depende de la apropiación del trabajo humano y de los recursos naturales. La asignación de recursos naturales es un impulsor crucial de la acumulación capitalista (Moore, 2011a). Esto implica la explotación de recursos naturales como combustibles fósiles, minerales y otras materias primas y el uso de la naturaleza para la eliminación de desechos. Por lo tanto, el desarrollo histórico del capitalismo ha impactado significativamente el medio ambiente. El capitalismo implicó el desplazamiento agresivo de las personas de sus recursos, el aumento de la producción a gran escala y la explotación de los recursos naturales. El crecimiento del capitalismo fue impulsado por la conversión de los recursos en una mercancía, la destrucción de los ecosistemas y la degradación ambiental. Los problemas ecológicos también son políticos y económicos y requieren un cambio significativo en el enfoque del desarrollo económico (Moore, 2011a).

3.3. Enfoques basados en el mercado para la sostenibilidad

Los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado implican incentivos económicos y mecanismos de mercado para promover prácticas sostenibles en la producción y el consumo de bienes y servicios, incluidos el precio del carbono, el ecoetiquetado, la certificación y el pago por servicios ecosistémicos (PSA).

3.3.1. Fijación de precios del carbono

El precio del carbono implica invertir en tecnologías más limpias y reducir su huella de carbono si existe un incentivo financiero para reducir las emisiones (Rosenbloom et al., 2020). El precio del carbono busca hacer que las emisiones de carbono sean más costosas para las entidades. Puede ayudar a internalizar los costos de la contaminación externa, que a menudo no se tienen en cuenta en el costo de los bienes y servicios. Si las entidades pueden pagar por la contaminación que causan, habrá un impulso hacia tecnologías más limpias ya que se incentivará a las empresas a desarrollar prácticas sostenibles. Sin embargo, es posible que la tarificación del carbono por sí sola no mitigue adecuadamente los problemas ambientales ni impulse los cambios sistémicos necesarios para la transición a una economía baja en carbono (Rosenbloom et al., 2020). Un mejor enfoque implica una “política de transición sostenible” que incorpore la fijación de precios del carbono con otras herramientas políticas, como políticas tecnológicas, políticas de innovación e inversiones en infraestructura, para acelerar la transición hacia una economía sostenible (Rosenbloom et al., 2020).

Zakeri et al. (2015) examinó la diferencia entre el precio del carbono y el comercio de emisiones desde la perspectiva de la planificación de la cadena de suministro. Si bien ambos enfoques ayudarán a reducir las emisiones, la fijación de precios del carbono es más efectiva con una gran incertidumbre sobre las emisiones futuras. Por el contrario, el comercio de emisiones es más efectivo con más certeza sobre las emisiones futuras. Por lo tanto, un enfoque híbrido que combine ambos métodos puede ser el más efectivo (Zakeri et al., 2015). Según Campiglio (2016), las políticas mone-

tarias son fundamentales para financiar la transición hacia una economía baja en carbono. Los poderes regulatorios de las entidades gubernamentales incentivarán a los bancos a invertir en proyectos sostenibles y desalentarán las inversiones en combustibles fósiles, cambiando así el sistema financiero hacia un camino más sostenible y la transición hacia una economía baja en carbono (Campiglio, 2016).

Fahimnia et al. (2013) examinó el impacto del precio del carbono en una cadena de suministro de ciclo cerrado en Australia. Descubrieron que, si bien la fijación de precios del carbono puede reducir las emisiones de manera efectiva, también aumenta los costos y reduce las ganancias. El precio del carbono es un enfoque de sostenibilidad basado en el mercado, ya que reduce las emisiones e incentiva a las empresas a implementar prácticas sostenibles. Sin embargo, puede que no sea suficiente y que se necesiten otras herramientas y métodos de política para lograr una economía sostenible. Las entidades deben adoptar un enfoque de cadena de suministro de circuito cerrado que se centre en la eficiencia y la minimización de desechos para aprovechar plenamente los beneficios de la tarificación del carbono (Fahimnia et al., 2013).

3.3.2. Ecoetiquetado y certificación

El ecoetiquetado implica el uso de una etiqueta o certificación para designar un producto o servicio que cumple con estándares ambientales específicos (Czarnezki et al., 2018). El etiquetado y la certificación ecológicos promueven la producción y el consumo sostenibles al informar a los consumidores sobre el desempeño ambiental y social de los productos. Crean incentivos de mercado para que las entidades comerciales aumenten su desempeño de sostenibilidad y permiten a los consumidores tomar decisiones más informadas sobre los productos (Czarnezki et al., 2018).

El etiquetado ecológico mejora la sostenibilidad al informar a los consumidores cómo el producto afectará el medio ambiente y les permite tomar decisiones más informadas. El enfoque crea una ventaja competitiva para las entidades que adoptan prácticas más sostenibles, ya que los consumidores probablemente comprarán productos ecológicos (Czarnezki et al., 2018). Sin embargo, se puede abusar del etiquetado ecológico, maquillarlo de ver-

de y puede carecer de transparencia. El lavado verde (*greenwashing* en inglés) implica hacer afirmaciones falsas o exageradas sobre los beneficios ambientales de los productos. La falta de transparencia puede dificultar el establecimiento de la precisión de las afirmaciones de la etiqueta ecológica.

El etiquetado ecológico también puede ser costoso y llevar mucho tiempo, lo que desalienta la participación de las pequeñas empresas (Czarnezki et al., 2018). Carlson y Palmer (2016) realizaron una metasíntesis de los beneficios del ecoetiquetado en los países en desarrollo. Descubrieron que el etiquetado ecológico podría beneficiar a los productores y mejorar los resultados ambientales. El ecoetiquetado puede mejorar el acceso al mercado y ayudar a los productores a diferenciar sus productos y exigir un precio superior, aumentando los ingresos y la rentabilidad. (Carlson y Palmer, 2016).

Se deben abordar varios obstáculos para implementar el ecoetiquetado, incluida la falta de infraestructura adecuada, como laboratorios de prueba confiables y agencias de certificación, lo que puede aumentar el costo y la complejidad de la implementación. Otro obstáculo involucra recursos financieros limitados, lo que dificulta que los productores cumplan con los requisitos de los programas de etiquetado ecológico. También existe el riesgo de que el etiquetado ecológico pueda perpetuar los desequilibrios de poder existentes dentro de la cadena de suministro.

El riesgo de lavado verde, donde las empresas pueden tergiversar sus productos como amigables con el medio ambiente para obtener una ventaja competitiva, también es un desafío importante (Carlson y Palmer, 2016; Czarnezki et al., 2018). Swartz et al. (2017) estudiaron los desafíos y oportunidades para los programas de certificación de productos del mar en Japón y establecieron que los programas de certificación de productos del mar podrían desempeñar un papel positivo en la promoción de prácticas sostenibles de productos del mar al aumentar la demanda de productos certificados y alentar a los productores a mejorar sus prácticas. Sin embargo, también encontraron que los programas de certificación enfrentan desafíos como costos altos, suministro limitado de productos certificados y preocupaciones sobre la credibilidad de los estándares de certificación (Mason, 2012; Hadjimichael y Hegland, 2016).

3.3.3. Pago por Servicios Ecosistémicos (PSA)

El pago por servicios ecosistémicos (PSA) tiene como objetivo proporcionar incentivos económicos a los propietarios o usuarios de tierras para mantener o mejorar los servicios ecosistémicos. PSA ha ganado popularidad como herramienta de conservación y gestión ambiental en los países en desarrollo, donde la protección de los recursos naturales es crucial para los medios de vida de las comunidades locales (McElwee, 2012; Suhardiman et al., 2013).

PSA refuerza la mercantilización de la naturaleza y prioriza los intereses de actores poderosos, como corporaciones multinacionales y agencias estatales, sobre los derechos de las comunidades locales. Suhardiman et al. (2013) sugirieron que el PSA es un modelo híbrido que combina incentivos basados en el mercado con el control estatal de los recursos y que el éxito de los programas de PSA depende de la capacidad de las instituciones locales para gestionar la distribución de los pagos y garantizar la participación de los grupos marginados.

PSA debe considerarse un aspecto crucial de la gobernanza ambiental, no solo una herramienta independiente. Otros instrumentos de política deberían complementar los PSA para abordar los factores complejos y multifacéticos de la degradación ecológica, otros instrumentos de política. Dichas políticas incluyen la aplicación de la ley, la gestión forestal comunitaria y la planificación espacial (Pirard, 2012).

3.3.4. Críticas a los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado

Los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado se consideran una solución a los problemas ambientales y sociales. Sin embargo, estos enfoques pueden ser cuestionados por su efectividad y legitimidad, ya que se enfocan en los resultados ambientales mientras ignoran los problemas sociales. Lout (2023) sugirió que las herramientas basadas en el mercado de la industria pesquera sostenible, como las certificaciones ecológicas, a menudo pasan por alto las preocupaciones de responsabilidad social. Dichos enfoques a menudo descuidan las preocupaciones de responsabilidad social e involucran varios desafíos de sostenibilidad y destrucción del hábitat.

Las herramientas basadas en el mercado, como las certificaciones ecológicas, se han convertido en una solución popular para abordar estos problemas (Lout, 2023). Si bien estas herramientas se enfocan en la sostenibilidad ambiental, a menudo pasan por alto preocupaciones de responsabilidad social como las normas laborales y los derechos humanos. La responsabilidad social debe integrarse en las herramientas basadas en el mercado utilizadas en la industria pesquera sostenible. La incorporación de criterios de responsabilidad social en estas herramientas garantizaría que las empresas de la industria rindan cuentas por sus impactos ambientales y sociales. Por tanto, integrar criterios de responsabilidad social mejoraría la legitimidad de estas herramientas basadas en el mercado (Lout, 2023; Marshall et al., 2015).

Los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado pueden perpetuar la desigualdad y la injusticia. Von Geibler (2013) señaló que la gobernanza basada en el mercado en el sector del aceite de palma puede favorecer a las grandes empresas y excluir a los pequeños productores, lo que genera desigualdad social y económica. Buchs y Bernauer (2023) también afirmaron que los instrumentos basados en el mercado pueden generar asimetrías de poder y resultados desiguales. Shapiro-Garza et al. (2020) y Fletcher y Büscher (2017) criticaron la lógica de mercado de los PSA y abogaron por prácticas de desarrollo alternativas que prioricen la justicia social y la gobernanza comunitaria.

Fletcher y Büscher (2017) examinaron los supuestos subyacentes de PSA, como la noción de que la naturaleza puede reducirse a un conjunto de servicios medibles y comercializables, y sugieren que PSA refuerza el paradigma de conservación neoliberal e ignora las desigualdades estructurales y las relaciones de poder que sustentan degradación ambiental. Los programas de PSA deben verse como prácticas de desarrollo alternativo que desafían el paradigma neoliberal dominante y brindan oportunidades para la acción colectiva, la coproducción de conocimiento y el empoderamiento de base (Fletcher y Büscher, 2017).

La falta de métricas estandarizadas y los informes inconsistentes limitan los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado (Harmon y Demirkan, 2011). Ng (2018) también estableció que los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado son insuficientes para abordar los problemas ambientales, ya que dependen de la acción voluntaria y es posible que no aborden

de manera efectiva las causas fundamentales del problema. Un sistema de financiamiento verde con regulaciones obligatorias e incentivos para inversiones verdes puede ser más efectivo (Ng, 2018). Sería práctico un nuevo marco de sostenibilidad con un conjunto estándar de métricas y un proceso colaborativo entre las partes interesadas (Harmon y Demirkan, 2011; Hult, 2011).

3.3.5. Condiciones necesarias para el capitalismo ecológico

El capitalismo ecológico propone la integración de las preocupaciones ecológicas con los mecanismos del mercado, principalmente a través de la internalización de los costos ambientales en el precio de los bienes y servicios. Este enfoque tiene como objetivo crear incentivos económicos que promuevan la sostenibilidad y la conservación del medio ambiente. Sin embargo, lograr el capitalismo ecológico requiere un cambio fundamental en el sistema capitalista actual, lo que requiere reconfigurar los mecanismos de mercado y las estructuras políticas. Moore (2014, 2015) sugirió que el capitalismo ecológico no es posible debido a las fallas sistémicas y estructurales del sistema capitalista actual. El impulso inherente del capitalismo por la acumulación conduce a la explotación de la mano de obra barata y la naturaleza. Las crisis ecológicas como el cambio climático son el resultado del impulso del capital para extraer recursos naturales baratos para obtener ganancias. El análisis de Moore señala que el sistema capitalista actual se basa en la naturaleza barata, y es poco probable que se logre el capitalismo ecológico porque el capitalismo es fundamentalmente incompatible con la sostenibilidad ecológica (Moore, 2014 y 2015)

El capitalismo se adapta continuamente a las críticas y desarrolla nuevas justificaciones para legitimar sus actividades. Se ha transformado en un sistema híbrido que incorpora elementos del socialismo y el ambientalismo para crear una nueva lógica para la obtención de ganancias (Chiapello, 2013). Sin embargo, este sistema híbrido a menudo refuerza las prácticas capitalistas y no aborda adecuadamente las preocupaciones ecológicas. Por lo tanto, simplemente agregar preocupaciones ecológicas al sistema capitalista no conduce necesariamente a la sostenibilidad ecológica (Chiapello, 2013). Buscher et al. (2012) sugirieron que el enfoque neoliberal de la conservación,

que hace hincapié en los mecanismos de mercado, como los pagos por los servicios de los ecosistemas y la compensación de la biodiversidad, es inadecuado para abordar las preocupaciones ecológicas. La conservación neoliberal reproduce las relaciones capitalistas de poder y control sobre los recursos naturales, lo que lleva a la injusticia ambiental y a una mayor explotación de las comunidades marginadas (Büscher et al., 2012).

La sostenibilidad ecológica requiere la transición del capitalismo a un sistema socialista que priorice las preocupaciones sociales y ecológicas sobre la obtención de ganancias. Según Foster (2015), la sostenibilidad ecológica no es posible dentro del sistema capitalista actual, ya que se basa en la explotación del trabajo y la naturaleza. Por otro lado, Boscov-Ellen (2016) sugirió que el capitalismo ecológico es posible, pero requiere una transformación del sistema capitalista actual, particularmente en cómo se estructura la economía y cómo se distribuye el poder político. Por lo tanto, el capitalismo ecológico es desafiante y requiere cambios fundamentales en el sistema capitalista. Las condiciones necesarias para el capitalismo ecológico incluyen una evaluación crítica de la relación entre el capitalismo y la sustentabilidad ambiental, nuevos mecanismos de mercado que prioricen las preocupaciones ambientales y un cambio hacia un sistema más socialista que priorice las preocupaciones sociales y ecológicas sobre la obtención de ganancias (Boscov-Ellen, 2016).

3.3.6. Exploración de estrategias potenciales para lograr el capitalismo ecológico

El capitalismo ecológico se enfoca en crear un nuevo sistema económico centrado en principios sostenibles y prioriza el bienestar ambiental y el crecimiento económico. Lograr este objetivo requerirá estrategias específicas, incluida la adopción de un enfoque de capitalismo natural (Hawken et al., 2013). Este enfoque requiere que las empresas adopten nuevos modelos de producción y consumo que se alineen con los sistemas naturales, como la energía renovable. Otro enfoque consiste en promover la ecologización del capitalismo, lo que implica cambiar los objetivos de crecimiento económico hacia prácticas ambientalmente sostenibles (Mathews, 2014). Según Blühdorn (2017), el capitalismo ecológico es inalcanzable dentro del marco

político y económico existente. Por lo tanto, se necesita un alejamiento radical del actual sistema consumista y orientado al crecimiento. Foster (2015) apoya la transición a un sistema económico socialista basado en la sostenibilidad ambiental y la justicia social.

Matlock y Lipsman (2020) sugirieron una perspectiva ecológica para la planificación urbana que prioriza la salud ambiental en las decisiones de transporte y utilización de la tierra. Afirmaron que la planificación urbana debe utilizar una perspectiva ecológica para abordar las preocupaciones ambientales. La perspectiva ecológica considera el medio ambiente como un sistema integrado que se enfoca en mantener la salud de los sistemas naturales. Este enfoque implica priorizar la salud ambiental en las decisiones sobre el uso del suelo y el transporte, como el diseño de vecindarios transitable, la protección de áreas naturales y la reducción de la dependencia del automóvil. Los planificadores urbanos pueden utilizar herramientas de evaluación de riesgos ecológicos y análisis del ciclo de vida para fundamentar las decisiones sobre uso del suelo y transporte (Matlock y Lipsman, 2020). Gallego- Álvarez y Pucheta- Martínez (2020) propusieron adoptar estrategias ambientales dentro de la industria bancaria global. Varias estrategias incluyen invertir en energía renovable e infraestructura sostenible, ofrecer préstamos e hipotecas verdes e implementar políticas y prácticas ambientalmente responsables que puedan conducir a la sostenibilidad ecológica. Los bancos deben priorizar la diversidad y la inclusión en sus procesos de toma de decisiones para garantizar perspectivas y experiencia adecuadas en sus estrategias ambientales (Gallego- Álvarez y Pucheta- Martínez, 2020). Por lo tanto, lograr el capitalismo ecológico requerirá un enfoque multifacético que involucre cambios de política, incentivos económicos y cambios sociales y culturales hacia prácticas sostenibles.

3.3.7. Potencial de innovación tecnológica para promover la sostenibilidad

La innovación tecnológica puede potencialmente desempeñar un papel importante en la promoción de la sostenibilidad en varios sectores. El desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías pueden mejorar la eficiencia de los recursos, reducir los desechos y promover prácticas sostenibles.

nibles. Según Herrero et al. (2020), la innovación podría acelerar la transición hacia un sistema alimentario sostenible. Esto podría implicar el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de la producción de alimentos, reducir el desperdicio y promover prácticas sostenibles de uso de la tierra. Ejemplos de tales tecnologías incluyen agricultura de precisión, biotecnología y blockchain, que pueden mejorar la trazabilidad de la cadena de suministro (Herrero et al., 2020).

Sarkis (2020) señaló que la innovación tecnológica es fundamental para lograr la sostenibilidad de la cadena de suministro a través de tecnologías digitales como la inteligencia artificial, Internet de las cosas (IoT) y blockchain para mejorar la visibilidad y la trazabilidad de la cadena de suministro. Litvinenko (2020) destacó la importancia de la economía digital en el desarrollo tecnológico del sector minero. El uso de tecnologías digitales como la inteligencia artificial y los macrodatos puede ayudar a optimizar la extracción y el procesamiento de minerales, reducir los desechos y el consumo de energía, y mejorar la seguridad y la protección del medio ambiente. Los cambios tecnológicos estructurales y sistémicos apoyarán la innovación y la experimentación para identificar y ampliar las prácticas sostenibles (Scoones et al., 2020).

La tecnología promueve el desarrollo sostenible, ya que desempeña un papel crucial en la reducción del consumo y el desperdicio de recursos, el aumento de la eficiencia y la mejora de la calidad de vida de las personas en los países en desarrollo. Sin embargo, la tecnología por sí sola es insuficiente y debe ir acompañada de cambios en las políticas, las instituciones y las normas sociales para lograr el desarrollo sostenible (Flint y Flint, 2013). La innovación tecnológica puede ser crucial para promover la sostenibilidad y crear condiciones propicias que apoyen la innovación y la experimentación. Asimismo, la innovación tecnológica desempeña un papel crucial en la lucha contra el cambio climático mediante el desarrollo y la implementación de soluciones que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, mejoran la eficiencia energética y permiten prácticas sostenibles en diversos sectores. Esto incluye el almacenamiento de energía, el empleo de vehículos eléctricos, las redes inteligentes y sistemas de gestión de energía, la captura y almacenamiento de carbono, las tecnologías agrícolas, entre otros (Dave, et al., 2023).

4. Conclusiones

La sustentabilidad se está volviendo cada vez más importante hoy en día a medida que se realizan esfuerzos por mitigar los impactos negativos del crecimiento económico y el desarrollo en el medio ambiente: como el cambio climático. Es necesario un cambio sistémico y una acción colectiva para lograr la sostenibilidad. Los enfoques de sostenibilidad basados en el mercado, como el etiquetado ecológico y las finanzas verdes, se han mostrado prometedores, pero deben diseñarse e implementarse cuidadosamente para evitar consecuencias negativas no deseadas. El progreso hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es fundamental para lograr la sostenibilidad, y el capitalismo ecológico puede ofrecer un marco innovador para abordar las dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo sostenible de forma coordinada. Por lo tanto, existe la necesidad de un enfoque holístico para abordar las causas profundas de la insostenibilidad y garantizar la transformación económica, social y política. Varias estrategias, como el capitalismo ecológico y la innovación tecnológica, pueden ayudar a promover la sostenibilidad; sin embargo, su efectividad depende de su implementación y alineación con objetivos de sustentabilidad más amplios.

Las implicaciones de esta investigación para la política y la práctica son que los formuladores de políticas deben reconocer las limitaciones del sistema económico actual y mejorar los sistemas económicos alternativos que priorizan la justicia social y la salud ambiental. Los formuladores de políticas deberían invertir en innovación tecnológica para promover la sostenibilidad en áreas centrales como los sistemas alimentarios, la gestión de la cadena de suministro y la economía digital. Esto puede incluir la incorporación de políticas que incentiven las prácticas comerciales sostenibles, promuevan la diversidad de género, las habilidades críticas en los objetivos de la estrategia ambiental y las perspectivas ecológicas en la planificación urbana. La implementación de soluciones que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, mejoran la eficiencia energética y permiten prácticas sostenibles en diversos sectores, desempeñan un papel crucial en la lucha contra el cambio climático mediante el desarrollo y la innovación tecnológica.

Finalmente, se necesita mayor investigación para vislumbrar los factores sociales y culturales que influyen en las prácticas sostenibles y los modelos económicos alternativos. La investigación futura debe explorar enfoques económicos alternativos y su potencial para lograr la sostenibilidad. Además, debe examinar el rol de la innovación tecnológica en la promoción de la sostenibilidad, especialmente en áreas emergentes como la inteligencia artificial y la cadena de bloques para afrontar problemas ambientales apremiantes como el cambio climático.

5. Referencias

- 49 Anievas, A., y Nişancioğlu, K. (2015). *How the West came to rule: the geopolitical origins of Capitalism*. Pluto Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt183pb6f>
- Bebbington, J., y Unerman, J. (2018). Achieving the United Nations Sustainable Development Goals: an enabling role for accounting research. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 31(1), 2-24. <https://doi.org/10.1108/AAAJ-05-2017-2929>
- 72 Blühdorn, I. (2017). Post-capitalism, post-growth, post-consumerism? Eco-political hopes beyond sustainability. *Global Discourse*, 7(1), 42-61. <https://doi.org/10.1080/23269995.2017.1300415>
- 88 Böhm, S., Misoczky, M. C., y Moog, S. (2012). Greening capitalism? A Marxist critique of carbon markets. *Organization Studies*, 33(11), 1617-1638. <https://doi.org/10.1177/0170840612463326>
- 14 Boluk, K. A., Cavaliere, C. T., y Higgins-Desbiolles, F. (2019). A critical framework for interrogating the United Nations Sustainable Development Goals 2030 Agenda in tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 27(7), 847-864. <https://doi.org/10.1080/0969582.2019.1619748>
- Boscov-Ellen, D. (2016). Capitalism in the Web of Life: Ecology and the Accumulation of Capital. *Graduate Faculty Philosophy Journal*, 37(2), 437-441. <https://doi.org/10.5840/gfpj201637226>
- 67 Buchs, R., y Bernauer, T. (2023). Market-based instruments to incentivize more sustainable practices in outer space. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 60, 101-247. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101247>
- Büscher, B., Sullivan, S., Neves, K., Igwe, J., y Brockington, D. (2012). Towards a synthesized critique of neoliberal biodiversity conservation. *Capitalism nature socialism*, 23(2), 4-30. <https://doi.org/10.1080/10455752.2012.674149>
- Cáceres, D. M. (2015). Accumulation by dispossession and socio-environmental conflicts caused by the expansion of agribusiness in Argentina. *Journal of Agrarian change*, 15(1), 116-147. <https://doi.org/10.1111/joac.12057>
- 50 Campiglio, E. (2016). Beyond carbon pricing: The role of banking and monetary policy

in financing the transition to a low-carbon economy. *Ecological economics*, 121, 220-230. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.020>

Carlson, A., y Palmer, C. (2016). A qualitative meta-synthesis of the benefits of eco-labeling in developing countries. *Ecological Economics*, 127, 129-145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.020>

Chakrabarty, D. (2014). Climate and capital: On conjoined histories. *Critical Inquiry*, 41(1), 1-23. <https://doi.org/10.1086/678154>

Chiapello, E. (2013). Capitalism and its criticisms. En P. d. Gay y G. Morgan (Eds.), *New Spirits of Capitalism? Crises, Justifications, and Dynamics* (pp. 60-81). Oxford University Press.

Czarnecki, J. J., Pollans, M. J., y Main, S. (2018). Eco-Labeling, 1-32. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3230440>

Dave, S., Sainy, M., Sharma, D., y Singh, A. (Eds.). (2023). *Climate Change Management and Social Innovations for Sustainable Global Organization*. IGI Global.

DuPlessis, R. S. (2019). *Transitions to Capitalism in Early Modern Europe*. (2a. ed., Vol. 60). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108278072>

Fahimnia, B., Sarkis, J., Dehghanian, F., Banihashemi, N., y Rahman, S. (2013). The impact of carbon pricing on a closed-loop supply chain: an Australian case study. *Journal of Cleaner Production*, 59, 210-225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.056>

Fletcher, R., y Büscher, B. (2017). The PES conceit: Revisiting the relationship between payments for environmental services and neoliberal conservation. *Ecological economics*, 132, 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.11.002>

Flint, R. W., y Flint, R. W. (2013). Basics of sustainable development. En R. W. Flint (Ed.), *Practice of Sustainable Community Development: A Participatory Framework for Change* (pp. 25-54). Springer.

Foster, J. B. (2011). Capitalism and Degrowth: An Impossibility Theorem. *Monthly review*, 62(8), 26. <https://monthlyreview.org/2011/01/01/capitalism-and-degrowth-an-impossibility-theorem/>

Foster, J. B. (2015). Marxism and ecology: Common fonts of a great transition. *Monthly Review*, 67(7), 1-13. https://doi.org/10.14452/MR-067-07-2015-11_1

Gallego-Álvarez, I., y Pucheta-Martínez, M. C. (2020). Environmental strategy in the global banking industry within the varieties of capitalism approach: The moderating role of gender diversity and board members with specific skills. *Business Strategy and the Environment*, 29(2), 347-360. <https://doi.org/10.1002/bse.2368>

Georgeson, L., y Maslin, M. (2018). Putting the United Nations Sustainable Development Goals into practice: A review of implementation, monitoring, and finance. *Geo: Geography and Environment*, 5(1), e00049. <https://doi.org/10.1002/geo2.49>

Goron, C. (2018). Ecological civilisation and the political limits of a Chinese concept of sustainability. *China Perspectives*, 2018(2018-4), 39-52. <https://doi.org/10.4000/chin perspectives.8463>

Hadjimichael, M., y Hegland, T. J. (2016). Really sustainable? Inherent risks of eco-labeling in fisheries. *Fisheries Research*, 174, 129-135. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.09.012>

- Harmon, R., y Demirkan, H. (2011). The next wave of sustainable IT. *IT professional*, 13(1), 19-25. <https://doi.org/10.1109/MITP.2010.140>
- Hawken, P., Lovins, A. B., y Lovins, L. H. (2013). *Natural capitalism: The next industrial revolution*. Routledge.
- 1 Herrero, M., Thornton, P. K., Mason-D'Croz, D., Palmer, J., Benton, T. G., Bodirsky, B. L., Bogard, J. R., Hall, A., Lee, B., Nyborg, K., Pradhan, P., Bonnett, G. D., Bryan, B. A., Campbell, B. M., Christensen, S., Clark, M., Cook, M. T., de Boer, I. J. M., Downs, C. ... y West, P. C. (2020). Innovation can accelerate the transition towards a sustainable food system. *Nature Food*, 1(5), 266-272. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0074-1>
- 78 Hult, G. T. M. (2011). Market-focused sustainability: market orientation plus! *Journal of the Academy of Marketing Science*, 39, 1-6. <https://doi.org/10.1007/s11747-010-0223-4>
- Igoe, J., Neves, K., y Brockington, D. (2010). A spectacular eco-tour around the historic bloc: Theorising the convergence of biodiversity conservation and capitalist expansion. *Antipode*, 42(3), 486-512. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.2010.00761.x>
- Kothari, A. (2014). Radical ecological democracy: a path forward for India and beyond. *Development*, 57(1), 36-45. <https://doi.org/10.1057/dev.2014.43>
- Litvinenko, V. S. (2020). Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*, 29(3), 1521-1541. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4>
- Lout, G. E. (2023). Human rights in a sea of market-based approaches: Evaluation of market-based tools integrating social responsibility in the Sustainable Seafood Movement. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.020>
- 63 Marshall, D., McCarthy, L., Heavey, C., y McGrath, P. (2015). Environmental and social supply chain management sustainability practices: construct development and measurement. *Production Planning & Control*, 26(8), 673-690. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.963726>
- Mason, C. F. (2012). The Economics of Eco-Labeling: Theory and Empirical Implications. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 6(4), 341-372. <http://dx.doi.org/10.1561/101.00000054>
- Mathews, J. A. (2014). *Greening of capitalism: How Asia is driving the next great transformation*. Stanford University Press.
- Matlock, A. S., y Lipsman, J. E. (2020). Mitigating environmental harm in urban planning: an ecological perspective. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3), 568-584. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1599327>
- 25 McElwee, P. D. (2012). Payments for environmental services as neoliberal market-based forest conservation in Vietnam: Panacea or problem? *Geoforum*, 43(3), 412-426. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2011.04.010>
- Moore, J. (2015). *Capitalism in the Web of Life: Ecology and the Accumulation of Capital*. Verso Books.
- 48 Moore, J. W. (2011a). Ecology, capital, and the nature of our times: accumulation & crisis in the capitalist world-ecology. *Journal of World-Systems Research*, 107-146. <https://doi.org/10.5195/jwsr.2011.432>

- Moore, J. W. (2011b). Transcending the metabolic rift: a theory of crises in the capitalist world-ecology. *The Journal of Peasant Studies*, 38(1), 1-46. <https://doi.org/10.1080/03066150.2010.538579>
- 41 Moore, J. W. (2014). The End of Cheap Nature. Or How I Learned to Stop Worrying about "The" Environment and Love the Crisis of Capitalism. En C. Suter y C. Chase-Dunn (Eds.), *Structures of the world political economy and the future of global conflict and cooperation* (pp. 285-314). LIT Verlag.
- Neal, L., y Williamson, J. G. (Eds.). (2014). *The Cambridge History of Capitalism: Volume 1, The Rise of Capitalism: From Ancient Origins to 1848*. Cambridge University Press.
- Newell, P. (2013). *Globalization and the environment: Capitalism, ecology and power*. John Wiley & Sons.
- 80 Ng, A. W. (2018). From sustainability accounting to a green financing system: Institutional legitimacy and market heterogeneity in a global financial centre. *Journal of cleaner production*, 195, 585-592. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.250>
- Pirard, R. (2012). Payments for Environmental Services (PES) in the public policy landscape: "Mandatory" spices in the Indonesian recipe. *Forest Policy and Economics*, 18, 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.09.002>
- 52 Porter, M. E., y Kramer, M. R. (2019). Creating shared value: How to reinvent capitalism—And unleash a wave of innovation and growth. En G.G. Lenssen y N.C. Smith (Eds.), *Managing sustainable business: An executive education case and textbook* (pp. 323-346). Springer Netherlands.
- 101 Richardson, B., y Sjöfjell, B. (2015). Capitalism, the sustainability crisis, and the limitations of current business governance. En B. Sjöfjell y B. Richardson (Eds.), *Company Law and Sustainability: Legal Barriers and Opportunities* (pp. 1-34). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107337978.003>
- Robbins, P., Hintz, J. G., y Moore, S. A. (2022). *Environment and Society: A Critical Introduction*. (3rd). John Wiley & Sons.
- 1 Rosenbloom, D., Markard, J., Geels, F. W., y Fuenfschilling, L. (2020). Why carbon pricing is not sufficient to mitigate climate change—and how "sustainability transition policy" can help. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16), 8664-8668. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004093117>
- 29 Sarkis, J. (2020). Supply chain sustainability: learning from the COVID-19 pandemic. *International Journal of Operations & Production Management*, 41(1), 63-73. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0568>
- 11 Scoones, I., Stirling, A., Abrol, D., Atela, J., Charli-Joseph, L., Eakin, H., Ely, A., Olsson, P., Pereira, L., Priya, R., van Zwanenberg, P., y Yang, L. (2020). Transformations to sustainability: combining structural, systemic and enabling approaches. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 42, 65-75.
- 25 Shapiro-Garza, E., McElwee, P., Van Hecken, G., y Corbera, E. (2020). Beyond market logics: payments for ecosystem services as alternative development practices in the global south. *Development and Change*, 51(1), 3-25. <https://doi.org/10.1111/dech.12546>

- Smith, R. (2010). Beyond growth or beyond capitalism? *Real-world economics review*, 53, 28-42. <http://gesd.free.fr/smith53.pdf>
- Suhardiman, D., Wichelns, D., Lestrelín, G., y Hoanh, C. T. (2013). Payments for ecosystem services in Vietnam: Market-based incentives or state control of resources? *Ecosystem Services*, 5, 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.06.001>
- Swartz, W., Schiller, L., Sumaila, U. R., y Ota, Y. (2017). Searching for market-based sustainability pathways: Challenges and opportunities for seafood certification programs in Japan. *Marine Policy*, 76, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.11.009>
- Von Geibler, J. (2013). Market-based governance for sustainability in value chains: conditions for successful standard setting in the palm oil sector. *Journal of Cleaner Production*, 56, 39-53. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.027>
- Wanner, T. (2015). The New 'Passive Revolution' of the Green Economy and Growth Discourse: Maintaining the 'Sustainable Development' of Neoliberal Capitalism. *New Political Economy*, 20(1), 21-41. <https://doi.org/10.1080/13563467.2013.866081>
- Zakeri, A., Dehghanian, F., Fahimnia, B., y Sarkis, J. (2015). Carbon pricing versus emissions trading: A supply chain planning perspective. *International Journal of Production Economics*, 164, 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.012>

75

34

4. Integración transdisciplinaria para la gestión sostenible de residuos: una revisión*



HÉCTOR GUADALUPE RAMÍREZ-ESCAMILLA**
MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ***
SERGIO EMMANUEL RAMÍREZ-ESCAMILLA****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.04>

Resumen

Se realizó una investigación exploratoria con el objetivo de identificar en la literatura estudios que aborden la “transdisciplina” y la “gestión de residuos”. El análisis se realizó utilizando la base de datos SCOPUS durante el período 2013-2024 y el criterio de búsqueda “waste management” AND “transdisciplinary research” arrojando un total de 21 documentos. Estos documentos fueron examinados para identificar las características de la investigación transdisciplinaria en el ámbito de la gestión de residuos, resaltando la presencia de tres áreas impulsoras: Ecología, Economía Ambiental e Ingeniería Ambiental, con énfasis en la relación con el aspecto económico. La nube de palabras clave reveló la centralidad del manejo de residuos, cambio climático y desarrollo sostenible en estas investigaciones, reflejando su relevancia y la interconexión de problemas en estos ámbitos. Destaca la importancia

* Capítulo derivado del proyecto de investigación del Instituto Politécnico Nacional SIP: 20240927.

** Estudiante de Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), del Instituto Politécnico Nacional, México. Correspondencia: hramireze1500@alumno.ipn.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-4644>

*** Doctora en Política Pública. Profesora-investigadora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>

**** Maestro en Ciencias Fisicomatemáticas por la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM) del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2062-1621>

de un enfoque interdisciplinario para abordar desafíos complejos con implicaciones locales y globales en la sostenibilidad ambiental y la mitigación del cambio climático. El papel de la transdisciplina en el manejo de residuos se centra en integrar conocimientos y enfoques de diversas disciplinas para abordar integralmente aspectos como la gestión del agua, el cambio climático, la salud humana y la equidad ambiental. Con este estudio se destacó, la relevancia que tiene la colaboración entre ingenieros ambientales, economistas, sociólogos y ecologistas para diseñar sistemas eficientes, evaluar costos y beneficios, comprender actitudes comunitarias y evaluar impactos ambientales.

Palabras clave: *transdisciplina, gestión de residuos, ecología, economía ambiental, ingeniería ambiental.*

1. Introducción

La gestión de residuos representa uno de los desafíos más apremiantes en los últimos años, con implicaciones que abarcan desde la salud pública hasta el medio ambiente y la economía (Chammas et al., 2020). Atender esta problemática va más allá de solo establecer lineamientos, seguir modelos de aplicación internacional, que por un lado no son adoptables a todas las condiciones y situaciones de cada país sino que también requieren de fuertes inversiones y avances tecnológicos.

Atender la situación de la gestión de los residuos debe involucrar acciones tan sencillas y colaborativas que pueden ser replicadas en cualquier parte del mundo. En este contexto, el enfoque transdisciplinario emerge como una herramienta fundamental para abordar esta compleja problemática de manera integral y efectiva. Estudios previos han demostrado la aplicación de la investigación transdisciplinaria para resolver problemas ambientales, sociales y económicos. El éxito de la investigación transdisciplinaria (IT) se da a partir de lograr la conjunción de distintas disciplinas y participantes académicos sumados con aquellos que no lo son, para de esta forma lograr una integración de conocimientos y orientaciones lo que aumenta la probabilidad de logro de una investigación (Goven et al., 2015; Jahn et al., 2012).

La IT y la gestión de los residuos no es ajena, ya se ha abordado en investigaciones como las de Van Hoof et al., (2024); Pathak et al., (2023); Goven et al., (2015) en donde demuestran que es funcional por tres aspectos en particular:

1. Se tiene una caracterización del problema por elementos normativos
2. La complejidad del problema requiere abordarlos desde las experiencias
3. Abordar los problemas no solo depende de la parte científica y sus propuestas si no de la aceptación social que aumente la factibilidad de volverse exitoso.

Es el último punto uno de los de mayor peso dentro de la IT ya que se trabaja con la problemática desde la integración de la parte no académica y la integración de sus conocimientos que son claves para la resolución de la gestión de residuos, sin embargo, el reto dentro de esta parte es mantener la participación dentro de una solución y garantizar en términos de beneficios una inclusión adecuada y un reparto justo (Elzinga, 2008).

En este artículo, exploramos el potencial de la transdisciplina para mejorar la gestión de residuos, a través de un análisis bibliométrico desde la identificación de soluciones innovadoras hasta su implementación práctica. A continuación, se presentan la definición de algunos de los términos aplicados en este estudio.

2. Análisis bibliométrico (AB)

El análisis bibliométrico en el contexto de la transdisciplina y la gestión de residuos permite explorar la estructura conceptual e intelectual de este campo multidisciplinario, identificando las relaciones sociales y estructurales entre sus diferentes componentes. Al analizar la producción científica desde los autores, palabras clave, documentos, fuente, países, entre otros, relaciona el enfoque de la transdisciplina y la gestión de residuos, para comprender la evolución de este campo, además de identificar áreas emergentes y tendencias actuales. Este enfoque nos proporciona una visión pa-

norámica de las investigaciones realizadas en esta área, desde modelos de negocio sostenibles hasta prácticas de cadena de suministro y políticas de innovación.

Ejemplos de trabajos bibliométricos en este campo incluyen estudios sobre la sostenibilidad en la gestión de residuos (Gumusburun Ayalp & Anaç, 2024, Elgarahy et al., 2023, Sohail et al., 2023, Prabakusuma et al., 2023, Panes et al., 2022, Ranjbari et al., 2022), análisis del ciclo de vida de los materiales (Guo & Jin, 2024, Santoyo-Castelazo et al., 2023, Furness et al., 2021), así como mapeo de tendencias en políticas de innovación en el contexto de la transdisciplina (Obreja et al., 2024, Gould et al., 2023, Pozzo et al., 2022) y enfoques específicos en educación ambiental (Legendre et al., 2024, Purba et al., 2024, Yemele et al., 2024).

3. Análisis de correspondencia múltiple (ACM)

El Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) es una técnica avanzada de análisis multivariado que permite explorar y entender las relaciones complejas entre variables e individuos en un conjunto de datos. Esta técnica es especialmente útil en contextos donde se analiza la correspondencia entre documentos a través de las palabras, ya que escala a través de múltiples dimensiones del conocimiento, facilitando la interpretación de las relaciones entre las diferentes categorías de variables (Minervi et al., 2022). El ACM se materializa en un Mapa de Estructura Conceptual, el cual proporciona una representación visual intuitiva de las relaciones entre las variables en un solo mapa.

4. Acoplamiento bibliográfico (AB)

El Acoplamiento Bibliográfico (AB) es una técnica de análisis bibliométrico que se centra en identificar las conexiones y relaciones entre documentos científicos a través de la co-citación de referencias bibliográficas. En el AB, se examinan las citas bibliográficas compartidas entre diferentes documentos para revelar patrones de asociación y afinidad temática entre

ellos. Este enfoque permite mapear la estructura conceptual de un campo de investigación, identificar las obras más influyentes o relevantes, así como detectar áreas emergentes o tendencias en la literatura científica (Martinho, 2023).

5. Mapas temáticos (MT)

Estos mapas se basan en el análisis de palabras clave con la premisa de que la aparición de estas palabras permite categorizar las investigaciones en dos dimensiones, la primera por centralidad y la segunda densidad. El mapa temático resultante surge de la relación entre las dos dimensiones anteriores, creando cuatro cuadrantes, los cuales se interpretan de la siguiente manera (Minervi et al., 2022):

1. Tema motor: que son aquellos temas centrales y de alto impacto en la comunidad científica.
2. Temas básicos: que representan los temas fundamentales, pero con un impacto moderado.
3. Temas emergentes: que son temas que están comenzando a destacar o que están perdiendo relevancia en la investigación científica.
4. Temas especializados o de nicho: que son áreas de investigación altamente especializadas y de impacto limitado en la comunidad científica.

6. Metodología

Para el análisis de la correlación entre el tema de transdisciplina y el manejo de residuos, se empleará, la metodología planteada por Minervi et al. (2022) en su estudio “Presença da economia circular em pesquisa transdisciplinar” el cual lo desglosa en 5 fases desde el diseño del estudio de revisión sistemática bibliométrica hasta la interpretación de los resultados, utilizando el software Bibliometrix.

- 1. Diseño del estudio: Se diseño una investigación bibliométrica exploratoria, utilizando Número de palabras (NP), Nube de palabras (NB) y Análisis de correspondencia MÚLTIPLE (ACM).
- 2. Recopilación de datos.
- 3. Investigación a partir de Acoplamiento bibliográfico (AB) y (ACM).
- 4. Visualización de datos: uso de Mapas temáticos (MT) para AB y mapa conceptual (MC) para Análisis de correspondencia múltiple (ACM).
- 5. Interpretación: discusión y comparación de artículos recuperados y agrupaciones encontradas.

Como primer paso, se delimitó los criterios de la búsqueda que se presentan en la tabla 1 empleando la base de datos SCOPUS, además de buscar únicamente los estudios que comprendan una temporalidad de 2013 a 2024, con el objetivo de recupera la información reciente y conocer los avances que involucren la adopción la investigación transdisciplinaria y el manejo de los residuos.

Tabla 1. Criterios de búsqueda

Base de datos	Periodo	Criterios de búsqueda	Total de documentos
SCOPUS	2013-2024	TITLE-ABS-KEY ("waste management" AND "transdisciplinary research")	21

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, los documentos fueron leídos con el objetivo de identificar características de la investigación transdisciplinaria en el ámbito de la gestión de residuos, lo que generó la Tabla 2, con un resumen de los diferentes temas tratados en los artículos, disponible a continuación:

Tabla 2. Resumen de los diferentes temas tratados en los artículos

Autores	Objetivo	Áreas
(Palmeiro-Silva et al., 2023)	Identificar los principales vacíos en la literatura científica existente sobre los impactos, la exposición y las vulnerabilidades del cambio climático en la salud de la población.	Ciencias políticas Economía ambiental Ecología Promoción de la salud
(Wantim et al., 2023)	Evaluación de las diferentes estrategias del ayuntamiento frente a la gestión de residuos urbanos y las inundaciones; evaluación de la percepción pública sobre las prácticas de eliminación de residuos y examen del nexo entre la eliminación de residuos y las inundaciones.	Ecología Ingeniería Civil Gestión de desastres Ciencias políticas Economía ambiental

<i>Autores</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Áreas</i>
(Bird et al., 2022)	Los problemas perversos son inherentes a los sistemas de alimentos, energía y agua (FEWS) debido a la complejidad y la interconexión de estos sistemas, y abordar estos desafíos requiere la participación de las diversas partes interesadas	Evaluación ambiental Economía agrícola Desarrollo sostenible
(Stöfen-O'Brien et al., 2022)	Aborda las deficiencias entorno al desecho de plásticos, desde una perspectiva transdisciplinaria, basándose en la ciencia, la ingeniería y el derecho	Ciencias ambientales Políticas Gestión de residuos
(Sutherland et al., 2021)	El enfoque de investigación transdisciplinario adoptado permitió la participación de múltiples partes interesadas con diferentes sistemas de conocimiento en la formulación, prueba y evaluación del sistema de tratamiento de agua in situ.	Química del agua Metodologías de investigación participativa Ingeniería hidráulica
(Porta, 2021)	La cantidad de materiales plásticos producidos ha ido más allá de la capacidad de gestionarlos	Toxicología ambiental Ingeniería ambiental Economía circular
(Bortolotti, 2021)	Examina el servicio de recogida de basura en Bruselas, su objetivo es arrojar luz sobre el problema de la basura en Curreghem y las propuestas que surgen en la búsqueda de una solución.	Ciencias ambientales Ingeniería ambiental Diseño sostenible Sociología comunitaria
(Ebi et al., 2020)	Abordar las brechas de conocimiento transversales para una mayor comprensión y gestión de los riesgos (agua, la higiene, el saneamiento y la gestión de residuos)	Ingeniería Ambiental Ecología Climatología Economía Ingeniería Energética Economía Ambiental
(Kytzia et al., 2020)	Nuevos modelos de negocio centrados en servicios adicionales en gestión de residuos y logística	Ciencias económicas Política ambiental Ecología
(Randhawa et al., 2020)	La conversión de residuos en energía (WTE) centralizada como una solución singular a la crisis de residuos sólidos de Delhi	Ciencias económicas Ciencia ambiental Ingeniería ambiental
(Chammas et al., 2020)	Estudio de caso de una investigación transdisciplinaria basada en una evaluación ex post de los contextos ambientales y socioconductuales de la gestión de residuos sólidos en las comunidades periurbanas libanesas	Evaluación ambiental Desarrollo sostenible Gestión de residuos
(Ndebele-Murisa et al., 2020)	Aprendizaje es esencial para que las ciudades sean resilientes a los desafíos actuales y futuros.	Ciencias de la Tierra Ciencias Ambientales Economía Ambiental Ingeniería Ambiental
(Hutner et al., 2018)	Cuantificar la prevención de residuos y su impacto ambiental y, en última instancia, motivar la implementación eficiente de conceptos de prevención de residuos mediante una comunicación de los resultados específica para el grupo objetivo	Ingeniería Industrial Economía del desarrollo Economía Ambiental
(Oyinlola et al., 2018)	Resultados de un proyecto de investigación transdisciplinario centrado en el desarrollo de recursos y capacidad para la construcción de viviendas asequibles en una comunidad de bajos ingresos en Nigeria (idoneidad del uso de materiales reciclados)	Epistemología Metodología de la investigación Economía del Desarrollo
(Velenturf et al., 2018)	Perspectiva positiva para cambiar la economía y la sociedad del Reino Unido a través de prácticas de gestión de residuos y recursos que maximicen el valor de los materiales haciéndolos circular en la economía durante el mayor tiempo posible.	Ecología Industrial Sociología Ambiental Economía Ambiental

<i>Autores</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Áreas</i>
(Crosby et al., 2018)	Laboratorio Viviente Transdisciplinario (TDLL) para involucrar a estudiantes de diseño en el contexto de investigación transdisciplinario de la gestión de residuos de alimentos en el campus	Agronomía Ciencia de los Alimentos Ingeniería Ambiental Economía Circular
(Hutner et al., 2017)	Explorar los factores clave que influyen en la participación en actividades de prevención de residuos. Investigamos el status quo, los potenciales y las barreras para la prevención de residuos dentro de las autoridades locales en alemania e identificamos medidas para la prevención de residuos	Agronomía Ciencia de los alimentos Ingeniería ambiental Ciencias ambientales
(Rodić & Wilson, 2017)	Identifica una combinación de instrumentos complementarios necesarios para ampliar la recogida a todos y controlar la eliminación	Ingeniería ambiental Economía del desarrollo Educación ambiental
(Goven et al., 2015)	Investigación transdisciplinaria (TR) generan varios desafíos interrelacionados que son en gran medida internos al proceso de TR: propiedad del proyecto, participación, integración y reflexividad	Metodología de la investigación Economía del desarrollo Sociología Ambiental
(Topic y Biedermann, 2015)	Es aplicar el modelo Integrated Solid Waste Management (ISWM) , que se basa en el enfoque del ciclo de vida y sigue la metodología del marco analítico, a la región de investigación.	Economía del desarrollo Ingeniería ambiental Ciencia ambiental Educación ambiental

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 2 se destaca la presencia de tres áreas que impulsan la investigación en el ámbito de la transdisciplina y la gestión de residuos: Ecología, Economía ambiental, Ingeniería ambiental y la relación con el aspecto económico.

7. Resultados y discusión

En la nube de palabras clave (NP) de los artículos seleccionados, figura 1, aparece como principal el manejo de residuos, seguido de cambio climático y desarrollo sostenible. La repetición frecuente de estas tres palabras clave en investigaciones sobre transdisciplina y gestión de residuos refleja su relevancia temática y la interconexión de problemas en estos ámbitos. Revisando las investigaciones recuperadas, estas palabras son fundamentales en la gestión ambiental y reflejan la necesidad de abordar tanto aspectos técnicos (manejo de residuos) como socioambientales (desarrollo sustentable y cambio climático). Además, destacan la importancia de un enfoque interdisciplinario para abordar desafíos complejos que tienen implicaciones locales y globales en la sostenibilidad ambiental y la mitigación del cambio climático.

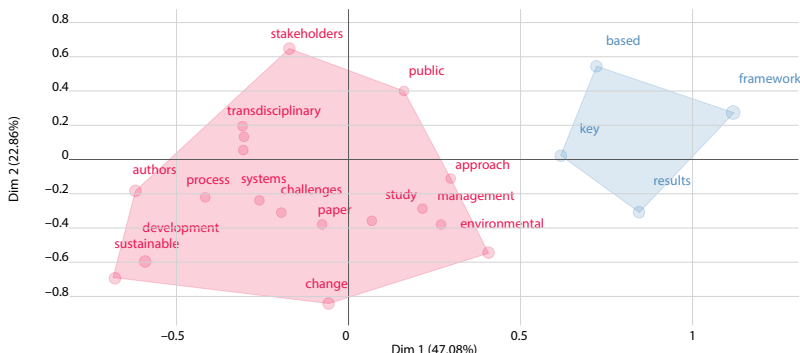
Figura 1. Nube de palabras clave del autor



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2, tenemos el unigrama MC de resúmenes de documentos. En el agrupamiento en rojo destaca como tema principal el concepto de sostenible, cambio, ambiental, enfoque, público y partes interesadas. La Figura 2 presenta dos dimensiones latentes del conocimiento conceptual. La primera dimensión, eje horizontal, representa el 47.8% de la variabilidad de los datos. Cuanto más arriba, más representativa de esta dimensión. Así, el enfoque social, político, económico y ambiental coexisten y ganan relevancia entre sí, ya que esto involucra las partes interesadas. En el eje vertical, dimensión 2 con el 22.8% de la variabilidad, cuanto más a la derecha es más representativa de esta dimensión. Aparecen los términos ambiental y enfoque. El otro grupo, en azul, se centra en las palabras estructura, clave, base y resultado, las cuales son representativas de las dos dimensiones.

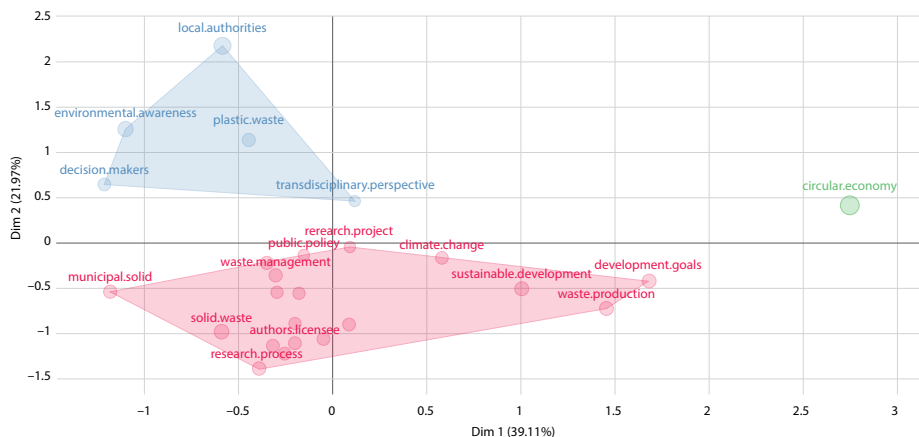
Figura 2. Mapa conceptual MCA de unigramas de resumen de artículos



Fuente: elaboración propia.

La Figura 3 considera los bigramas de los resúmenes que se encuentran en un agrupamiento resaltado (color rojo). En la dimensión 1, con un 39.11% de representación, destacan las palabras “desarrollo de metas” y “economía circular”. La dimensión 2 representa el 21.97%, es decir, las palabras menos representativas. Sin embargo, ilumina palabras como “autoridades locales”, “advertencia ambiental” y “tomadores de decisiones”. En la región central del MC en la Figura 3, aparecen palabras como “desarrollo sostenible”, “manejo de residuos”, “cambio climático”, etc., siendo el bigrama “política pública” el concepto más centralizado entre las dos dimensiones.

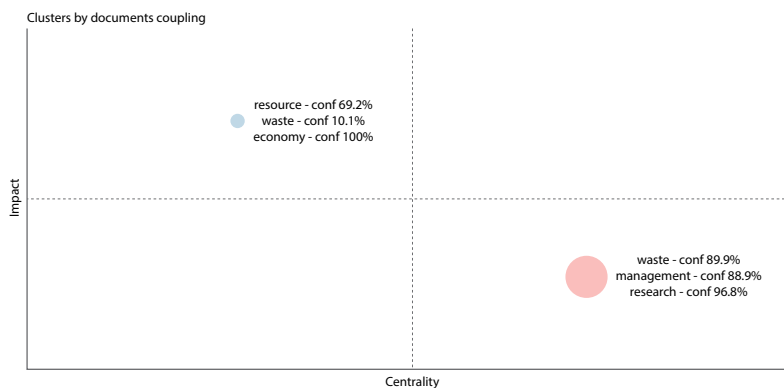
Figura 3. Mapa conceptual de ACM de bigramas de resumen de artículos



Fuente: elaboración propia.

La Figura 3 se centra en dos grupos. La agrupación azul asocia “autoridades locales”, “tomadores de decisiones” y “advertencia ambiental” con los bigramas más representativos de la dimensión 1, “perspectiva transdisciplinaria”. La inferencia que extraemos es que el agrupamiento en azul asocia cuestiones sobre la transdisciplina para la toma de decisiones en advertencias ambientales, mientras que el agrupamiento en rojo, a su vez, asocia cuestiones sociales, ambientales y de sostenibilidad, con proyectos de investigación asociados al manejo de residuos y la sustentabilidad.

Figura 4. Mapa temático de AB por bigramas dos resúmenes



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4, en el cuadrante superior izquierdo, agrupados en color azul, se encuentran temas especializados o de nicho, representados por temas como recursos, residuos, economía. En el cuadrante inferior derecho, agrupados en rojo, se encuentran los denominados temas básicos, en los que aparecen los bigramas residuos, gestión o manejo e investigación.

La transdisciplina en el manejo de residuos aborda de manera integral la interacción entre varios factores clave, como el manejo del agua, el cambio climático, la salud humana y la vulnerabilidad de ciertas poblaciones. Integrando conocimientos y enfoques de disciplinas como la ingeniería ambiental, la salud pública, la climatología y la sociología, se desarrollan estrategias que minimizan la contaminación del agua por residuos, gestionan los impactos del cambio climático en los sistemas de gestión de residuos, evalúan y mitigan los riesgos para la salud asociados con la gestión inadecuada de los residuos, y promueven la equidad ambiental al involucrar a comunidades vulnerables en la toma de decisiones sobre la gestión de residuos.

El papel de la transdisciplina entorno al manejo de residuos es involucrar las disciplinas como los ingenieros ambientales en el diseño de sistemas de recolección y tratamiento eficientes, economistas para evaluar los costos y beneficios de diferentes estrategias de gestión de residuos, sociólogos para entender las actitudes y comportamientos de la comunidad hacia la gestión de residuos, y ecologistas para evaluar los impactos ambientales de diferentes prácticas de manejo de residuos.

8. Consideraciones finales

El análisis bibliométrico y la construcción de mapas temáticos nos han proporcionado una visión detallada y estructurada de la investigación científica en el ámbito de la transdisciplina y la gestión de residuos. La nube de palabras clave revela la importancia central del manejo de residuos, el cambio climático y el desarrollo sostenible en este campo, destacando la interconexión de problemas y la necesidad de abordar tanto aspectos técnicos como socioambientales. Además, los mapas conceptuales nos muestran la relevancia de temas como la sostenibilidad, el cambio ambiental y el enfoque interdisciplinario en las investigaciones analizadas, así como la diversidad de enfoques y dimensiones latentes del conocimiento conceptual. En conjunto, estos hallazgos nos permiten comprender mejor las tendencias, los temas emergentes y la estructura general de la investigación en este campo, proporcionando perspectivas valiosas para futuros estudios y acciones en la gestión ambiental y la sostenibilidad.

La interconexión entre aspectos técnicos, socioambientales y económicos demanda un enfoque holístico que trascienda las fronteras disciplinarias tradicionales. La integración de diversas disciplinas y la colaboración entre diferentes actores, desde científicos hasta tomadores de decisiones y la sociedad civil, se vuelven fundamentales para desarrollar soluciones efectivas y sostenibles. Además, es crucial reconocer la importancia del cambio climático y el desarrollo sostenible en el contexto de la gestión de residuos, así como adoptar prácticas innovadoras que promuevan la reducción, reutilización y reciclaje de los materiales, en línea con los principios de economía circular.

9. Referencias

Bird, K. I. T., Nichols, V. A., Garay, E. S., Nowatzke, M., Essary, C., Post, K. K., Deviney, A. V., Welles, J. S., Alao, M. O., Dorbu, F. E., Classen, J. J., Koziel, J. A., y Cortus, E. L. (2022). Means, motive, and opportunity. *Elementa*, 10(1). <https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00066>

- Bortolotti, A. (2021). Afval van de stad: nood aan een hervorming van het Brusselse afvalbeheer. *Brussels studies*. <https://doi.org/10.4000/brussels.5719>
- Chammas, G., Kayed, S., Al Shami, A., Kays, W., Citton, M., Kalot, M., Al Marj, E., Fakhr, M., Yehya, N. A., Talhouk, S. N., Al-Hindi, M., Zein-El-Dine, S., Tamim, H., Lakkis, I., Abou Najm, M., y Saliba, N. A. (2020). Transdisciplinary interventions for environmental sustainability. *Waste Management*, 107, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.043>
- Crosby, A., Fam, D., y Mellick Lopes, A. (2018). Transdisciplinarity and the 'living lab model': Food waste management as a site for collaborative learning. En *Transdisciplinary Theory, Practice and Education* (pp. 117–131). Springer International Publishing.
- Ebi, K. L., Harris, F., Sioen, G. B., Wannous, C., Anyamba, A., Bi, P., Boeckmann, M., Bowen, K., Cissé, G., Dasgupta, P., Dida, G. O., Gasparatos, A., Gatzweiler, F., Javadi, F., Kanbara, S., Kone, B., Maycock, B., Morse, A., Murakami, T., ... Capon, A. (2020). Transdisciplinary research priorities for human and planetary health in the context of the 2030 agenda for sustainable development. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 88-90. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238890>
- Elgarahy, A. M., Eloffy, M. G., Alengebawy, A., El-Sherif, D. M., Gaballah, M. S., Elwakeel, K. Z., y El-Qelish, M. (2023). Sustainable management of food waste; pre-treatment strategies, techno-economic assessment, bibliometric analysis, and potential utilizations: A systematic review. *Environmental Research*, 225(115558). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115558>
- Elzinga, A. (2008). Participation. In: Hadorn, G.H., et al. *Handbook of Transdisciplinary Research*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6699-3_22
- Furness, M., Bello-Mendoza, R., Dassonvalle, J., y Chamy-Maggi, R. (2021). Building the 'Bio-factory': A bibliometric analysis of circular economies and Life Cycle Sustainability Assessment in wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 323(129127), 129127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129127>
- Gould, H., Kelleher, L., y O'Neill, E. (2023). Trends and policy in bioeconomy literature: A bibliometric review. *EFB Bioeconomy Journal*, 3(100047). <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2023.100047>
- Goven, J., Langer, E. R. (Iisa), Baker, V., Ataria, J., y Leckie, A. (2015). A transdisciplinary approach to local waste management in New Zealand: Addressing interrelated challenges through indigenous partnership. *Futures*, 73, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.07.011>
- Goven, J., Langer, E. R. (Iisa), Baker, V., Ataria, J., y Leckie, A. (2015). A transdisciplinary approach to local waste management in New Zealand: Addressing interrelated challenges through indigenous partnership. *Futures*, 73, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.07.011>
- Gumusburun Ayalp, G., y Anaç, M. (2024). A comprehensive analysis of the barriers to effective construction and demolition waste management: A bibliometric ap-

- proach. *Cleaner Waste Systems*, 8(100141). <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100141>
- Guo, G., y Jin, F. (2024). The cellulose hydrolysis into glucose with carbon-based solid acid catalyst via machine learning, life cycle assessment and bibliometric analysis. *Fuel*, 362(130891). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.130891>
- Hutner, P., Helbig, C., Stindt, D., Thorenz, A., y Tuma, A. (2018). Transdisciplinary development of a life cycle-based approach to measure and communicate waste prevention effects in local authorities. *Journal of Industrial Ecology*, 22(5), 1050–1065. <https://doi.org/10.1111/jiec.12781>
- Hutner, P., Thorenz, A., y Tuma, A. (2017). Waste prevention in communities: A comprehensive survey analyzing status quo, potentials, barriers and measures. *Journal of Cleaner Production*, 141, 837–851. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.156>
- Jahn, T., Bergmann, M., y Keil, F. (2012). Transdisciplinarity: Between mainstreaming and marginalization. *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 79, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.017>
- Kytzia, S., Meglin, R., Kliem, D., Scheidegger, A., y Hügel, K. (2020). Co-Evolution of Business Strategies in material and construction industries and public policies. IOP conference series. *Earth and environmental science*, 588(4), 042–032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/4/042032>
- Legendre, T. S., Ding, A., y Back, K.-J. (2024). A bibliometric analysis of the hospitality and tourism environmental, social, and governance (ESG) literature. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 58, 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.jhtmt.2024.01.003>
- Martinho, V. J. P. D. (2023). Life-cycle cost analysis (LCCA): Comparing outputs for bibliographic coupling and citation links. *Heliyon*, 9(11), e21182. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21182>
- Minervi, N. A., Silva, S. F. da, Mazon Barreto, T. M., y Freitas, M. do C. D. (2022). Presença da economia circular em pesquisa transdisciplinar. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 18(53), 36. <https://doi.org/10.3895/rts.v18n53.15654>
- Ndebele-Murisa, M. R., Mubaya, C. P., Pretorius, L., Mamombe, R., lipinge, K., Nchito, W., Mfunje, J. K., Siame, G., y Mwalukanga, B. (2020). City to city learning and knowledge exchange for climate resilience in southern Africa. *PloS One*, 15(1), e0227915. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227915>
- Obreja, D. M., Rughiniș, R., y Rosner, D. (2024). Mapping the conceptual structure of innovation in artificial intelligence research: A bibliometric analysis and systematic literature review. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(1), 100–465. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100465>
- Oyinlola, M., Whitehead, T., Abuzeinab, A., Adefila, A., Akinola, Y., Anafi, F., Farukh, F., Jegede, O., Kandan, K., Kim, B., y Mosugu, E. (2018). Bottle house: A case study of transdisciplinary research for tackling global challenges. *Habitat International*, 79, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2018.07.007>
- Palmeiro-Silva, Y. K., Lescano, A. G., Flores, E. C., Astorga E, Y., Rojas, L., Chavez, M. G., Mora-Rivera, W., y Hartinger, S. M. (2023). Identifying gaps on health impacts, expo-

- asures, and vulnerabilities to climate change on human health and wellbeing in South America: a scoping review. *Lancet Regional Health. Americas*, 26(100580), 100580. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100580>
- Panes, P., Macariola, M. A., Niervo, C., Maghanoy, A. G., Garcia, K. P., y Ignacio, J. J. (2022). A bibliometric approach for analyzing the potential role of waste-derived nanoparticles in the upstream oil and gas industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 8(100468), 100468. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100468>
- Pathak, G. S., Hinge, M., y Otzen, D. E. (2023). Transdisciplinary pragmatic melioration for the plastic life cycle: Why the social, natural, and technical sciences should prioritize reducing harm. *The Science of the Total Environment*, 895(165154), 165154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165154>
- Porta, R. (2021). Anthropocene, the plastic age and future perspectives. *FEBS Open Bio*, 11(4), 948–953. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13122>
- Pozzo, D. N., Roa, I. G., Beleño, C. A. G., Orfale, H. J., Fajar do, B. Y. A., y Camargo, M. E. (2022). Mapping Innovation Systems in Latin America: a bibliometric review of current trends. *Procedia Computer Science*, 203, 496–501. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.069>
- Prabakusuma, A. S., Wardono, B., Fahlevi, M., Zulham, A., Djoko Sunarno, M. T., Syukur, M., Aljuaid, M., Saniuk, S., Apriliani, T., y Pramoda, R. (2023). A bibliometric approach to understanding the recent development of self-sufficient fish feed production utilizing agri-food wastes and by-products towards sustainable aquaculture. *Heliyon*, 9(7), e17573. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17573>
- Purba, L. D. A., Susanti, H., Admirasari, R., Praharyawan, S., Taufikurahman, y Iwamoto, K. (2024). Bibliometric insights into microalgae cultivation in wastewater: Trends and future prospects for biolipid production and environmental sustainability. *Journal of Environmental Management*, 352(120104), 120104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120104>
- Randhawa, P., Marshall, F., Kushwaha, P. K., y Desai, P. (2020). Pathways for sustainable urban waste management and reduced environmental health risks in India: Winners, losers, and alternatives to waste to energy in Delhi. *Frontiers in sustainable cities*, 2. <https://doi.org/10.3389/frsc.2020.00014>
- Ranjbari, M., Shams Esfandabadi, Z., Quatraro, F., Vatanparast, H., Lam, S. S., Aghbashlo, M., y Tabatabaei, M. (2022). Biomass and organic waste potentials towards implementing circular bioeconomy platforms: A systematic bibliometric analysis. *Fuel*, 318(123585), 123585. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123585>
- Rodić, L., y Wilson, D. (2017). Resolving governance issues to achieve priority sustainable development goals related to solid waste management in developing countries. *Sustainability*, 9(3), 404. <https://doi.org/10.3390/su9030404>
- Santoyo-Castelazo, E., Santoyo, E., Zurita-García, L., Camacho Luengas, D. A., y Solano-Olivares, K. (2023). Life cycle assessment of bioethanol production from sugarcane bagasse using a gasification conversion Process: Bibliometric analysis, systematic literature review and a case study. *Applied Thermal Engineering*, 219(119-414). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119414>

- Sohail, S. S., Javed, Z., Nadeem, M., Anwer, F., Farhat, F., Hussain, A., Himeur, Y., y Madsen, D. Ø. (2023). Multi-criteria decision making-based waste management: A bibliometric analysis. *Heliyon*, 9(11), e21261. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21261>
- Stöfen-O'Brien, A., Naji, A., Brooks, A. L., Jambeck, J. R., y Khan, F. R. (2022). Marine plastic debris in the Arabian/Persian Gulf: Challenges, opportunities and recommendations from a transdisciplinary perspective. *Marine Policy*, 136(104909), 104-909. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104909>
- Sutherland, C., Reynaert, E., Sindall, R. C., Riechmann, M. E., Magwaza, F., Lienert, J., Buthelezi, S., Khumalo, D., Dhlamini, S., Morgenroth, E., y Udert, K. M. (2021). Innovation for improved hand hygiene: Field testing the Autarky handwashing station in collaboration with informal settlement residents in Durban, South Africa. *The Science of the Total Environment*, 796(149024), 149024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149024>
- Topic, M., y Biedermann, H. (2015). Planning of integrated/sustainable solid waste management (ISWM) - model of integrated solid waste management in Republika Srpska/B&H. *Serbian Journal of Management*, 10(2), 255–267. <https://doi.org/10.5937/sjm10-7360>
- Van Hoof, B., Solano, A., Riaño, J., Mendez, C., y Medaglia, A. L. (2024). Decision-making for circular economy implementation in agri-food systems: A transdisciplinary case study of cacao in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 434(140-307). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140307>
- Velenturf, A., y Purnell, P. (2017). Resource Recovery from waste: Restoring the balance between resource scarcity and waste overload. *Sustainability*, 9(9), 1603. <https://doi.org/10.3390/su9091603>
- Velenturf, A., Purnell, P., Tregent, M., Ferguson, J., y Holmes, A. (2018). Co-producing a vision and approach for the transition towards a circular economy: Perspectives from government partners. *Sustainability*, 10(5), 1401. <https://doi.org/10.3390/su10051401>
- Wantim, M. N., Zisuh, A. F., Tendong, N. S., Mbua, R. L., Findi, E. N., y Ayonghe, S. N. (2023). Strategies and perceptions towards flood control and waste management in Limbe city, Cameroon. *Jamba (Potchefstroom, South Africa)*, 15(1). <https://doi.org/10.4102/jamba.v15i1.1390>
- Yemele, O. M., Zhao, Z., Nkoh, J. N., Yemele, E., y Usman, M. (2024). A systematic review of polycyclic aromatic hydrocarbon pollution: A combined bibliometric and mechanistic analysis of research trend toward an environmentally friendly solution. *The Science of the Total Environment*, 926(171-577). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171577>

5. Economía circular integrada del agua: soluciones para los problemas derivados de la escasez de agua*



JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL**

CHRISTIAN MUÑOZ-SÁNCHEZ***

ESTEBAN MARTÍNEZ DÍAZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.05>

Resumen

La disponibilidad de fuentes de agua dulce está disminuyendo debido a la sobre extracción, la contaminación y los impactos del cambio climático. El aumento de la demanda y la disminución de la oferta crean una situación en la que los recursos hídricos se vuelven escasos. Este artículo explora la Economía Circular Integrada del Agua como marco para abordar los desafíos de la escasez de agua. Se realizó una búsqueda sistemática, considerando artículos de 2004 a 2024 en bases de datos relevantes. La revisión enfatiza la importancia de la reutilización, el reciclaje y la eficiencia en la Economía Circular Integrada del Agua. Los hallazgos clave resaltan la importancia de tratar y recuperar las aguas residuales mediante filtración avanzada, procesos biológicos y métodos de desinfección. El enfoque de la Economía Circular Integrada del Agua proporciona información sobre cómo maximizar la utilización de los recursos hídricos, minimizar la des-

* Derivado del proyecto SIP 20240598: Responsabilidad Social Empresarial y Sostenibilidad en el Abastecimiento de Agua.

** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. Correspondencia: j.a.silva@outlook.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

*** Doctor en Ciencias Sociales en Economía, Gestión y Políticas de Innovación. Profesor-investigador de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-0114>

**** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor-investigador de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8692-4252>

carga de aguas residuales y promover un ciclo sostenible del agua. Investigaciones futuras evaluarán las implicaciones ambientales, económicas y sociales de la reutilización y el reciclaje del agua, la escalabilidad de las tecnologías de ahorro de agua, los aspectos del cambio de comportamiento y el impacto en los ecosistemas y la biodiversidad.

Palabras clave: *economía circular integrada, eficiencia hídrica, reciclaje de agua, reutilización del agua.*

1. Introducción

La escasez de agua es un desafío global crítico que plantea amenazas importantes al desarrollo sostenible y al bienestar social. La creciente demanda de recursos hídricos, combinada con los impactos del cambio climático y el crecimiento demográfico, subraya la necesidad urgente de enfoques innovadores para abordar la escasez de agua (SgROI et al., 2018; Winans et al., 2017). Las prácticas tradicionales de gestión lineal del agua, centradas principalmente en la extracción, el consumo y la eliminación, ya no son suficientes para satisfacer las crecientes demandas de agua y proteger el medio ambiente.

En respuesta a este desafío, el concepto de Economía Circular Integrada del Agua ha surgido como un paradigma prometedor para la gestión sostenible del agua (SgROI et al., 2018). Este enfoque enfatiza el uso eficiente y efectivo de los recursos hídricos a través de un sistema de circuito cerrado inspirado en los principios de la economía circular. Busca minimizar el desperdicio de agua, maximizar la recuperación de recursos y mejorar la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas hídricos (Winans et al., 2017; Heshmati, 2017).

Se han llevado a cabo extensas investigaciones sobre la Economía Circular Integrada del Agua, incluida la reutilización y el reciclaje del agua, la eficiencia del agua y la gestión holística del ciclo del agua. Por ejemplo, Meneses et al. (2010) destacan la importancia del tratamiento y recuperación de aguas residuales para maximizar la utilización de los recursos hídricos. De forma similar, Chartzoulakis y Bertaki (2015) analizan las prác-

ticas sostenibles de gestión del agua en la agricultura bajo la influencia del cambio climático (Meneses et al., 2010).

Si bien estos estudios, junto con muchos otros, han proporcionado información valiosa sobre el potencial de la Economía Circular Integrada del Agua para abordar los desafíos de la escasez de agua, todavía es necesario realizar una revisión exhaustiva de la literatura para sintetizar los hallazgos, identificar brechas en la investigación y Proporcionar una comprensión holística del tema. Esta investigación aborda esta brecha mediante la realización de una revisión rigurosa de la literatura sobre la Economía Circular Integrada del Agua. La novedad y justificación de esta investigación radica en su enfoque integral y sistemático que proporciona una descripción general objetiva y basada en evidencia del tema utilizando una metodología que incluye búsqueda sistemática, selección y análisis crítico de la literatura.

Al adoptar un enfoque holístico, los gestores del agua pueden garantizar la sostenibilidad y la resiliencia a largo plazo de los sistemas hídricos. Los problemas ambientales como la crisis climática, entre otros, requieren solución, por lo cual la economía circular del agua coadyuva en esta tarea y es la forma como se vincula con la temática principal de este libro.

2. Metodología

Esta investigación empleó el enfoque de revisión de la literatura que es un método riguroso y sistemático para identificar, evaluar y sintetizar artículos de investigación relevantes y otras fuentes de información sobre un tema específico. La búsqueda se centró en identificar estrategias, tecnologías y enfoques que promuevan el uso eficiente y eficaz de los recursos hídricos, minimicen el desperdicio y mejoren la sostenibilidad dentro del sector hídrico.

Se realizaron búsquedas sistemáticas en múltiples bases de datos, incluidas Web of Science y Scopus, para garantizar una revisión exhaustiva de la literatura. Los términos de búsqueda y las palabras clave utilizados se seleccionaron cuidadosamente para capturar los conceptos centrales y el alcance del estudio. La búsqueda se limitó a artículos publicados entre 2004 y 2024 para incluir las investigaciones más recientes y relevantes. Los criterios de inclusión y exclusión se establecieron en función de factores predefinidos,

como la fecha de publicación, el idioma y la relevancia para las preguntas de investigación. El proceso de selección implicó múltiples etapas: selección de títulos, revisión de resúmenes y evaluación del texto completo.

3. Resultados y su discusión

3.1. Desafíos derivados de la escasez de agua

La escasez de agua presenta desafíos complejos con implicaciones importantes para las sociedades humanas, los ecosistemas y el desarrollo sostenible. A medida que la demanda de agua sigue aumentando debido al crecimiento demográfico, la urbanización y el desarrollo económico, la disponibilidad de fuentes de agua dulce está disminuyendo debido a la sobre extracción, la contaminación y los impactos del cambio climático (Calzadilla et al., 2011). El aumento de la demanda y la disminución de la oferta crean una situación en la que los recursos hídricos se vuelven escasos, lo que genera muchos desafíos. Uno de los desafíos más apremiantes de la escasez de agua es el acceso limitado a agua limpia y segura (Calzadilla et al., 2011).

El sector agrícola, uno de los principales consumidores de agua, enfrenta importantes desafíos debido a la escasez de agua. La disponibilidad insuficiente de agua afecta gravemente la producción de cultivos y la seguridad alimentaria. La reducción de la disponibilidad de agua conduce a menores rendimientos, pérdidas de cosechas y un cambio hacia cultivos que requieren menos agua, lo que afecta la diversidad de cultivos y la producción general de alimentos (Hanjra y Qureshi, 2010). Esto, a su vez, puede provocar volatilidad de los precios de los alimentos y una mayor vulnerabilidad a las crisis alimentarias, especialmente en regiones que dependen en gran medida de la agricultura de secano (Meneses et al., 2010).

En regiones donde la escasez de agua es grave, la competencia por los recursos hídricos puede generar tensiones y conflictos sociales. Pueden surgir conflictos entre comunidades o regiones que compiten por recursos hídricos limitados. La escasez de agua exacerba las desigualdades sociales existentes y puede alimentar el malestar y la migración, lo que resulta en

inestabilidad social y desplazamientos (Cosgrove y Loucks, 2015). En algunos casos, se ha identificado que la escasez de agua contribuye al malestar regional y a las tensiones geopolíticas. Las industrias que dependen en gran medida del agua para sus operaciones, como la agricultura, la manufactura y la producción de energía, también enfrentan desafíos económicos debido a la escasez de agua.

La disponibilidad limitada de agua puede generar mayores costos de producción, un menor crecimiento económico y menores oportunidades laborales en estos sectores (Rockstrom, 2013). Además, la escasez de agua plantea riesgos para la producción de energía, ya que muchas formas de generación de energía, incluidas las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, dependen de la disponibilidad de agua para su refrigeración y funcionamiento. En tiempos de grave escasez de agua, el funcionamiento de las centrales eléctricas puede verse limitado, lo que afecta la generación y el suministro de energía (Shatat, 2014). La escasez de agua pone a prueba la infraestructura hídrica existente, especialmente en las zonas urbanas que experimentan un rápido crecimiento demográfico. La extracción excesiva de agua subterránea para satisfacer las crecientes demandas puede provocar el agotamiento de los acuíferos, provocando hundimientos del suelo y daños a la infraestructura (Hoekstra et al., 2018).

Los enfoques de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), que consideran la naturaleza interconectada de los recursos hídricos e incorporan consideraciones sociales, económicas y ambientales, son esenciales para la gestión de los recursos hídricos de forma sostenible y garantizar un acceso equitativo al agua para todos (Gherghel et al., 2019). La participación comunitaria y la cooperación internacional son vitales para una gestión eficaz de los recursos hídricos y abordar los desafíos de la escasez de agua a nivel mundial (Ahmed et al., 2022; Hernández-Chover et al., 2022; Becerra et al., 2020; Smol et al., 2020; Lekshmi et al., 2020).

3.2. Gestión sostenible del agua y reformas institucionales

La Economía Circular Integrada del Agua se basa en el entendimiento de que una gestión eficaz del agua es esencial para abordar los desafíos de la

escasez de agua y garantizar la disponibilidad de agua limpia y segura para las generaciones presentes y futuras. Saleth y Dinar (2004) destacan la necesidad de reformas institucionales para lograr una gestión sostenible del agua. Este análisis llama la atención sobre porque las reformas institucionales son cruciales para garantizar el uso eficiente y la conservación de los recursos hídricos. Dichas reformas implican el establecimiento de sistemas de gobernanza que fomenten la asignación, gestión y utilización responsable del agua (Saleth y Dinar, 2004). Barlow (2009) ejemplifica este enfoque, quien aboga por cambios de políticas y acciones colectivas para garantizar una gobernanza del agua equitativa y sostenible como un derecho humano fundamental.

Xu et al. (2009) señalan que se pueden emplear herramientas de apoyo a la toma de decisiones, como la dinámica de sistemas, para optimizar la planificación de la economía circular y el análisis de riesgos. Esto proporciona a los formuladores de políticas información valiosa sobre los posibles riesgos, compensaciones y beneficios asociados con las iniciativas de economía circular en la gestión del agua (Ahmed et al., 2022; Hernández-Chover et al., 2022; Becerra et al., 2020; Smol et al., 2020; Lekshmi et al., 2020).

La privatización del agua ha sido un tema de debate en las discusiones sobre gestión del agua, y sus implicaciones sociales, económicas y ambientales han llamado la atención. Bakker (2010) señala que los modelos alternativos de gobernanza del agua, como los sistemas inteligentes de gestión del agua y las redes de sensores, pueden abordar los desafíos de la escasez de agua mejorando la eficiencia hídrica y el monitoreo en tiempo real.

La escasez de agua plantea desafíos importantes para la productividad agrícola y la seguridad alimentaria futura. Hanjra y Qureshi (2010) destacan la importancia de las prácticas sostenibles de gestión del agua, las tecnologías de riego eficientes y la agricultura resiliente al clima para garantizar la seguridad alimentaria futura en medio de la escasez de agua (Viles et al., 2020; Ward y Ruckstuhl, 2017; Neczaj y Grosser, 2018; Delgado et al., 2021). Al adoptar principios de economía circular en la gestión del agua, como la reutilización y la recuperación de recursos, el sector agrícola puede optimizar los recursos hídricos y reducir su dependencia del suministro de agua dulce (Nika et al., 2020; Sarrafzadeh, 2022; Clarke, 2013; Davies, 2011).

3.3. Gestión integrada de los recursos hídricos para la seguridad hídrica

La GIRH es un enfoque integral que garantiza la seguridad hídrica y el desarrollo sostenible mediante la gestión de los recursos hídricos de manera integrada y coordinada (Foster y Ait-Kadi, 2012). La GIRH aborda la escasez de agua y promueve la resiliencia frente a los crecientes desafíos hídricos (Giupponi y Gain, 2017). Su objetivo es optimizar la asignación y el uso de los recursos hídricos para satisfacer las necesidades de diversos sectores, incluidos la agricultura, la industria, el uso doméstico y el medio ambiente. Esto involucra a partes interesadas de diferentes sectores, incluidas agencias gubernamentales, comunidades locales, industrias y organizaciones ambientales, en la toma de decisiones.

Uno de los principios críticos de este enfoque es considerar el agua como un recurso económico, social y ambiental. El agua tiene un valor que va más allá de su utilidad económica, y su gestión sostenible es fundamental para mantener los ecosistemas, la biodiversidad y la salud general del planeta (Foster y Ait-Kadi, 2012; Giupponi y Gain, 2017). La GIRH hace hincapié en la protección de las fuentes de agua, la prevención de la contaminación y la restauración de cuerpos de agua degradados (Foster y Ait-Kadi, 2012).

Estructuras de gobernanza efectivas, políticas transparentes y marcos regulatorios son esenciales para implementar con éxito la GIRH. Esto incluye descentralizar los procesos de toma de decisiones a niveles locales, empoderar a las comunidades para que administren sus recursos hídricos y fomentar la participación pública en la gestión del agua. Además, la GIRH enfatiza la necesidad de una gestión adaptativa. A medida que la disponibilidad y la demanda de agua cambian debido a la variabilidad climática y el crecimiento demográfico, los enfoques flexibles y dinámicos para la gestión del agua se vuelven cruciales. La gestión adaptativa implica revisar y ajustar las estrategias de gestión del agua en función de nueva información y condiciones cambiantes (Foster y Ait-Kadi, 2012; Giupponi y Gain, 2017).

La seguridad hídrica es un aspecto central de la GIRH. Al gestionar los recursos hídricos de manera sostenible, la GIRH tiene como objetivo garantizar un suministro de agua confiable y suficiente para todos los usuarios,

incluidas las comunidades marginadas y vulnerables. La GIRH contribuye a la reducción de la pobreza, la seguridad alimentaria y la salud pública al promover la seguridad hídrica. También mejora la resiliencia de los ecosistemas para resistir los desafíos relacionados con el agua. La GIRH ha sido respaldada a nivel mundial, y muchos países han incorporado sus principios en las políticas y legislaciones nacionales sobre el agua (Foster y Ait-Kadi, 2012; Giupponi y Gain, 2017). Las Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales han promovido activamente la GIRH como una estrategia fundamental para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 6, que se centra en garantizar agua potable y saneamiento para todos. Sin embargo, implementar la GIRH puede ser un desafío, especialmente en regiones con recursos y capacidad institucional limitados. Requiere una fuerte voluntad política, inversiones financieras y experiencia técnica. Además, pueden surgir conflictos entre los usuarios y los sectores del agua, lo que requiere mecanismos eficaces de resolución de conflictos (Foster y Ait-Kadi, 2012; Giupponi y Gain, 2017).

3.4. Reutilización y reciclaje del agua

La reutilización y el reciclaje del agua son vitales en la Economía Circular Integrada del Agua y ofrecen importantes beneficios para la gestión sostenible del agua. Meneses et al. (2010) destacan la importancia de tratar y recuperar aguas residuales para optimizar la utilización de los recursos hídricos. Este enfoque implica el empleo de filtración avanzada, procesos biológicos y métodos de desinfección para garantizar la calidad y seguridad del agua recuperada. La reutilización y el reciclaje del agua reducen la presión sobre las fuentes de agua dulce. Al tratar y reutilizar las aguas residuales, se puede reducir significativamente la demanda de agua dulce (Voulvoulis, 2018; Gude, 2017). El tratamiento efectivo elimina los contaminantes de las aguas residuales, asegurando que el efluente vertido cumpla con los estándares regulatorios (Guo et al., 2019; Van Buren et al., 2016; Hanjra y Qureshi, 2010; Xu et al., 2009; Smith, 2017; Calzadilla et al., 2011; Mancosu et al., 2015); esto reduce el impacto ambiental de la descarga de aguas residuales, protege los recursos hídricos y promueve la salud del ecosistema.

La reutilización del agua para diversos fines apoya un ciclo sostenible del agua. En lugar de un modelo lineal de uso del agua, en el que el agua se extrae, se utiliza y se descarta, el enfoque de economía circular enfatiza cerrar el circuito y reutilizar los recursos hídricos (Hanjara y Qureshi, 2010; Geissdoerfer et al., 2017).

Los nutrientes del agua reciclada, como el nitrógeno y el fósforo, pueden servir como fertilizantes valiosos, reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos y minimizando la escorrentía de nutrientes hacia los cuerpos de agua. Esto mejora las prácticas agrícolas sostenibles y reduce el impacto ambiental de los métodos agrícolas convencionales (Chartzoulakis y Bertaki, 2015; Tayebi-Khorami et al., 2019). Las prácticas exitosas de reutilización y reciclaje del agua dependen de la colaboración de diversas partes interesadas, incluidas agencias gubernamentales, empresas de servicios públicos de agua, industrias y el público. Se necesitan regulaciones y directrices para garantizar el uso seguro y apropiado del agua. La conciencia y la aceptación públicas son vitales para superar las posibles preocupaciones relacionadas con la escasez de agua (Greve et al., 2018; Barlow, 2009; Saleth y Dinar, 2004).

Los análisis de costo-beneficio deben considerar aspectos financieros y las ganancias económicas potenciales asociadas con la recuperación de recursos y la generación de ingresos a partir del agua reutilizada o sus subproductos. Al optimizar la viabilidad económica de las iniciativas de reutilización de aguas residuales, los tomadores de decisiones pueden incentivar las inversiones públicas y privadas en prácticas de economía circular (Srinivasan et al., 2012; Gohari et al., 2013; Shatat y Rittaf, 2014; Davies y Simonovic, 2011; Waraich et al., 2011; Zhao et al., 2010). La aceptación social es un factor crítico que determina el éxito de los proyectos de reutilización de aguas residuales. Es esencial involucrar e involucrar a las comunidades locales, las partes interesadas y los usuarios finales en el proceso de toma de decisiones. Las campañas de sensibilización y divulgación pública pueden ayudar a abordar conceptos erróneos y crear conciencia sobre la seguridad y los beneficios de la reutilización de aguas residuales tratadas (Herrera-León et al., 2019). La comunicación efectiva sobre los impactos positivos de la reutilización de aguas residuales, como la reducción de la presión sobre las fuentes de agua dulce y la mejora de la seguridad hídrica pueden

fomentar el apoyo público y generar confianza en el enfoque de la economía circular (Calow et al., 2010; Scott et al., 2011; Rockstrom, 2013; Herrera-León et al., 2019).

3.5. Conservación y eficiencia del agua

Los esfuerzos para conservar y mejorar la eficiencia hídrica son aspectos críticos de la Economía Circular Integrada del Agua. Chartzoulakis y Bertaki (2015) destacan la importancia de la gestión sostenible del agua en la agricultura, particularmente en el cambio climático (Durán-Romero et al., 2020). Destacan la adopción de tecnologías y prácticas de ahorro de agua para minimizar el consumo de agua y al mismo tiempo mantener la productividad agrícola (Scott et al., 2011). Mejorar la eficiencia hídrica en la agricultura puede implicar la implementación de sistemas de riego por goteo para llevar agua directamente a la zona de las raíces de las plantas, minimizando la pérdida de agua debido a la evaporación y la escorrentía. Esto garantiza que el agua se utilice de manera eficiente y eficaz, optimizando el rendimiento de los cultivos y reduciendo el consumo de agua (Scott et al., 2011).

La agricultura de precisión, que combina sensores remotos, monitoreo de la humedad del suelo y programación de riego computarizada, mejora aún más la eficiencia del agua al permitir a los agricultores adaptar las prácticas de riego basadas en datos en tiempo real y requisitos específicos de los cultivos (Schroeder et al., 2019; Esposito et al., 2020; Greve et al., 2018; Velenturf y Purnell, 2021); por lo tanto, las prácticas de riego sostenible desempeñan un papel fundamental a la hora de abordar los desafíos de la escasez de agua en la agricultura, donde el consumo de agua es significativamente alto, lo que la hace vulnerable a la escasez de agua.

Como importante consumidor de recursos hídricos, la agricultura necesita adoptar técnicas de ahorro de agua y prácticas de riego eficientes para reducir los impactos de la escasez de agua y mejorar la productividad agrícola (Calzadilla et al., 2011). La implementación de estas prácticas requiere un enfoque integrado para la gestión de los recursos hídricos e intervenciones políticas que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia en el uso circular del agua (Calzadilla et al., 2011).

Los sistemas eficientes de gestión del agua en hogares, industrias y edificios comerciales desempeñan un papel importante en la conservación del agua. El consumo de agua se puede reducir significativamente sin comprometer la comodidad o la funcionalidad mediante la adopción de accesorios que ahorren agua, como inodoros, grifos y cabezales de ducha de bajo flujo. Los sistemas de detección de fugas y las prácticas de mantenimiento regular ayudan a identificar y abordar rápidamente las fugas de agua, minimizando el desperdicio de agua (Gherghel et al., 2019; Bakker, 2010; Ward y Ruckstuh, 2017; Clarke, 2013; Smith, 2017; Kummu et al., 2016; Qin, 2010). Además, las campañas de cambio de comportamiento y los programas educativos crean conciencia sobre la importancia de la conservación del agua y alientan a individuos y organizaciones a adoptar prácticas responsables de uso del agua (Shatat y Riffat, 2014; Waraich et al., 2011; Zhao et al., 2010; Zwarteveen y Boelens, 2014).

La implementación de prácticas eficientes de gestión del agua reduce el desperdicio de agua y conserva valiosos recursos de agua dulce. La utilización eficiente del agua permite aumentar el suministro de agua para satisfacer las demandas de diversos sectores y uso doméstico. La gestión eficiente del agua también contribuye al ahorro de energía. La energía necesaria para bombear, tratar y distribuir agua puede ser sustancial (Zyoud et al., 2016). Reducir el consumo de agua requiere menos energía para estos procesos, lo que resulta en menores emisiones de carbono y menores costos de energía. La interdependencia entre agua y energía, conocida como nexo agua-energía, resalta la importancia de adoptar estrategias integradas que optimicen los recursos hídricos y energéticos (Ma et al., 2017; Zyoud et al., 2016). Las prácticas eficientes de gestión del agua respaldan la salud de los ecosistemas y la biodiversidad. Reducir la extracción de agua de los ecosistemas naturales mantiene flujos de agua adecuados para sostener los hábitats acuáticos y apoyar la salud de los ríos, humedales y otros ecosistemas de agua dulce (Lieder y Rashid, 2016; Lambooy, 2011; Maliva y Missimer 2012; Rockstrom, 2013; Karabulut et al., 2016; Baleta et al., 2019). Preservar estos ecosistemas es esencial para mantener la biodiversidad, ya que sirven como hábitats críticos para muchas especies.

3.6. Cambio de paradigma en la gestión del agua

La Economía Circular Integrada del Agua requiere un cambio de paradigma en la percepción y el valor del agua. Lambooy (2011) explora la responsabilidad social corporativa y el uso sostenible del agua, enfatizando el papel de las empresas en la promoción de la gestión sostenible del agua y las prácticas de gestión responsable. Las empresas contribuyen a la conservación del agua, mejoran el desempeño ambiental y logran objetivos sociales y económicos adoptando prácticas hídricas sostenibles (Foster y Ait-Kadi, 2012; Giupponi y Gain, 2017). Este cambio de paradigma implica reconocer el agua como un recurso valioso y finito, valorar los servicios ecosistémicos proporcionados por las fuentes de agua y mejorar los principios de la economía circular del agua (Pedro-Monzonís et al., 2015; Veldkamp et al., 2017; Baleta et al., 2019).

3.7. Reconocer el agua como un recurso valioso y finito

La escasez de agua afecta a numerosas personas y ecosistemas en todo el mundo. La Economía Circular Integrada del Agua exige un cambio en la percepción del agua de un bien abundante e inagotable a un recurso finito y esencial. Los estudios de Misra (2014) y Karabulut et al. (2016) resaltan las implicaciones de la disponibilidad de agua y los desafíos interconectados del agua y la seguridad alimentaria. Esto exige un cambio hacia prácticas sostenibles de gestión del agua para garantizar el acceso equitativo a los recursos hídricos y satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Los servicios de suministro de agua, como el agua potable para el consumo humano y la agricultura, sustentan la vida y las actividades económicas. Además, las fuentes de agua proporcionan numerosos servicios ecosistémicos, como la preservación del hábitat, la regulación de inundaciones y el ciclo de nutrientes, que contribuyen al bienestar de los sistemas humanos y naturales. Mapear y comprender estos servicios ecosistémicos, como lo argumenta Rockstrom (2013), puede guiar la toma de decisiones en la gestión del agua, asegurando que el uso humano del agua permanezca en armonía con la naturaleza y contribuya a la salud de los ecosistemas.

3.8. Adoptar principios circulares para una utilización óptima de los recursos

Un enfoque de economía circular del agua implica repensar cómo interactuamos con el agua, alejándonos del modelo lineal de extracción, consumo y eliminación. Los principios circulares tienen como objetivo cerrar ciclos en el ciclo del agua, tratando el agua como un recurso valioso que debe preservarse, reutilizarse y reciclarse. Ma et al. (2017) proponen materiales funcionales a base de carbono derivados de desechos para la remediación del agua y el almacenamiento de energía, mostrando enfoques innovadores para abordar los desafíos del agua.

Al adoptar prácticas circulares, podemos minimizar la generación de residuos y maximizar la utilidad de los recursos hídricos. La responsabilidad social corporativa y el uso sostenible del agua son cruciales para promover la Economía Circular Integrada del Agua. Como destaca Lambooy (2011), las empresas pueden tener un impacto significativo en los recursos hídricos a través de sus operaciones, cadenas de suministro y procesos de producción. Al incorporar prácticas hídricas sostenibles en sus modelos de negocio, las empresas pueden contribuir activamente a la conservación del agua, la protección del medio ambiente y el desarrollo comunitario. Las iniciativas de gestión sostenible del agua, como el reciclaje del agua, la gestión eficiente del agua y la participación comunitaria, se encuentran entre las formas en que las empresas pueden impulsar cambios positivos en el sector del agua (Foster y Ait-Kadi, 2012; Giupponi y Gain, 2017).

3.9. Fomentando una cultura de uso responsable del agua

La educación y la participación pública son componentes esenciales de este cambio de paradigma. Crear conciencia sobre el valor del agua y los beneficios de la gestión sostenible del agua puede fomentar una cultura de uso responsable del agua. Kirchherr y Piscicelli (2019) abogan por una economía circular integrada y un modelo educativo para abordar el nexo energía-agua-alimentos, enfatizando la importancia de enfoques multidisciplinarios para los desafíos hídricos. Educar a las comunidades, las empresas y

los formuladores de políticas sobre la importancia de la conservación del agua y las prácticas circulares es fundamental para impulsar un cambio positivo (Griffin, 2016; Zhao et al., 2019; Sauve et al., 2021).

4. Conclusiones

La escasez de agua presenta desafíos complejos con impactos de gran alcance en las sociedades, las economías y los ecosistemas. La Economía Circular Integrada del Agua ha surgido como un marco apropiado para abordar estas cuestiones de manera integral. Al adoptar principios circulares, como la reutilización y el reciclaje del agua, la conservación del agua, la gobernanza colaborativa, los avances tecnológicos y un cambio de paradigma en las prácticas de gestión del agua, la Economía Circular Integrada del Agua proporciona un marco integral para mitigar los desafíos de escasez de agua. Los desafíos de la escasez de agua son multifacéticos y están interconectados y afectan diversos aspectos de la vida humana. El acceso limitado al agua limpia y segura compromete la salud pública, particularmente en regiones con escasez de agua donde las comunidades luchan por satisfacer sus necesidades básicas. Debido a la insuficiente disponibilidad de agua, el sector agrícola enfrenta desafíos importantes, incluida la reducción de la productividad de los cultivos, la seguridad alimentaria y los impactos derivados del cambio climático. Los ecosistemas y la biodiversidad sufren degradación y alteración, lo que afecta la salud ambiental en general. La escasez de agua también desencadena tensiones sociales y conflictos por los recursos hídricos limitados, lo que genera inestabilidad social y migración. Las industrias que dependen en gran medida del agua enfrentan desafíos económicos y las áreas urbanas con un suministro inadecuado de agua experimentan presión sobre la infraestructura hídrica existente.

Abordar la escasez de agua requiere una combinación de soluciones a corto y largo plazo. Las prácticas sostenibles de gestión del agua, la eficiencia, la conservación y la reutilización del agua son esenciales para aliviar los desafíos inmediatos de escasez de agua. Los enfoques de GIRH, que consideran factores sociales, económicos y ambientales, son cruciales para gestionar los recursos hídricos de manera sostenible y garantizar un acceso

equitativo para todos. Se necesitan reformas institucionales y estructuras de gobernanza para fomentar la acción colectiva y la asignación responsable del agua. La reutilización y el reciclaje del agua son vitales para optimizar los recursos hídricos, reducir la demanda de agua dulce y conservar los ecosistemas. La implementación exitosa de proyectos de reutilización de aguas residuales requiere considerar factores económicos, sociales y ambientales. La aceptación pública, la educación y las regulaciones son cruciales para asegurar el éxito de tales iniciativas. Las medidas de conservación y eficiencia del agua en la agricultura y los hogares ayudan a reducir el desperdicio de agua, conservar los recursos de agua dulce y minimizar el consumo de energía.

La Economía Circular Integrada del Agua exige un cambio de paradigma, reconociendo el agua como un recurso finito y valioso. Al adoptar principios circulares y valorar los servicios ecosistémicos proporcionados por el agua, podemos alinear el uso del agua con los objetivos de sostenibilidad. La responsabilidad social corporativa de las empresas y las prácticas hídricas sostenibles contribuyen aún más a la conservación del agua y la protección del medio ambiente. Por lo tanto, abordar la escasez de agua requiere esfuerzos de colaboración, toma de decisiones informada y cooperación global. Al adoptar la Economía Circular Integrada del Agua e implementar prácticas sostenibles de gestión del agua, podemos trabajar para garantizar la seguridad hídrica, preservar los ecosistemas y construir un futuro resiliente para los recursos hídricos y las sociedades humanas.

Las conclusiones extraídas de la revisión de la literatura tienen varias implicaciones para futuras investigaciones. Es necesario realizar más estudios para evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales de las prácticas de reutilización y reciclaje del agua. Comprender los riesgos y beneficios potenciales asociados con el agua recuperada en diferentes contextos puede contribuir al desarrollo de directrices y políticas sólidas. La investigación debería centrarse en la escalabilidad y viabilidad de tecnologías y prácticas de ahorro de agua en la agricultura. Evaluar las barreras y oportunidades para su adopción, evaluar la viabilidad económica y considerar la aceptación social de estas tecnologías impulsará su implementación generalizada.

Es necesaria más investigación sobre los aspectos del cambio de comportamiento en la gestión del agua. Comprender los factores que influyen en los comportamientos de uso del agua de individuos y organizaciones y desarrollar estrategias efectivas para promover comportamientos de ahorro de agua puede contribuir significativamente a la gestión sostenible del agua. Los estudios futuros deberían explorar las implicaciones más amplias de la Economía Circular Integrada del Agua en la salud de los ecosistemas, la biodiversidad y la resiliencia general de los sistemas hídricos. La evaluación de los impactos a largo plazo de las prácticas de eficiencia, reciclaje y reutilización del agua en los ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad asociada ayudará a desarrollar estrategias integrales que equilibren las necesidades humanas de agua con la sostenibilidad ambiental.

5. Referencias

- 9 Ahmed, M., Mavukkandy, M.O., Giwa, A., Elektorowicz, M., Katsou, E., Khelifi, O., Nadeo, V., y Hasan, S.W. (2022). Recent developments in hazardous pollutants removal from wastewater and water reuse within a circular economy. *NPJ Clean Water*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00154-5>
- 29 Baleta, J., Mikulčić, H., Klemeš, J.J., Urbaniec, K., y Duić, N. (2019). Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. *Journal of cleaner production*, 215, 1424-1436. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.035>
- Barlow, M. (2009). Blue covenant: The global water crisis and the coming battle for the right to water. McClelland & Stewart.
- 16 Bakker, K. (2010). Privatizing water: governance failure and the world's urban water crisis. Cornell University Press.
- 64 Becerra, L. Carenzo, S., y Juarez, P. (2020). When circular economy meets inclusive development. Insights from urban recycling and rural water access in Argentina. *Sustainability*, 12(23), 9809. <https://doi.org/10.3390/su12239809>
- 102 Calow, R.C., MacDonald, A.M., Nicol, A.L., y Robins, N.S. (2010). Ground water security and drought in Africa: linking availability, access, and demand. *Groundwater*, 48(2), 246-256. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2009.00558.x>
- Calzadilla, A., Rehdanz, K., y Tol, R.S. (2011). Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis. *Agricultural Economics*, 42(3), 305-323. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2010.00516.x>
- Chartzoulakis, K., y Bertaki, M. (2015). Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.011>

- Clarke, R. (2013). *Water: the international crisis*. Routledge.
- 26 Cosgrove, W.J., y Loucks, D.P. (2015). Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51(6), 4823-4839. <https://doi.org/10.1002/2014WR016869>
- Davies, E.G., y Simonovic, S.P. (2011). Global water resources modeling with an integrated model of the social-economic-environmental system. *Advances in water resources*, 34(6), 684-700. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2011.02.010>
- 4 Delgado, A., Rodriguez, D.J., Amadei, C.A., y Makino, M. (2021). Water in Circular Economy and Resilience. <https://doi.org/10.1596/36254>
- Durán-Romero, G., López, A.M., Beliaeva T., Ferasso M., Garonne, C., y Jones, P. (2020). Bridging the gap between circular economy and climate change mitigation policies through eco-innovations and Quintuple Helix Model. *Technological Forecasting and Social Change*, 160, 120246. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120246>
- 6 Esposito, B., Sessa, M.R., Sica, D., y Malandrino, O. (2020). Towards circular economy in the agrifood sector. A systematic literature review. *Sustainability*, 12(18), 7401. <https://doi.org/10.3390/su12187401>
- 73 Foster, S., y Ait-Kadi, M. (2012). Integrated Water Resources Management (IWRM): how does groundwater fit in? *Hydrogeology Journal*, 20(3), 415-418. <https://doi.org/10.1007/s10040-012-0831-9>
- 6 Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M., y Hultink, E.J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm? *Journal of cleaner production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gherghel, A., Teodosiu, C., y De Gisi, S. (2019). A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. *Journal of cleaner production*, 228, 244-263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.240>
- Giupponi, C., y Gain, A.K. (2017). Integrated water resources management (IWRM) for climate change adaptation. *Regional Environmental Change*, 17(7), 1865-1867. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1173-x>
- 26 Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Bavani, A.M., y Madani, K. (2013). Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire. *Journal of Hydrology*, 491, 23-39. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.021>
- 16 Greve, P., Kahil, T., Mochizuki, J., Schinko, T., Satoh, Y., Burek, P., Fischer, G., Tramberend, S., Burtscher, R., Langan, S., y Wada, Y. (2018). Global assessment of water challenges under uncertainty in water scarcity projections. *Nature Sustainability*, 1(9), 486-494. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0134-9>
- Griffin, R.C. (2016). *Water resource economics: The analysis of scarcity, policies, and projects*. MIT press.
- 95 Gude, V.G. (2017). Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(4), 591-609. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9449-7>
- Guo, Z., Yan, N., y Lapkin, A.A. (2019). Towards circular economy: integration of bio-waste into chemical supply chain. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 26, 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2019.09.010>

- 20 Hanjra, M.A., y Qureshi, M.E. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food policy*, 35(5), 365-377. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.05.006>
- 34 Herrera-León, S., Lucay, F.A., Cisternas, L.A., y Kraslawski, A. (2019). Applying a multi-objective optimization approach in designing water supply systems for mining industries. The case of Chile. *Journal of Cleaner Production*, 210, 994-1004. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.081>
- 14 Hernández-Chover, V., Castellet-Viciano, L., Bellver-Domingo, Á, y Hernández-Sancho, F. (2022). The Potential of Digitalization to Promote a Circular Economy in the Water Sector. *Water*, 14(22), 3722. <https://doi.org/10.3390/w14223722>
- 44 Heshmati, A. A. (2017). Review of the Circular Economy and its Implementation. *International Journal of Green Economics*, 11(3-4), 251-288.
- Hoekstra, A.Y., Buurman, J., y Van Ginkel, K.C. (2018). Urban water security: A review. *Environmental research letters*, 13(5), 053002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>
- Karabulut, A., Egoh, B.N., Lanzaova, D., Grizzetti, B., Bidoglio, G., Pagliero, L., Bouraoui, F., Aloe, A., Reynaud, A., Maes, J., y Vandecasteele, I. (2016). Mapping water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. *Ecosystem services*, 17, 278-292. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.08.002>
- 32 Kirchherr, J., y Piscicelli, L. (2019). Towards an education for the circular economy (ECE): five teaching principles and a case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104406. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104406>
- 7 Kumm, M., Guillaume, J.H., de Moel, H., Eisner, S., Flörke, M., Porkka, M., Siebert, S., Veldkamp, T.I., y Ward, P.J. (2016). The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. *Scientific reports*, 6(1), 38495. <https://doi.org/10.1038/srep38495>
- Lambooy, T. (2011). Corporate social responsibility: sustainable water use. *Journal of Cleaner Production*, 19(8), 852-866. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.009>
- Lekshmi, B., Sharma, S., Sutar, R.S., Parikh, Y.J., Ranade, D.R., y Asolekar, S.R. (2020). Circular economy approach to women empowerment through reusing treated rural wastewater using constructed wetlands. En S. Ghosh (ed.), *Waste Management as Economic Industry Towards Circular Economy* (1-10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7_1
- 7 Lieder, M., y Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of cleaner production*, 115, 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Ma, Q., Yu, Y., Sindoro, M., Fane, A.G., Wang, R., y Zhang, H. (2017). Carbon-based functional materials derived from waste for water remediation and energy storage. *Advanced materials*, 29(13), 1605361. <https://doi.org/10.1002/adma.201605361>
- Maliva, R., y Missimer, T. (2012). Arid lands water evaluation and management. Springer Science & Business Media.
- 96 Mancosu, N., Snyder, R.L., Kyriakakis, G., y Spano, D. (2015). Water scarcity and future

challenges for food production. *Water*, 7(3), 975-992. <https://doi.org/10.3390/w7030975>

Meneses, M., Pasqualino, J.C., y Castells, F. (2010). Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. *Chemosphere*, 81(2), 266-272. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.053>

Misra, A.K. Climate change and challenges of water and food security. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.04.006>

Neczaj, E., y Grosser, A. (2018). Circular economy in wastewater treatment plant—challenges and barriers. *Proceedings*, 2(11), 614. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110614>

Nika, C.E., Vasilaki, V., Expósito, A., y Katsou, E. (2020). Water cycle and circular economy: developing a circularity assessment framework for complex water systems. *Water Research*, 187, 116423. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116423>

Pedro-Monzonis, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T., y Paredes-Arquiola, J. A (2015). Review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 527, 482-493. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>

Qin, B., Zhu, G., Gao, G., Zhang, Y., Li, W., Paerl, H.W., y Carmichael, W.W. (2010). A drinking water crisis in Lake Taihu, China: linkage to climatic variability and lake management. *Environmental management*, 45, 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>

Rockstrom, J. (2013). Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology. Routledge.

Sauve, S., Lamontagne, S., Dupras, J., y Stahel, W. (2021). Circular economy of water: Tackling quantity, quality and footprint of water. *Environmental Development*, 39, 100651. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100651>

Saleth, R.M., Dinar, A. (2004). The institutional economics of water: a cross-country analysis of institutions and performance. World Bank Publications.

Sarrafzadeh, M.H. (2022). Circular economy in petroleum industries: implementing Water Closed Loop System. En H. Muftah, El-Naas y Banerjee, A. (Eds.), *Petroleum Industry Wastewater* (249-262). Elsevier.

Schroeder, P., Anggraeni, K., y Weber, U. (2019). The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77-95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>

Scott, C.A., Pierce, S.A., Pasqualetti, M.J., Jones, A.L., Montz, B.E., y Hoover, J.H. (2011). Policy and institutional dimensions of the water-energy nexus. *Energy Policy*, 39(10), 6622-6630. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.013>

Sgroi, M., Vagliasindi, F.G., y Roccaro, P. (2018). Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse. *Current opinion in environmental Science & Health*, 2, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.004>

Shatat, M., y Riffat, S.B. (2014). Water desalination technologies utilizing conventional

- and renewable energy sources. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(1), 1-19. <https://doi.org/10.1093/ijlct/cts025>
- Smith, R. (2017). The water scarcity-conflict Nexus: The case of Darfur (Doctoral dissertation). Stellenbosch University.
- 28 Smol, M., Adam, C., y Preisner, M. (2020). Circular economy model framework in the European water and wastewater sector. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 682-697. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00960-z>
- 36 Srinivasan, V., Lambin, E.F., Gorelick, S.M., Thompson, B.H., y Rozelle, S. (2012). The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. *Water resources research*, 48(10), 1-16. <https://doi.org/10.1029/2011WR011087>
- 77 Tayebi-Khorami, M., Edraki, M., Corder, G., y Golev, A. (2019). Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*, 9(5), 286. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
- 4 Van Buren, N., Demmers, M., Van der Heijden, R., y Witlox, F. (2016). Towards a circular economy: The role of Dutch logistics industries and governments. *Sustainability*, 8(7), 647. <https://doi.org/10.3390/su8070647>
- Viles, E., Santos, J., Arévalo, T.F., Tanco, M., y Kalemkerian, F. (2020). A new mindset for circular economy strategies: Case studies of circularity in the use of water. *Sustainability*, 12(22), 9781. <https://doi.org/10.3390/su12229781>
- 32 Velenturf, A.P., y Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- Veldkamp, T.I.E., Wada, Y., Aerts, J.C.J.H., Döll, P., Gosling, S.N., Liu, J., Masaki, Y., Oki, T., Ostberg, S., Pokhrel, Y., y Satoh, Y. (2017). Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. *Nature communications*, 8(1), 15697. <https://doi.org/10.1038/ncomms15697>
- 9 Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>
- 9 Waraich, E.A., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., Saifullah, y Ahmad, M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 61(4), 291-304. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.491954>
- Ward, C., y Ruckstuhl, S. (2017). Water scarcity, climate change and conflict in the Middle East: securing livelihoods, building peace. *Bloomsbury Publishing*.
- 4 Winans, K., Kendall, A., y Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>
- Xu, J., Li, X., y Wu, D.D. (2009). Optimizing circular economy planning and risk analysis using system dynamics. *Human and Ecological Risk Assessment*, 15(2), 316-331. <https://doi.org/10.1080/10807030902761361>
- Zhao, H., Qu, S., Guo, S., Zhao, H., Liang, S., y Xu, M. (2019). Virtual water scarcity risk to

global trade under climate change. *Journal of cleaner production*, 230, 1013-1026. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.114>

Zhao, X.U., Yang, H., Yang, Z., Chen, B., y Qin, Y. (2010). Applying the input-output method to account for water footprint and virtual water trade in the Haihe River basin in China. *Environmental Science & Technology*, 44(23), 9150-9156. <https://doi.org/10.1021/es100886r>

Zyoud, S.H., Kaufmann, L.G., Shaheen, H., Samhan, S., y Fuchs-Hanusch, D. (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 61, 86-105. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.016>

Zwarteveen, M.Z, y Boelens, R. (2014). Defining, researching and struggling for water justice: some conceptual building blocks for research and action. *Water international*, 39(2), 143-158. <https://doi.org/10.1080/02508060.2014.891168>

6. Indicadores de movilidad sostenible en contextos globales: desafíos y oportunidades*



MARIANA MARCELINO-ARANDA**

CINTHIA YARELI VELAZQUEZ RAMOS***

ALEJANDRO D. CAMACHO****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.06>

Resumen

Ante los retos que engloban los Objetivos del Desarrollo Sustentable, están los de la mitigación a la crisis del cambio climático, que lleva a las naciones en lo particular a generar políticas públicas y acciones concretas. Al respecto, la movilidad urbana sustentable no es un concepto nuevo, sin embargo, ha ganado relevancia en las últimas dos décadas debido a su impacto en las tres dimensiones de la sustentabilidad. Este capítulo presenta un análisis documental sobre las vertientes en las que se han trabajado indicadores de movilidad urbana sustentable entre el periodo de enero-mayo 2024, con el objetivo de identificar brechas y tendencias dentro de la literatura. La metodología empleada es cualitativa, basándose en una revisión de literatura en Web of Science (WoS), Google Scholar y buscador general de Google, con un análisis de 12 artículos y 14 documentos y reportes de organizaciones internacionales. Los resultados muestran siete grupos clave de indica-

* Este capítulo deriva del proyecto de investigación SIP 20230247 y 20240872 Modelo de Negocio Sustentable para la Empresa Familiar Rural. Bases Conceptuales y Empíricas. <https://ges-grupoinvestigacion.com/>

** Doctora en Ciencias Administrativas. Profesora-investigadora del Instituto Politécnico Nacional-UPNCSA, México. Correspondencia: mmarcelino@ipn.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-0617>

*** Estudiante de la carrera de Ingeniería en Transporte del Instituto Politécnico Nacional-UPNCSA, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0510-297X>

**** Doctor en Ciencias en Ecología Química. Profesor-investigador del Instituto Politécnico Nacional-ENCB, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4791-1912>

dores: accesibilidad, seguridad, eficiencia energética y calidad ambiental, tecnología e innovación, transporte público y modos alternativos, gestión del tránsito y movilidad, y satisfacción del usuario, los cuales deben adaptarse a las características específicas de cada zona de estudio. Además, es importante considerar indicadores referentes al comportamiento ciudadano, características culturales y dinámicas económicas, aunado a implementación de tecnologías inteligentes como elemento clave para avanzar hacia una movilidad urbana más sostenible.

Palabras clave: *Sustentabilidad, movilidad urbana sustentable, indicadores, ciudades.*

1. Introducción

La urbanización global transformó el panorama de las ciudades. Más del 50% de la población mundial reside en áreas urbanas, cifra que se espera que aumente al 70% para 2050. Las ciudades, a pesar de ocupar 3% de la superficie terrestre, consumen entre 60% y el 80% de la energía y generan más del 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero (ONU, 2023).

El desarrollo sustentable de las ciudades es una prioridad global y está contemplada en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), debido a su impacto crucial en el progreso económico, social y ambiental (Ruan et al., 2022). Lograr ciudades sustentables implica abordar de manera equilibrada estas dimensiones y enfrentar desafíos contemporáneos como el cambio climático y la necesidad de infraestructuras adaptadas a las nuevas realidades urbanas (Pérez et al., 2022; Irfan et al., 2022; Vanli, 2023).

Las métricas y los indicadores de desempeño se destacan como herramientas para lograr estos objetivos, ya que permiten la medición y evaluación constante, lo que ayuda identificar áreas de mejora en los sistemas de transporte y la movilidad urbana (Parris y Kates, 2003; UMP, 2023).

El objetivo de este análisis es detectar lagunas y tendencias en la investigación de los indicadores de movilidad urbana sustentable, considerando las distintas vertientes abordadas en el periodo de enero a mayo de 2024. Se utilizó un enfoque cualitativo, a través de la revisión de literatura en la

base de datos Web of Science (WoS), Google Scholar y buscador general de Google, de los dos primeros se rescataron 12 artículos, y del último 14 documentos y reportes de organizaciones internacionales. Los resultados de la revisión revelan la necesidad de adaptar los indicadores a las características particulares de cada área de estudio. Asimismo, es crucial incluir indicadores que aborden el comportamiento ciudadano, características culturales y dinámicas económicas. Además, la implementación de tecnologías inteligentes se destaca como un elemento esencial para avanzar hacia una movilidad urbana más sostenible.

Los indicadores de movilidad urbana son esenciales para evaluar y monitorear el desempeño urbano en términos de sustentabilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, aunado a que permiten identificar áreas de mejora en la planificación y gestión de la movilidad, lo cual es determinante para enfrentar los desafíos climáticos de las ciudades (Cascales y Gómez, 2016; Romero y Lugo-Morín, 2018).

2. Marco teórico

Desde hace más de tres décadas, la sustentabilidad ha tomado relevancia a nivel mundial en el ámbito de la investigación y político; debido al contexto actual de crisis ambiental y de recursos, que es uno de los retos a los que se enfrenta la sociedad del siglo XXI (Liu et al., 2013; López, 2015, Caroleo et al., 2019).

El primer acontecimiento del Desarrollo Sustentable (DS) a nivel internacional sucedió en 1972, en Estocolmo, Suecia, con la celebración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. En este evento se adoptó la Declaración y el Plan de Acción de Estocolmo, que establecieron principios fundamentales para preservar y mejorar el ambiente humano, además de marcar el establecimiento del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), primer programa dedicado exclusivamente a cuestiones ambientales (ONU, 1973).

En 1987 la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (WCED por sus siglas en inglés) publicó el informe de Brundtland también llamado Nuestro Futuro Común, en el que se define el Desarrollo Sosten-

16

table como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (WCED, 1987). Aunque no fue el primer documento relacionado con la sustentabilidad, fue fundamental para establecer la definición de DS, además que es la más aceptada y utilizada a nivel global (López, 2015). Para el mismo año, el Banco Mundial dio a conocer su Informe sobre el Desarrollo Mundial, el cual identificó la necesidad de un enfoque más integral de aspectos económicos, sociales y ambientales para un DS (Banco Mundial, 1987).

En 1992, en la Cumbre para la Tierra o Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), destacó la importancia de los factores sociales, económicos y ambientales, como interdependientes y que estos mismos evolucionan juntos (ONU, 1992). Los antecedentes enunciados marcan el hito de buscar equilibrar el crecimiento económico, la equidad social y la protección ambiental para garantizar un futuro viable y conjuntaron el primer escalón para impulsar la visión hacia un futuro más sustentable (López, 2015; Bini & Bellucci, 2020).

En el año 2000, en la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas, líderes mundiales acordaron un grupo de metas conocidos como Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) para combatir aspectos de pobreza, hambre, enfermedades, daño ambiental, entre otros, que tenían como plazo 15 años para cumplirse. Posteriormente, estos ODM fungieron como base para los ODS.

En 2012, se llevó a cabo en Río de Janeiro, Brasil, la conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sustentable (Río +20), con el objetivo de asegurar el compromiso político y evaluar el progreso de los acuerdos establecidos anteriormente, así como iniciar el proceso para desarrollar los ODS. Tres años después, en 2015, las Naciones Unidas dieron a conocer la Agenda 2030, en la que se plantearon los 17 ODS y 169 metas, 193 países integrantes de la ONU, se comprometieron a cumplir los objetivos para el año 2030. El objetivo 11, dedicado a las ciudades y comunidades sustentables, tiene el propósito de lograr que sean inclusivas, seguras, resilientes y sustentables a través de los sistemas de transporte, seguridad vial, urbanización y planificación inclusiva y sustentable, gestión de la calidad del aire, políticas y planes integrados, entre otros. No obstante, a pesar de los esfuerzos,

ciudades de países como Irán, Argelia y Paraguay presentan inadecuadas condiciones de sustentabilidad, problemas ambientales, sociales y económicos (Sdoukopoulos & Pitsiava-Latinopoulou, 2017).

Las urbes son elemento clave para la lucha contra el cambio climático y, no obstante, si bien ocupan menos del 5% de la superficie terrestre, superan el 75% de consumo de los recursos naturales y 78% del consumo de energía, aunado a que son las responsables del 75% de la producción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel mundial (Klopp & Petretta, 2017; ONU, 2023; Banco Mundial, 2023). Específicamente, la contaminación ambiental es un inconveniente para el DS en las ciudades (Alvarado, et al., 2022; Kumar, 2024). Gran parte de esta contaminación se propicia por actividades como la industria y movilidad motorizada, donde el sector transporte genera un poco más del 25% GEI (Semarnat, 2022).

El sector transporte genera problemas de contaminación auditiva, consumo energético, uso de suelo para infraestructura vial, congestionamiento, accidentes viales, entre otros (Asprilla, 2016). En general, estos problemas están vinculados al crecimiento demográfico y a la consecuente expansión de las ciudades (Hernández, et al., 2023). Por lo tanto, los desafíos de la movilidad representan una amenaza crítica para la sustentabilidad urbana (Dragan et al., 2022; Sultan et al., 2021). Lo anterior, ha impulsado a organizaciones y gobiernos a buscar cómo neutralizar la huella ecológica (Ramzan, et al., 2023) y con ello la sustentabilidad se ha convertido en un argumento central y objetivo para la transformación y gestión de la movilidad urbana, lo cual resulta crucial para los responsables de toma de decisiones públicas (Suélen et al., 2021; Sultan et al., 2021; Francisco et al., 2022; Iamtrakul & Klaylee, 2023; Klaylee et al., 2023).

La movilidad urbana se define como la suma de desplazamientos que realizan diariamente los habitantes de una ciudad, con el fin de acceder a diversos destinos, ya sea la vivienda, trabajo, centros educativos, entretenimiento, o cualquier otro punto de interés, al igual, toma en cuenta los modos de transporte utilizados; motorizados o no motorizados y las condiciones de esos viajes; duración, tiempo total invertido en el traslado y otros factores (Yucesan, et al., 2024; Iamtrakul, et al., 2024).

La movilidad dentro de un área urbana es fundamental para el crecimiento económico, ya que facilita la conexión entre distintas áreas de la

ciudad y asegura el funcionamiento normal de los ciudadanos (Mutavdžija, et al., 2024). Sin embargo, las necesidades de movilidad varían considerablemente en diferentes partes de la ciudad y en distintas localidades, lo cual requiere la implementación de estrategias variadas (Berger et al., 2014). Para que sea efectiva, es esencial contar con un espacio urbano planificado de manera coherente y organizado conforme a las necesidades socioeconómicas y ambientales, aprovechando los transportes, servicios e infraestructuras disponibles del lugar (Šemanjski et al., 2018). La insostenibilidad en la movilidad urbana puede afectar gravemente la calidad de vida de los habitantes, tanto en aspectos económicos, sociales y ambientales, mientras que una movilidad sustentable tiene el potencial de mejorarla (Mutavdžija, et al., 2024) al ser un elemento clave.

El concepto de Movilidad Urbana Sustentable (MUS) emerge como una solución integral que aborda los desafíos descritos anteriormente, donde la motivación principal es la necesidad de ciudades responsables con el ambiente, socialmente inclusivas, económicamente viables y que aseguren el bienestar de las personas que las habitan, tanto en el ahora como en el futuro (Yucesan, 2024). En 1963, el Informe Buchanan, publicado por el gobierno de Reino Unido, fue el primero en analizar los efectos ambientales a largo plazo del tránsito vehicular (Gunn, 2011), posteriormente en 1972, con la conferencia de Estocolmo, se comenzó a medir el impacto hacia el ambiente provocado por la movilidad motorizada. Para 2001, dentro del Libro Verde de la Comisión Europea, que se publicó hasta 2007, con el nombre “Libro Verde hacia una nueva cultura de la movilidad urbana”, definió formalmente la necesidad de una movilidad sustentable (CE, 2011), que tomó en cuenta los tres factores de la sustentabilidad.

De acuerdo con Mollinedo (2006), la MUS se debe definir como un sistema de transporte y movilidad que proporcionan los medios y oportunidades necesarios para satisfacer las necesidades económicas, ambientales y sociales de manera eficiente y equitativa, minimizando impactos negativos innecesarios y costos asociados. La MUS tiene como objetivo mejorar la accesibilidad, promover cambios modales, reducir la necesidad de viajar, disminuir la longitud de los viajes, lograr una mayor eficiencia en todo el sistema de transporte (Papa & Lauwers, 2015; Mozos-Blanco et al., 2018) y contribuye a estructurar ciudades más compactas, seguras, limpias, resilien-

tes y activas, de tal manera que mejora la calidad de vida y competitividad (MUSAL,2014). El concepto de MUS, trasciende más allá de una definición formal, ya que abarca un conjunto de acciones estructuradas dentro de directrices que promueven su desarrollo adecuado (Quintero-González, 2017).

Cabe destacar que durante la pandemia global de coronavirus (COVID-19) las restricciones en la movilidad y el transporte por motivos sanitarios se elevaron, lo que ocasiono reducción en la demanda de ciertos modos de transporte, como el masivo, y un uso relativamente mayor de vehículos privados. No obstante, otras tendencias desencadenaron una nueva perspectiva en los ciudadanos respecto a la aceptación de nuevas formas de movilidad sustentable y priorizaron la movilidad activa o micromovilidad (Zunino, et al., 2020; Schmidt, et al., 2021).

El implementar y poner en práctica el concepto de MUS no es una tarea fácil, ya que requiere un seguimiento continuo para desarrollar políticas adecuadas que la impulsen, lo cual es fundamental para reforzar los compromisos asumidos por los países miembros de la ONU, en relación con los ODS. En este contexto, estos compromisos se fortalecen mediante la implementación de sistemas de seguimiento y presentación de informes, que permiten monitorear los avances (da Silva, et al., 2024; Regmi, 2020). Aunque la sustentabilidad es compleja de medir directamente, se puede evaluar con sistemas de parámetros que representen sus distintas dimensiones (Tafidis, et al., 2017). Asimismo, se han desarrollado herramientas, como los indicadores, que son foco de varios estudios en ciudades para facilitar la evaluación de la MUS (Tafidis, et al., 2017; da Silva, et al., 2024; Gadžo, et al., 2024).

Los indicadores, son herramientas que permiten un análisis individual y objetivo, tanto cuantitativo como cualitativo, del caso de interés (Chakhtoura & Pojani, 2016). Asimismo, permiten evaluar la eficacia y eficiencia de los sistemas de movilidad con el fin de determinar y reconocer fortalezas y debilidades, que establecen áreas de mejora y concentran esfuerzos para abordarlas, y de esta manera planificar un mejor futuro en las ciudades (Yucesan, 2024; Mokarrari et al., 2021).

La ruta hacia un crecimiento urbano sustentable se recorre cada vez más mediante la evaluación del desempeño, este enfoque estratégico incluye la implementación de diversos índices y sistemas de indicadores, esenciales para

que las ciudades definan sus objetivos y estrategias de sustentabilidad (Lo-Iacono-Ferreira, et al., 2022). Los indicadores, trascienden más allá de la recopilación de datos, ya que evalúan conceptos urbanos complejos, que transforman ideas abstractas como la sustentabilidad en métricas cuantificables (Medina-Molina, et al., 2024). Esto es particularmente significativo en el campo de la MUS, donde los indicadores no solo enriquecen la comprensión de los retos, sino que también optimizan la gestión al destacar las dificultades operativas y los impactos sociales (Costa, et al., 2017; Menini, et al., 2021).

3. Metodología

El objetivo de este análisis es detectar vacíos y tendencias en la investigación de los indicadores de movilidad urbana sustentable, considerando las distintas vertientes abordadas dentro del periodo de estudio. La investigación es de carácter cualitativo, donde se realizó una revisión y análisis documental exhaustivo, haciendo uso de la Web of Science (WoS), Google Scholar y el buscador de Google. El proceso de búsqueda se realizó en 3 etapas.

3.1. Etapa 1: Búsqueda en Web of Science

La primera etapa consistió en realizar una búsqueda general sobre los indicadores de movilidad urbana sustentable para comprender su origen, conceptualización y evolución. Se emplearon tres búsquedas, con los criterios por tema y por tipo de documento artículos. Las sentencias de búsqueda fueron las siguientes: 1) “Urban mobility” and “Indicators” and “Sustainable”; 2) “Sustainable Urban Mobility” and “Indicators”; y 3) “Sustainable Urban Mobility Indicators”. Estas búsquedas iniciales no se restringieron temporalmente, pero se puso especial atención en los artículos de revisión, de los cuales destacaron dos artículos publicados en el año 2023.

Estos artículos proporcionaron una base sólida para el análisis y definieron la relevancia temporal del estado del arte, que se enfocó en el periodo de enero a mayo de 2024. Al realizar la búsqueda en este marco temporal específico y utilizar las mismas sentencias y criterios de búsqueda, se

obtuvieron 90 artículos que se revisaron y se identificó que eran un conjunto de artículos idénticos en las tres consultas. Se analizaron los títulos y resúmenes para evaluar su pertinencia con respecto a los indicadores de movilidad urbana sustentable y se seleccionaron siete artículos relevantes que fueron analizados en detalle.

3.2. Etapa 2: Búsqueda en Google Scholar

En la segunda etapa, se realizó una búsqueda complementaria en Google Scholar en la que se utilizó la sentencia de búsqueda “Sustainable Urban Mobility Indicators”, se mantuvo el mismo periodo de tiempo (enero a mayo de 2024) y el criterio de tipo de documentos artículos. Esta búsqueda arrojó 76 artículos. Se excluyeron los siete artículos previamente seleccionados de Web of Science, que también aparecieron en esta búsqueda. De igual manera, se analizaron los títulos y resúmenes de los artículos restantes, donde se escogieron cinco artículos adicionales que cumplieran con los criterios de relevancia.

3.3. Etapa 3: Búsqueda General en la Web

Finalmente, en la tercera etapa, se realizó una búsqueda general, sin periodo de restricción en la web a través de Google para identificar indicadores de movilidad urbana sustentable desarrollados por organismos e instituciones internacionales. Se seleccionaron y analizaron documentos y reportes de organizaciones e instituciones internacionales, Naciones Unidas (ONU), Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (ESCAP), Comisión Europea (UE), Banco Mundial (BM), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Banco Europeo de Reconstrucciones y Desarrollo (BERD), ISO 37120:2014 e ISO 37122:2019, Unión Internacional de Transportes Públicos (UITP), Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), Foro Oliver Wyman, Civitas Capital, Deloitte Development LLC. Estos documentos proporcionaron un contexto amplio y complementaron la revisión académica con perspectivas prácticas y normativas.

4. Resultados

Tabla 1. Análisis de los artículos extraídos de Web of Science y Google Scholar

Esfera	Autores	Título del Artículo	Región de Estudio	Objetivo
Social	Grande-Ayala, C.	An Assessment of Accessibility from a Socially Sustainable Urban Mobility Approach in Mass Transit Projects.	Triángulo Norte de Centroamérica (El Salvador, Guatemala y Honduras).	Evaluar la accesibilidad desde una perspectiva de movilidad urbana de sustentabilidad social en proyectos de transporte masivo.
	Medina-Molina, C; Pérez-Macías, N; Coronado-Vaca, M	Searching for complexity. Application of the set-theory to the analysis of urban mobility readiness index.	África, América Latina, Medio Oriente y las ciudades menos desarrolladas de Asia-Pacífico.	Aplicar la teoría de conjuntos para analizar el índice de preparación para la movilidad urbana y aplicar métodos avanzados para interpretar de manera más profunda los resultados de los índices de movilidad urbana sustentable.
Ambiental, social	Mutavdzija, M; Kovacic, M; Buntak, K	Moving towards Sustainable Mobility: A Comparative Analysis of Smart Urban Mobility in Croatian Cities.	República de Croacia.	Determinar el nivel de movilidad urbana inteligente en las ciudades de la República de Croacia.
	Iamtrakul, P; Klaylee, J; Raungratanaamporn, IS	Evaluating Sustainable Mobility: Motorized and Non-motorized Modes in Suburban Areas of Thailand.	Provincia de Pathum Thani en Tailandia.	Evaluar la movilidad sustentable en áreas suburbanas de Tailandia.
	Öztürk, E. A.	Sustainable urban transportation performance in Ankara: A comparative study.	Ankara, Turquía.	Comparar el desempeño del transporte urbano sustentable en Ankara.

<i>Metodología/Método</i>	<i>Aportaciones</i>	<i>Indicadores Utilizados</i>	<i>Retos y limitaciones</i>
Análisis cuantitativo y cualitativo de accesibilidad.	El estudio aporta una metodología innovadora para evaluar la accesibilidad en proyectos de movilidad urbana, destacando la importancia de la equidad y la eficiencia espacial en la sustentabilidad social.	Accesibilidad, (dividido en equidad y eficiencia espacial).	Falta de datos integrales y comparativos, además de la aplicación en un contexto específico.
Aplicación de la teoría de conjuntos para el análisis de datos.	Proporciona una hoja de ruta para que los formuladores de políticas logren la movilidad urbana sustentable.	Preparación en infraestructura Uso de tecnologías de transporte, eficiencia operativa y resiliencia.	Complejidad en la recopilación y análisis de datos.
Análisis comparativo basado en indicadores de movilidad sustentabilidad de las normas ISO 37120:2018 e ISO 37122:2019.	A partir de los resultados obtenidos, la administración de la ciudad puede definir proyectos con los que intentar desarrollar y además fomentar la MUS.	Indicadores relacionados con el campo del transporte, que incluyen elementos clave de la movilidad urbana con énfasis en las tecnologías inteligentes.	Disparidades en la implementación de políticas y diferencias regionales y administrativas.
Observación directa, encuestas, análisis de datos de transporte.	Propuesta de estrategias con enfoque alternativo para la formulación de políticas de transporte, que preparan de manera innovadora a las ciudades para la movilidad sustentable y el desarrollo urbano.	Transitabilidad para peatones, seguridad del tránsito seguridad vial, atractivo y calidad ambiental, infraestructura y tecnología infraestructura y servicios de transporte infraestructura de transporte alternativo.	Infraestructura limitada, alta dependencia de transporte privado y falta de datos a largo plazo.
Análisis comparativo de indicadores de desempeño.	Evaluación del desempeño del transporte urbano en términos de sustentabilidad.	Índice de Transporte Urbano Sustentable (SURKENT): propuesta de indicadores específicos para evaluar el desempeño sustentable del transporte.	Contexto específico de Ankara, variabilidad en la implementación de políticas y datos limitados a un contexto urbano específico.

Ambiental, social, económico

Estudio	Autores	Título del Artículo	Región de Estudio	Objetivo
	Yucesan, M; Özkan, B; Mete, S; Gul, M; Özceylan, E	Evaluating sustainability of urban mobility of Asian cities: An integrated approach of interval type-2 fuzzy best-worst method and MULTIMOORA.	Ciudades de Asia.	Evalúan la sustentabilidad de la movilidad urbana en ciudades asiáticas, desde un enfoque integrado del método difuso mejor. -peor de intervalo tipo 2 y MULTIMOORA.
	ElSerafi, T	Assessing streetscape development effects on walking and cycling in historic contexts: the case study of Afrang district, Port Said, Egypt.	Afrang district, Port Said, Egipto.	Evaluar los efectos del desarrollo de calles en la caminabilidad y ciclabilidad en contextos históricos.
	Al-Shammari, A; Al-Jameel, H.	Evidence-based review: Sustainable indicators for urban road networks.	No específico (revisión de literatura global).	Examinar estudios previos en detalle para crear una descripción sistemática de indicadores relevantes y científicamente sólidos para varios aspectos de la movilidad sustentable aplicables en una variedad de contextos sociales y económicos a nivel mundial.
	Politis, I; Aranitou, V; Simos, G; Georgiadis, G; Nikolaidou, A; Sdoukopoulos, A; et al.	A smart KPI system for reinforcing sustainable urban mobility plans under pandemic crises.	Contextos urbanos globales.	Desarrollar un sistema de indicadores para reforzar los planes de movilidad urbana sustentable durante crisis pandémicas.
	Antczak, E; Wiaderny, Ł	Quantification and Assessment of Sustainable Urban Mobility Development in Selected EU Countries Using a Composite Index.	Países de la Unión Europea (Polonia, Alemania, España).	Cuantificar y evaluar el desarrollo de la movilidad urbana sustentable en países de la Unión Europea (UE).
	Gadžo, E; Mujić, A; Lindov, O	Sump Indicators in Focus – Investigating Modal Distribution in Urban Mobility Research.	Ciudades de Bosnia y Herzegovina (Sarajevo, Mostar).	Mostrar la utilidad de los indicadores propuestos por la Comisión Europea (SUMI).
	da Silva, ANR; Tan, FM; de Sousa, PB	Key sustainable mobility indicators for university campuses	Campus universitarios en Brasil.	Identificar indicadores clave de movilidad sustentable en campus universitarios.

Fuente: elaboración propia.

 Página 144 de 204 - Engrega de integridad Identificador de la entrega: trn:oid::3117:609605018 Metodología/ Método Aportaciones Indicadores Utilizados Retos y limitaciones			
Enfoque integrado de tipo-2 fuzzy best-worst method y MULTIMOORA	Se espera que los resultados obtenidos en este estudio ayuden a las ciudades a crear una hoja de ruta para planificar la movilidad urbana sustentabilidad (por ejemplo, Plan de Movilidad Urbana sustentable).	Emisiones (CO ₂ , NO _x), eficiencia energética, accesibilidad a transporte público, uso del suelo, calidad del aire, satisfacción del usuario, costos de operación	Recolección de datos precisos y diversos.
Observación directa, encuestas a usuarios, análisis de desarrollo urbano.	Proporciona recomendaciones para mejorar la infraestructura peatonal y ciclista en áreas históricas.	Caminabilidad, ciclabilidad, calidad del espacio público, seguridad, accesibilidad, satisfacción del usuario.	Adaptación de infraestructura de transporte no motorizado en áreas históricas.
Revisión bibliográfica y análisis comparativo.	Los indicadores presentados pueden ser utilizados por investigadores, profesionales y tomadores de decisiones para evaluar y mejorar la sustentabilidad de los sistemas de transporte urbano en todo el mundo.	Seguridad vial (accidentes, lesiones), eficiencia del transporte (tiempos de viaje, costos), impacto ambiental (emisiones, ruido), accesibilidad, infraestructura vial.	Recolección de datos consistentes y confiables.
Revisión de la literatura sobre indicadores de movilidad urbana sustentable y encuestas a grupos de la población.	El artículo propone un nuevo sistema de indicadores para reforzar los Planes de Movilidad Urbana Sustentable, en el contexto de las crisis pandémicas. El sistema de indicadores está diseñado para ser específico, medible, alcanzable, relevante y oportuno. Además, tiene en cuenta las necesidades y requisitos de diferentes grupos de población.	Resiliencia, adaptabilidad, eficiencia en crisis, continuidad del servicio, seguridad, capacidad de respuesta, infraestructura crítica.	Adaptabilidad de los planes de movilidad a situaciones de crisis.
Movilidad urbana en la UE.	Análisis cuantitativo utilizando un índice compuesto.	Emisiones de CO ₂ , uso de transporte público, infraestructura verde, eficiencia energética, calidad del aire, accesibilidad, movilidad activa (bicicleta, caminar).	Diferencias en los datos disponibles entre países y variabilidad en la implementación de políticas de movilidad sustentable.
Distribución modal en la movilidad urbana .	Análisis de datos empíricos sobre distribución modal.	Método refinado para la recopilación de datos, abarca tanto indicadores básicos como adicionales de los Planes de Movilidad Urbana Sustentable (PMUS).	Recolección y análisis de datos precisos sobre distribución modal.
Movilidad en campus universitarios	Revisión bibliográfica y análisis de estudios de caso.	Listado de indicadores clave para evaluar la movilidad sustentable en entornos universitarios.	Adaptación de indicadores a diferentes contextos universitarios y diversidad de campus y comportamientos estudiantiles.

En la esfera social, Grande-Ayala (2024) destaca la accesibilidad, la equidad y la eficiencia espacial como indicadores clave para la MUS. Los hallazgos del estudio proporcionan una discusión detallada sobre cómo estos indicadores contribuyen a una distribución equitativa del acceso al transporte y mejorar la eficiencia del uso del espacio urbano. Medina-Molina et al. (2024) sugieren una hoja de ruta para lograr una MUS, subrayan la importancia de la infraestructura y las tecnologías de transporte como indicadores de preparación para esta meta.

De manera similar, en las esferas ambiental y social, Mutavdzija et al. (2024) utilizan normas ISO para evaluar la movilidad urbana inteligente, se destacan indicadores relacionados con el transporte y las tecnologías inteligentes, así como estándares internacionales que ayudan a evaluar y mejorar la sustentabilidad de las ciudades inteligentes. Iamtrakul et al. (2024) proponen indicadores enfocados en peatones, seguridad vial, calidad ambiental y tecnología para transitar hacia una MUS. Mientras que Öztürk (2024) formula el Índice de Transporte Urbano Sustentable (SURKENT), que es un conjunto de indicadores para evaluar el desempeño sustentable del transporte urbano.

En cuanto a los artículos que abordan las tres esferas, Yucesan et al. (2024) exploran un enfoque integrado del método fuzzy best-worst tipo 2 y MULTIMOORA, identifican la importancia de indicadores como emisiones de CO₂ y NO₂, eficiencia energética, accesibilidad al transporte público, uso del suelo y calidad del aire. ElSerafi (2024) analiza la caminabilidad y ciclabilidad, la calidad del espacio público, la seguridad y la accesibilidad como indicadores clave en contextos históricos y urbanos. Por su parte, Al-Shammari y Al-Jameel (2024) delinean indicadores de seguridad vial, eficiencia del transporte, impacto ambiental y accesibilidad para evaluar la sustentabilidad de las redes viales urbanas. Politis et al., (2024), crean un sistema de indicadores, para una MUS en contextos de pandemia. Por su lado Antczak & Wiaderny (2024) miden y evalúan el desarrollo de la MUS en países de la Unión Europea donde utilizan indicadores como eficiencia energética, accesibilidad y calidad del aire. Gadžo (2024) desarrolla un método para la recopilación de datos, considerando indicadores básicos de la

Comisión Europea y de Planes de Movilidad Urbana Sustentable. Finalmente, da Silva et al. (2024) formulan indicadores específicos para evaluar la movilidad sustentable en entornos universitarios.

Las metodologías utilizadas en los estudios van desde análisis cuantitativos y cualitativos, hasta el uso de técnicas avanzadas como la teoría de conjuntos y método fuzzy, lo cual refleja la complejidad en la evaluación de la MUS. En los estudios de caso se proponen indicadores funcionales para su contexto. Además, se suma la tecnología como factor determinante o auxiliar para mejorar significativamente la planificación, implementación de políticas e incentivar la MUS. Varios estudios abordan la accesibilidad como un indicador principal para garantizar políticas efectivas y facilitar la transición hacia una movilidad sustentable (Grande-Ayala, 2024; Yucesan, 2024; ElSerafi, 2024; Al-Shammari et al., 2024; Antczak & Wiaderny, 2024).

A nivel de organismos e instituciones internacionales se han desarrollado marcos y metodologías para evaluar y mejorar la movilidad en las ciudades, para proponer un sistema de indicadores estandarizado, replicado, a nivel municipal, regional o local, que busque evaluar su desempeño con rigor y transparencia, sin importar su tamaño o ubicación geográfica (ISO, 2018) (Ver tabla 2).

Tabla 2. Organismos internacionales que abordan la movilidad urbana sustentable

<i>Indicadores</i>	<i>Organismo e instituciones</i>	<i>Objetivo</i>
Iniciativa para la Prosperidad Urbana (CPI)	Naciones Unidas (ONU)	Establecer un marco general de monitoreo que permita a las ciudades, países y comunidad internacional medir sus progresos e identificar posibles dificultades.
Indicadores de los ODS.	Naciones Unidas (ONU)	Lograr ciudades y asentamientos inclusivos, seguros, resilientes y sustentables.
Índice de Transporte Urbano Sostenible (SUTI)	Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (ESCAP)	Evaluar el estado del transporte urbano en las ciudades y comparar su desempeño con respecto a la sostenibilidad urbana y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
Indicadores de Movilidad Urbana Sustentable (SUMI).	Comisión Europea (UE)	Promover el desarrollo urbano sostenible en los países miembros de la Unión Europea.
Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI).	Banco Mundial (BM)	Proveer datos sobre el desarrollo económico, social y ambiental para guiar políticas y estrategias de desarrollo.
Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (IICES).	Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Evaluar y mejorar la sustentabilidad de las ciudades en América Latina y el Caribe.

<i>Indicadores</i>	<i>Organismo e instituciones</i>	<i>Objetivo</i>
Metodología del Programa de Ciudades Verdes (MPCV).	Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD)	Fomentar el crecimiento económico sostenible.
ISO 37120:2018	Organización Internacional de Normalización (ISO)	Proveer un conjunto de indicadores estandarizados para medir el desempeño de los servicios y la calidad de vida urbana.
ISO 37122:2019	Organización Internacional de Normalización (ISO)	Proveer un marco de indicadores para medir el progreso de las ciudades hacia la sostenibilidad e inteligencia urbana.
Indicadores de caminos y transporte público (ICTP).	Unión Internacional de Transportes Públicos (UITP)	Fomentar y supervisar la inversión en infraestructuras para los desplazamientos a pie y el transporte público
Indicadores de movilidad sustentable en las ciudades (SMP2.0).	Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD)	Conjunto de indicadores que midan el potencial de la movilidad sustentable en las ciudades.
Índice de preparación para la movilidad urbana (UMR).	Foro Oliver Wyman	Facilitar a las ciudades la comprensión de su estado actual y el seguimiento de su progreso en la adopción de soluciones de movilidad sostenible.
Indicador de movilidad sustentable a nivel de ciudad (IMSC).	Civitas Capital Advisory Group 5 Data and Statistics	Medir el rendimiento de los sistemas de transporte y movilidad en las ciudades.
Índice de movilidad urbana de Deloitte 2020 (IMUD).	Deloitte Development LLC	Crear una nueva y mejor manera de medir la salud de su red de movilidad y su preparación para afrontar el futuro.

Fuente: elaboración propia.

De manera general, en cuanto a los indicadores para la evaluación de la MUS, según organismos y la literatura consultada, se identifican las siguientes dimensiones clave (Tabla 3).

Tabla 3. Indicadores para la evaluación de la MUS

<i>Tema</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Indicador, autor.</i>
Accesibilidad	Acceso a servicios esenciales. Acceso conveniente al servicio de transporte público. Distancia caminando hasta el transporte público. Accesibilidad al transporte público para colectivos con movilidad reducida. Proporción de la población que vive a menos de 2 km de una carretera transitable todo el año. Acceso a servicios de movilidad. Índice de asequibilidad. Asequibilidad del transporte público para familias de menores ingresos. Costo del transporte público. Asequibilidad – costo del viaje como porcentaje del ingreso mensual.	UMR, SUTI, ODS, SUMI, SMP2.0, IMSC, IICES.
Seguridad	Seguridad vial. Proporción de la población que se siente segura al caminar sola en su zona de residencia. Accidentes en el tránsito por 100,000 habitantes. Muertes en accidentes de tránsito, incluidos conductores y pasajeros de vehículos de motor, bicicletas y peatones.	ODS, SUTI, IMSC, SUMI, Antczak & Wiaderny, Al-Shammari & Al-Jameel
Eficiencia energética y calidad ambiental	Eficiencia energética. Consumo de combustible per cápita. Emisiones de gases de efecto invernadero en todo el sector del transporte (toneladas per cápita). Emisiones de CO2 del transporte personal per cápita, de autos nuevos matriculados. Emisiones de GEI y GEI/PIB. Emisiones de NO emitida por usuarios de carro. Perturbación por ruido. Concentración de PM10. Niveles medios anuales de partículas finas en suspensión (por ejemplo, PM2.5 y PM10) en las ciudades. Superficie de espacios sociales públicos per cápita. Años de vida perdidos debido a la exposición a PM2.5.	SUTI, SUMI, SURKENT, IMSC, SMP2.0, IICES, ODS, Politis et al., Antczak & Wiaderny, Al-Shammari & Al-Jameel.
Tecnología e innovación	Porcentaje de semáforos que son inteligentes. Madurez de aplicaciones multimodales. Rendimiento de sistemas de transporte inteligentes. Porcentaje de calles y vías de la ciudad cubiertas por información y alertas de tránsito en línea en tiempo real. Número de usuarios de transporte de economía colaborativa por cada 100,000 habitantes. Porcentaje de vehículos matriculados en la ciudad que son vehículos de bajas emisiones. Porcentaje de vehículos matriculados en la ciudad que son vehículos autónomos. Porcentaje de carreteras que cuentan con sistemas de conducción autónoma. Tránsito autónomo en funcionamiento. Sistema de planificación y administración de transporte. Resiliencia ante desastres y perturbaciones ecológicas/sociales.	ISO37122:2019, UMR, SURKENT, SMP2.0.

<i>Tema</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Indicador, autor.</i>
Transporte público y modos alternativos	Kilómetros de carriles y carriles para bicicletas. Kilómetros de senda para bicicleta cada 100,000 habitantes. Espacio peatonal en las aceras a lo largo de las carreteras principales durante las horas pico. Kilómetros de pavimento y vía peatonal cada 100,000 habitantes. Infraestructura de transporte público. Diseño y mantenimiento de carreteras. Número anual de viajes en transporte público per cápita. Diversidad de modos de transporte público. Participación del transporte de pasajeros por ferrocarril y autobús. Kilómetros de sistema de transporte público por 100,000 habitantes. Kilómetros de vías dedicados exclusivamente al transporte público cada 100,000 habitantes. Participación modal del transporte público y activo en los desplazamientos. Tiempo estimado de llegada en tránsito. Fortalecimiento de la red multimodal. Red ferroviaria. Densidad de estaciones de transporte público. Transporte seguro. Sistema de transporte alternativo Porcentaje de líneas de transporte público equipadas con un sistema de información en tiempo real de acceso público. Porcentaje de servicios de transporte público de la ciudad cubiertos por un sistema de pago unificado. Porcentaje de plazas de aparcamiento público equipadas con sistemas de disponibilidad en tiempo real. Porcentaje de rutas de transporte público con conectividad a Internet proporcionada y/o gestionada por el municipio para los viajeros.	ISO 37120:2018, ISO 37122:2019, IICES, IMSC, IMUD, MPCV, SUTI, SURKENT, UMR, Antczak & Wiaderny, lamtrakul et al., y Politis et al.
Gestión del tránsito y movilidad	Reducción de tránsito. Relación entre la oferta y la demanda de aparcamiento en el centro de la ciudad. Relación volumen/capacidad (V/C) en la red de carreteras principales. Utilización del transporte público. Número de automóviles de pasajeros (por 100,000 habitantes). Distancias y tiempos de viaje por modo. Cantidad de automóviles per cápita. Distancias a paraderos de transporte público.	IMUD, UMR, IMSC, IICES, MPCV, lamtrakul et al., Politis et al., Antczak & Wiaderny.
Satisfacción del usuario	Satisfacción ciudadana con el sistema de transporte. Calidad de espacios públicos	SUMI, IMSC, SMP2.0, IMUD.

Fuente: elaboración propia.

Los indicadores de MUS son fundamentales para evaluar el avance de las ciudades hacia la sustentabilidad. De acuerdo al análisis se pueden agrupar en siete categorías clave: 1) accesibilidad, que mide la capacidad de las personas para acceder a servicios básicos de manera inclusiva y asequible; 2) seguridad, centrada en la seguridad ciudadana y vial; 3) eficiencia energética y calidad ambiental, que incluye el consumo de combustible, emisiones de gases de efecto invernadero y la calidad del aire; 4) tecnología e innovación, que mide la implementación y adopción de tecnologías avanzadas en movilidad; 5) transporte público y modos alternativos, enfocado en la infraestructura y diseño urbano para modos de transporte activos y motorizados; 6) gestión del tránsito y movilidad, que enfatiza la regulación del flujo vehicular; y 7) satisfacción del usuario, que evalúa la calidad y servicio de los sistemas de transporte desde la perspectiva del usuario.

Numerosas ciudades ya emplean estos indicadores en aras de llevar un seguimiento claro de sus sistemas de movilidad. Esto permite monitorear la evolución general de la movilidad y evaluar el impacto de las medidas implementadas (Finger & Serafimova, 2020). Un grupo de indicadores estandarizados, metódicos y prácticos puede permitir que las autoridades tengan una mejor comprensión del estado actual de la ciudad en cuanto a la MUS y su implementación más eficiente (Gadžo et al., 2024). No obstante, las ciudades varían en términos de geografía, clima, infraestructura, densidad poblacional y patrones de movilidad, lo cual hace que un conjunto único de indicadores no sea aplicable de manera efectiva en todas las situaciones (da Silva et al., 2024; Iamtrakul et al., 2024).

Con la revisión de la literatura asociada a los indicadores de MUS, se encuentra que el problema ha sido atendido desde las vertientes de su mediación en campus universitarios, contextos históricos, situaciones de pandemia, modos de transporte masivos, áreas urbanas y suburbanas, ciudades inteligentes, e inclusive para la preparación de las ciudades hacia la MUS.

Dentro los desafíos y limitaciones, los autores consideran que las condiciones y contextos diferentes de las ciudades no permiten que los indicadores sean aplicables de manera general, ya que algunos de ellos pueden ser más o menos representativos según las zonas de estudio, lo que propicia la necesidad de adaptar o agregar indicadores, que con la ayuda de estudios se pueden identificar aquellos más apropiados (da Silva, 2024, Iamtrakul et

al., 2024, Mutavdžija, et al., 2024). Adicionalmente, la segregación, acceso limitado, falta de datos, confiabilidad, sistematización, y georreferencia de la información constituyen una limitación para el desarrollo de la aplicación y/o seguimiento de indicadores, además de propiciar a evaluaciones subjetivas (Mutavdžija, et al., 2024; Grande-Ayala, 2024).

A buen conocimiento de los autores, se considera que falta por atender el lente multifacético de la MUS desde la perspectiva del comportamiento de los usuarios, características culturales y de entorno, tendencias económicas, movilidad urbana inteligente, (Iamtrakul et al., 2024, Medina-Molina et al., 2024; Mutavdžija, et al., 2024, ElSerafi, 2024).

Motivados por lo anterior y al considerar la diversidad de condiciones y contextos urbanos, nuestra hipótesis es que, pese a la normalización de las organizaciones, los indicadores actuales de MUS enfrentan desafíos para su aplicación universal, por lo que a través de métodos estadísticos se pueden identificar los indicadores que mejor se adapten a la realidad de la zona o zonas de estudios, con el fin de obtener evaluaciones precisas y relevantes. Además, implementar indicadores que consideren el comportamiento de los ciudadanos, características culturales y dinámicas económicas, mejoraría el estudio.

La implementación de tecnologías inteligentes es un elemento clave para impulsar la MUS, que no solo se debe de aplicar a la movilidad de las ciudades, sino también a las bases de datos para tener información unificada que permita implementación y seguimiento adecuado de los indicadores.

5. Conclusiones

Los indicadores de MUS son herramientas que permiten medir y evaluar el desarrollo de ciudades hacia un futuro más sustentable. Además, facilitan la formulación de estrategias efectivas para alcanzar este objetivo. A través de este análisis documental se identificaron siete categorías de indicadores de MUS: accesibilidad, seguridad, eficiencia energética y calidad ambiental, tecnología e innovación, transporte público y modos alternativos, gestión del tránsito y movilidad, y satisfacción del usuario. Estas categorías proporcionan un marco integral para medir y mejorar la movilidad urbana, adap-

tándose a las necesidades y características específicas de cada ciudad de estudio.

La diversidad en geografía, infraestructura, patrones de movilidad y otros aspectos entre ciudades, dificulta la posibilidad de aplicar un conjunto único de indicadores de manera universal, por lo que en ocasiones se recurre a la adaptación o adición de indicadores específicos a cada contexto urbano, lo cual se puede lograr mediante estudios detallados, como los estadísticos, para identificar los indicadores más apropiados para cada zona.

La literatura revisada muestra que el problema de la MUS ha sido abordado desde múltiples perspectivas, incluyendo campus universitarios, contextos históricos, situaciones de pandemia, modos de transporte masivo, áreas urbanas y suburbanas, y ciudades inteligentes. Sin embargo, existen desafíos y limitaciones significativas, como la segregación, acceso limitado a datos, falta de confiabilidad y sistematización de la información, y la necesidad de evaluaciones menos subjetivas.

Además, se identificó que es necesario abordar la MUS desde una perspectiva multifacética que incluya el comportamiento de los usuarios, las características culturales y de entorno, y las tendencias económicas. Implementar tecnologías inteligentes en la movilidad urbana y en la gestión de bases de datos es esencial para lograr un seguimiento adecuado y eficiente de los indicadores.

Aunque los indicadores actuales de MUS proporcionan una base para la evaluación de la movilidad urbana, enfrentan desafíos para su aplicación universal. La utilización de métodos estadísticos para identificar los indicadores más adecuados para cada contexto urbano, así como la consideración de factores de comportamiento, culturales y económicos, permitirá evaluaciones más precisas y relevantes. La implementación de tecnologías inteligentes complementará este proceso, y facilitará el proceso a una MUS.

6. Referencias

Al-Shammari, A., y Al-Jameel, H. (2024, May). Evidence-based review: Sustainable indicators for urban road networks. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3091, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0205158>

15

- Alvarado, R., Tillaguango, B., Cuesta, L., Pinzón, S., Alvarado-López, MR, Işık, C., y Dagar, V. (2022). Biocapacity convergence clubs in Latin America: an analysis of their determining factors using quantile regressions. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (44), 66605-66621.
- Antczak, E., y Wiaderny, Ł. (2024). Quantification and assessment of sustainable urban mobility development in selected EU Countries using a composite Index. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Oeconomica*, 4(365). Doi: 10.18778/0208-6018.365.01
- Asprilla, Y. (2016). La movilidad urbana sostenible: un paradigma en construcción en el contexto del cambio climático. *Revista Iberoamericana Universitaria en el ambiente, sociedad y sustentabilidad*, 2(3), 1621-181. ISSN 2346-9269.
- Banco Mundial (1987). *Informe sobre el Desarrollo Mundial 1978*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/677641468134388910/pdf/3478410spanish.pdf>
- Banco Mundial, (2023). *Desarrollo urbano*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- BERD. Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo. (2021). *Metodología del Programa de Ciudades Verdes*. <https://es.shiftcities.org/organization/european-bank-reconstruction-and-development>
- Berger, G., Feindt, P. H., Holden, E. y Rubik, F. (2014). Sustainable mobility—challenges for a complex transition. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 16(3), 303-320. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2014.954077>
- BID. Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). *Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles*. <https://www.igc.org.ar/metropolitano/lerma/Docs/1.Info-Referencia/ICES-BID/ICES-Anexo2Indicadores.pdf>
- Bini, L., y Bellucci, M. (2020). Integrated sustainability reporting. *Integrated Sustainability*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24954-0>
- BM. Banco Mundial. *Indicadores de desarrollo mundial*. (2023). <https://globaltradedata.wto.org/es/node/15788>
- Caroleo, B., Morelli, N., Lissandrello, E., Vesco, A., di Dio, S., y Mauro, S. (2019). Measuring the change towards more sustainable mobility: MUV impact evaluation approach. *Systems*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/systems7020030>
- Cascales, G. M., y Gómez, P. J. (2016). Estudio del arte de indicadores de movilidad urbana sostenible. *Anuario de Jóvenes Investigadores*, (9), 54-57.
- CE. Comisión Europea. (2020). *Sustainable Urban Mobility Indicators (SUMI)*. https://transport.ec.europa.eu/index_en#:~:text=Sustainable%20urban%20mobility%20indicators%20are,focus%20on%20areas%20for%20improvement.&text=To%20support%20cities%20with%20the,is%20available%20free%20of%20charge.
- CE. European Commission. (2011). *Roadmap to a single European transport area—Towards a competitive and resource efficient transport system (white paper)*. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:en:PDF>
- Chakhtoura, C., y Pojani, D. (2016). Indicator-based evaluation of sustainable transport plans: A framework for Paris and other large cities. *Transport Policy*, 50, 15-28. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.05.014>

18

- Civitas Capital Advisory Group 5 Data and Statistics. (2016). *City level Sustainable Mobility Indicator Descriptions*. https://civitas.eu/sites/default/files/civitas_capital_ag5_brochure_indicators_final.pdf
- Costa, P. B., Neto, G. M., y Bertolde, A. I. (2017). Urban mobility indexes: A brief review of the literature. *Transportation research procedia*, 25, 3645-3655. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.330>
- da Silva, A. N. R., Tan, F. M., y de Sousa, P. B. (2024). Key sustainable mobility indicators for university campuses. *Environmental and Sustainability Indicators*, 22, 100371. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100371>
- Deloitte Development LLC. (2020). *The 2020 Deloitte City Mobility Index*. https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4331_Deloitte-City-Mobility-Index/2020/DCMI_Methodology_2020_WEB.pdf
- Dragan P., Vladimir S., Dragan L., Mom D. y Muhammet D. (2022). Prioritization of sustainable mobility sharing systems using integrated fuzzy DIBR and fuzzy-rough EDAS model. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103910. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103910>
- ElSerafi, T. (2024). Assessing streetscape development effects on walking and cycling in historic contexts: the case study of Afrang district, Port Said, Egypt. *Open House International*, 49(2), 244-263. <https://doi.org/10.1108/OHI-02-2023-0024>
- ESCAP. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. (2017). *Sustainable Urban Transport Index (SUTI)*. <https://www.unescap.org/our-work/transport/suti>
- Finger, M., y Serafimova, T. (2020). Towards a common European framework for sustainable urban mobility indicators. *Policy Briefs*, 39.
- Francisco N., Elías A., Javier L. y Antonio Z. (2022). Socially sustainable mobility: Strategic analysis to identify accessibility barriers. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103420. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103420>
- Gadžo, E., Mujić, A., y Lindov, O. (2024). Sump Indicators in Focus—Investigating Modal Distribution in Urban Mobility Research. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 70(1), 19-22. <https://doi.org/10.31075/PIS.70.01.04>
- Grande-Ayala, C. E. (2024). An Assessment of Accessibility from a Socially Sustainable Urban Mobility Approach in Mass Transit Projects: Contributions from the Northern Central American Triangle. *Sustainability*, 16(9), 3766. <https://doi.org/10.3390/su16093766>
- Gunn, S. (2011). The Buchanan Report, environment and the problem of traffic in 1960s Britain. *Twentieth Century British History*, 22(4), 521-542. <https://doi.org/10.1093/tcbh/hwq063>
- Hernández Cerda, C. N., Ávila Galarza, A., y Cerda Alonso, D. G. (2023). Impact of urban mobility on air quality in the metropolitan area of San Luis Potosí, Mexico. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1). <https://doi.org/10.15359/rca.57-1.8>
- Iamtrakul P. y Klaylee J. (2023). Creating A prototype smart city for A case of developing world: Pathum Thani, Thailand. *GMSARN International Journal*, 17(1), 67–75.
- Iamtrakul, P., Klaylee, J., y Raungratanaamporn, I. S. (2024). Evaluating sustainable mo-

- bility: motorized and non-motorized modes in suburban areas of Thailand. *Evaluation review*, 0193841X241233669. <https://doi.org/10.1177/0193841X241233669>
- 15 Irfan, M., Elavarasan, R. M., Ahmad, M., Mohsin, M., Dagar, V., y Hao, Y. (2022). Prioritizing and overcoming biomass energy barriers: Application of AHP and G-TOPSIS approaches. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121524. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121524>
- 56 Organización Internacional de Normalización. (2018). *Sustainable cities and communities Indicators for city services and quality of life (ISO 37120:2018)*. <https://www.iso.org/standard/68498.html>
- ISO. Organización Internacional de Normalización. (2019). *Sustainable cities and communities — Indicators for smart cities (ISO 37122:2019)*. <https://www.iso.org/standard/68498.html>
- 5 Klaylee J., Iamtrakul P. y Padon A. (2023). Effect of urban metabolism on energy consumption in mobility system. *GMSARN International Journal*, 17, 76–84.
- 90 Klopp, JM, y Petretta, DL (2017). The urban sustainable development goal: Indicators, complexity and the politics of measuring cities. *Cities*, 63, 92-97.
- 15 Kumar, P., Gupta, S., y Dagar, V. (2024). Sustainable energy development through non-residential rooftop solar photovoltaic adoption: Empirical evidence from India. *Sustainable Development*, 32(1), 795-814.
- Liu, K., Wang, C. X., Song, S. S., y Li, Q. (2013). Evaluation on Sustainable Development Level-A Case Study of Liaocheng City. *Applied Mechanics and Materials*, 361, 111-114. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.361-363.111>
- Lo-Iacono-Ferreira, V. G., Garcia-Bernabeu, A., Hilario-Caballero, A., y Torregrosa-López, J. (2022). Measuring urban sustainability performance through composite indicators for Spanish cities. *Journal of Cleaner Production*, 359, 131982.
- 56 López Pardo, I., (2015). Sobre el desarrollo sostenible y la sostenibilidad: conceptualización y crítica. *Barataria. Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales*, (20), 111-128. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322142550007>
- 54 Medina-Molina, C., Pérez-Macías, N., y Coronado-Vaca, M. (2024). Searching for complexity. Application of the set-theory to the analysis of urban mobility readiness index. *Discover Sustainability*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00187-5>
- Menini, S. E., Silva, T. O. D., Pitanga, H. N., y Santos, A. D. P. D. (2021). Method for using nonmotorized modes of transportation as a sustainable urban mobility index in university campuses. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 147(2), 05020010. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000483>
- Mokarrari, K. R., y Torabi, S. A. (2021). Ranking cities based on their smartness level using MADM methods. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103030. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103030>
- Mollinedo, C. L. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía Sociedad y Territorio*, 6(22), 283-321. <https://doi.org/10.22136/est002006260>
- Mozos-Blanco, M. Á., Pozo-Menéndez, E., Arce-Ruiz, R., y Baucells-Aletà, N. (2018). The

- way to sustainable mobility. A comparative analysis of sustainable mobility plans in Spain. *Transport policy*, 72, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.07.001>
- MUSAL. Movilidad Urbana Sustentable de América Latina. (2014). *Libro Blanco de la Movilidad Urbana Sustentable de América Latina*. Secretaria General de SIBRT. https://redsimus.com/pdf/libro_blanco.pdf
- Mutavdžija, M., Kovačić, M., y Buntak, K. (2024). Moving towards Sustainable Mobility: A Comparative Analysis of Smart Urban Mobility in Croatian Cities. *Sustainability*, 16(5), 2004. <https://doi.org/10.3390/su16052004>
- Oliver Wyman Forum. (2023). *Urban Mobility Readiness Index*. <https://www.sipotra.it/wp-content/uploads/2024/01/Urban-Mobility-Readiness-Index-2023-REPORT.pdf>
- ONU. Naciones Unidas. (1972). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/recursos/224844/Contenido/C%20conferencias/6%20Conf%20NU%20MA%20Des%201992.pdf>
- ONU. Naciones Unidas. (1973). *Informe de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*. Nueva York. <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n73/039/07/pdf/n7303907.pdf?token=koHxhf0TScD0RQ8RJe&fe=true>
- ONU. Naciones Unidas. (1992). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*.
- ONU. Naciones Unidas. (2000). *Informe del Milenio*. <https://www.un.org/spanish/milenio/ares552.pdf>
- ONU. Naciones Unidas. (2012). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible*. https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_evento/docfinalrio20.pdf
- ONU. Naciones Unidas. (2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONU. Naciones Unidas. (2015). *Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework_A.RES.71.313%20Annex.Spanish.pdf
- ONU. Naciones Unidas. (2019). *Iniciativa para la prosperidad urbana*. <http://70.35.196.242/onuhabitatmexico/cpi/Reporte-CPI-2019.pdf>
- ONU. Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Edición especial*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
- Öztürk, E. A. (2024). Sustainable urban transportation performance in Ankara: A comparative study. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 8(1), 23-29. <https://doi.org/10.30939/ijastech..1369878>
- Papa, E., y Lauwers, D. (2015). Smart mobility: Opportunity or threat to innovate places and cities. In *20th international conference on urban planning and regional development in the information society (REAL CORP 2015)*, 543-550. <https://biblio.ugent.be/publication/5937340/file/5937341>
- <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105551>

- 85 Parris, T. M., y Kates, R. W. (2003). Characterizing and measuring sustainable development. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 559-586.
- Pérez, A., Fernández, P., Prados-Castillo, J. F., y de Castro-Pardo, M. (2022). Constructing fuzzy composite indicators to support water policy entrepreneurship. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 1(3), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.stae.2022.100022>
- Politis, I., Aranitou, V., Simos, G., Georgiadis, G., Nikolaidou, A., Sdoukopoulos, A., ... y Zikopoulou, O. (2024). A smart KPI system for reinforcing sustainable urban mobility plans under pandemic crises. *Transportation Engineering*, 16, 100248. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100248>
- 55 Quintero-González, J. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 57-72. doi:10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm
- Ramzan, M., Abbasi, K. R., Salman, A., Dagar, V., Alvarado, R., y Kagzi, M. (2023). Towards the dream of go green: An empirical importance of green innovation and financial depth for environmental neutrality in world's top 10 greenest economies. *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122370.
- Regmi, M. B. (2020). Measuring sustainability of urban mobility: A pilot study of Asian cities. *Case studies on transport policy*, 8(4), 1224-1232. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.08.003>
- 33 Romero, G. A., y Lugo-Morín, D. R. (2018). El estado del arte de la movilidad del transporte en la vida urbana en ciudades latinoamericanas. *Revista Transporte y Territorio*, (19), 133-157.
- Ruan, F. L., y Yan, L. (2022). Challenges facing indicators to become a universal language for sustainable urban development. *Sustainable Development*, 30(1), 41-57. <https://doi.org/10.1002/sd.2227>
- Schmidt, K., Sieverding, T., Wallis, H., y Matthies, E. (2021). COVID-19—A window of opportunity for the transition toward sustainable mobility? *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 10, 100374. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100374>
- Sdoukopoulos, A., y Pitsiava-Latinopoulou, M. A. G. D. A. (2017). Assessing urban mobility sustainability through a system of indicators: The case of Greek cities. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 226, 617-631.
- Šemanjski, S. Mandžuka and S. Gautama, «Smart Mobility,» 2018 International Symposium ELMAR, Zadar, Croatia, 2018, 63-66. doi: 10.23919/ELMAR.2018.8534693
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). *Contribución determinada a nivel Nacional actualización 2022*. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico_NDC_UNFCCC_update2022_FINAL.pdf
- 5 Suélen B., Bianca L., Suane D. A., Moschenc M., Benetti C. S., Ana C. F. y Matheus L. N. (2021). Sustainable mobility scale: A contribution for sustainability assessment systems in urban mobility. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100271. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100271>
- Sultan B., Katar I. M. y Al-Atroush M. E. (2021). Towards sustainable pedestrian mobility

- in riyaadh city, Saudi Arabia: A case study. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102831. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102831>
- 13 Tafidis, P., Sdoukopoulou, A., y Pitsiava-Latinopoulou, M. (2017). Sustainable urban mobility indicators: Policy versus practice in the case of Greek cities. *Transportation research procedia*, 24, 304-312. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.122>
- UITP. Union Internationale des Transports Publics. (2019). *Urban Mobility Indicators*. <https://walk21.com/about-us/partners/uitp/>
- UMP. Urban Mobility Portal. (2023). *Urban Mobility Indicators*. <https://www.urbanmobilityportal.com/indicators>
- Vanli, T. (2024). Ranking of global smart cities using dynamic factor analysis. *Social Indicators Research*, 171(2), 405-437. <https://doi.org/10.1007/s11205-023-03259-7>
- WBCSD. The World Business Council for Sustainable Development. (2020). *Sustainable Mobility Project 2.0 (SMP2.0) Indicators Work Stream*. https://docs.wbcsd.org/2015/12/SMP2.0_Sustainable-Mobility-Indicators_ENG.pdf
- 58 WCED. World Commission on Environment and Development. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común*. Documentos de Las Naciones Unidas. https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- 51 Yucesan, M., Özkan, B., Mete, S., Gul, M., y Özceylan, E. (2024). Evaluating sustainability of urban mobility of Asian cities: An integrated approach of interval type-2 fuzzy best-worst method and MULTIMOORA. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 127, 107266. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107266>
- 13 Zunino Singh, D. S., Pérez, V., Hernández, C., y Velazquez, M. (2020). Movilidad pública, activa y segura. Reflexiones sobre la movilidad urbana en tiempos de COVID-19. *Prácticas de Oficio*, 1(25), 67-84. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/121673/CONICET_Digital_Nro.d5228e98-1ea9-41ff-9d1c-30c6ffda8634_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

7. Transiciones sustentables: hacia un enfoque teórico-práctico integrado*



CHRISTIAN MUÑOZ-SÁNCHEZ**

DANIEL ROMO RICO***

DULCE MARÍA MONROY BECERRIL****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.07>

Resumen

Las Transiciones Sustentables (TS) son consideradas como procesos de transformación dentro de un largo plazo considerando niveles multidimensionales mediante los cuales se cambian modos de consumo y producción con la finalidad de ser más sustentables. Sin embargo, la relación entre enfoques es reciente y carece de una ruta de investigación consolidada. Por lo tanto, el propósito del presente capítulo es realizar una revisión teórica sobre TS, con la finalidad de conocer los principales enfoques teóricos con los que se analizan las transiciones sustentables. La investigación permite concluir que el estudio de TS es reciente y con muchas perspectivas para futuros estudios; en especial, a través del análisis multi-nivel y el análisis funcional, la contribución de la investigación se centra en integrar ambos enfoques y proponer un Modelo Teórico-Práctico para evaluar TS.

* Capítulo derivado del proyecto de investigación SIP 20241730: Derramas de Conocimiento, Capacidades de Absorción y Transiciones Sustentables en el Sector del Transporte Terrestre y Aéreo en México, patrocinado por el Instituto Politécnico Nacional, México.

** Doctor en Ciencias Sociales en Economía, Gestión y Políticas de Innovación. Profesor-investigador de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: 0000-0001-8692-4252 Correspondencia: cmunozs@ipn.mx

*** Doctor en Ingeniería en Economía de la Energía. Profesor-investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Ticomán (SEPI-ESIA-TICOMÁN) del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: 0000-0003-4672-7988

**** Doctora en Administración Pública. Profesora-investigadora de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-5577>

Palabras claves: *transiciones sustentables; sustentabilidad; análisis multinivel; análisis funcional.*

1. Introducción

El concepto de ‘transiciones sustentables’ ha adquirido una importancia creciente en la literatura académica (Bruno, 2022, Geels, 2024). Esta tendencia ha generado una gran aceptación tanto del lenguaje como la lógica dentro de los marcos económicos y sociales.

Abordando la urgente necesidad de reducción en los impactos ambientales trabajando en evitar posibles catástrofes. En parte, refleja un reconocimiento que los objetivos ambientales se encuentran íntimamente conectados con otras dimensiones de la sustentabilidad, como se plantean en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) acordados a nivel mundial. (ONU, 2015), es importante señalar que los objetivos de sustentabilidad no se pueden lograr solo con soluciones técnicas, sino que requiere una transformación más fundamental de los sistemas sociales (Geels, 2024).

Sin embargo, la literatura académica y enfoques teóricos emergentes que exploran el análisis de las Transiciones Sustentables aún permanece en sus primeras etapas; por lo tanto, el presente capítulo se centra en conocer los principales marcos teórico-prácticos con los que se analizan las transiciones sustentables.

Considerando lo anterior, la presente investigación se plantea los siguientes objetivos de investigación 1) Conocer los principales enfoques teóricos que analizan las Transiciones Sustentables y 2) Proponer un Modelo Teórico-Práctico para evaluar Transiciones Sustentables.

Seguido de la presente introducción, el documento se divide en cuatro secciones: la segunda se enfoca en una revisión teórico-conceptual sobre transiciones sustentables; en la tercera sección, se esboza el diseño metodológico; en la cuarta sección se discuten los principales enfoques teóricos sobre transiciones sustentables; en la quinta sección, se propone un Modelo Teórico-Práctico para evaluar Transiciones Sustentables y, finalmente, se presentan las conclusiones de la investigación.

2. Desarrollo

2.1. Transiciones sustentables

En el diccionario de la Real Academia Española, el término “transición” se define como “Acción y efecto de pasar de un modo de ser o estar a otro distinto” (Real Academia Española, 2020). La acción de transición tiene la connotación de cambio, un “salto” de un estado a otro. Las transiciones pueden ocurrir en diferentes niveles, dependiendo de la unidad de análisis. Por ejemplo, a nivel social, en el pasado la sociedad cazadora-recolectora en su conjunto, fue la transición hacia una sociedad urbana, asentada en conglomerados de personas, edificaciones, reglas sociales, valores sociales, reglas culturales y religiosas, entre otras (Geels, 2002, 2012, 2024). Otro ejemplo del tipo de transición social es la de la sociedad rural a la industrial, en la cual hubo importantes innovaciones en la producción de bienes y servicios, desarrollo de infraestructura industrial, normas y reglas de trabajo, formas innovadoras de pagos y transacciones financieras, entre otras (Geels, 2002, 2024). Así también se presentan cambios y transiciones en las funciones sociales, y económicas como el uso de la energía para el transporte, la comunicación, la vivienda, la alimentación, entre otras actividades.

Sin embargo, estas transiciones implican cambios en los sistemas socio-tecnológicos, estos comprenden un conjunto de elementos, entre ellos la tecnología, los reglamentos, las prácticas y los mercados de usuarios, los significados culturales, las infraestructuras, las redes de mantenimiento y suministro (Elzen et al., 2004; Geels, 2004).

La tecnología juega un papel importante en el desempeño de las funciones sociales, pero su funcionamiento depende de su relación con los demás elementos, las tecnologías realizan funciones en contextos concretos de usuarios, que se componen de sus competencias, preferencias y valores culturales e interpretaciones (Geels, 2024). Los contextos de los usuarios de la tecnología también están alineados por una variedad de artefactos e infraestructuras existentes y reglamentos.

Las ts tienen como característica central solucionar problemas persistentes con el medio ambiente; las empresas tienen incentivos limitados para

abordarlas, porque el objetivo está relacionado con un beneficio económico principalmente, la parte gubernamental, instituciones educativas y organizaciones intermedias juegan un papel clave para llevar a cabo las TS y apoyar las tecnologías pro sustentables (Elzen et al., 2004; Geels, 2004; 2010).

Una segunda característica se relaciona con los sectores estratégicos para evaluar TS, por ejemplo, el sector transporte, agua, energía y agroindustria. Estos sectores estratégicos se caracterizan por ser abordados por grandes empresas (por ejemplo, compañías petroleras, fabricantes de aeronaves y automóviles, empresas de procesamiento de alimentos, empresas de comercio electrónico, supermercados, cadenas de comida rápida, entre otros) que poseen ‘activos complementarios’ como la capacidad de fabricación especializada, alta investigación en I+D, producción a gran escala, acceso a canales de distribución, redes de servicio y tecnologías complementarias (Rothaermel, 2001; Geels, 2004). La idea central es que las TS implican cambios a largo plazo hacia modos de producción y consumo más sustentables en múltiples dimensiones (social, ambiental y económica) (Geels, 2024).

3. Metodología

Se realizó una Revisión Sistemática de Literatura, ya que es un método que incluye una serie de fases para asegurar un adecuado rigor y transparencia usado en el proceso de revisión de literatura especializada (Tranfield et al., 2003; Kitchenham y Charters, 2007).

Por su parte, Denyer y Tranfield, (2009), consideran que una Revisión de Literatura, consta de las siguientes fases:

- 1) Formulación del objetivo y alcance de la investigación
- 2) Localización de la literatura especializada
- 3) Selección y evaluación
- 4) Análisis y Síntesis
- 5) Reporte de resultados obtenidos

La bibliografía que se revisó se centró en revistas científicas internacionales arbitradas y extraídas de las principales bases de datos electrónicas.

Las bases de datos electrónicas utilizadas incluyen: Elsevier, Emerald, Taylor & Francis, Springer y Wiley.

En términos de la búsqueda en las bases de datos referidas, se determinó la siguiente ecuación de búsqueda: title/abstract/key words: (“sustainability transitions”) or (“transition to sustainability”); el intervalo de tiempo fue: (2010-2024) y tipo de documentos: (article). Se revisaron los principales marcos analíticos donde se estudian las transiciones sustentables que se detallan en el siguiente apartado.

4. Discusión

4.1. Análisis Multi Nivel (AMN)

Este marco analítico combina conceptos de la economía evolutiva (trayectorias tecnológicas, régimen tecnológico, nichos, capacidades tecnológicas, rutinas); estudios sobre ciencia y tecnología (la innovación como un proceso social conformado por agentes y contextos sociales), y teoría neoinstitucional (reglas e instituciones como “reglas del juego” que estructuran las acciones de los agentes) (Geels, 2004; Geels y Schot, 2007 y Geels, 2024).

Las TS implican interacciones entre tecnología, política, economía, negocios, mercados, cultura y opinión pública. Por lo tanto, la naturaleza de las TS es multi-nivel y requieren de cambios estructurales dinámicos. Con respecto al cambio estructural, el problema es que muchas de las estructuras existentes se encuentran arraigados a través de economías de escala y grandes inversiones en infraestructura, maquinaria y equipo, competencias, etc., mientras que también existen compromisos institucionales arraigados, por ejemplo, creencias compartidas, relaciones de poder y cabildeo político (Unruh, 2000). El AMN nos ayuda a entender la naturaleza multi-nivel y multi-dimensional, así como los cambios estructurales dinámicos de las TS.

El AMN analiza las TS como procesos dinámicos que resultan de la interacción de tres niveles analíticos (Geels, 2002, 2004, 2024):

- a) Regímenes socio-tecnológicos (el foco de las prácticas establecidas y las reglas asociadas que estabilizan los sistemas existentes);

- b) Nichos tecnológicos (donde surgen las innovaciones radicales); y
- c) Contexto exógeno (la influencia del medio ambiente externo en el sistema).

Cada ‘nivel’ se refiere a una heterogénea configuración de elementos, el nivel de régimen es de interés primario, porque las transiciones se definen como cambios de un régimen a otro. A continuación, se analiza cada uno de los niveles analíticos del EMN de las TTS.

a) Régimen socio- tecnológico

Kemp et al. (2001) lo define como “el conjunto de reglas comprendido en el complejo de conocimientos científicos, prácticas de ingeniería, tecnologías de proceso de producción, características del producto, habilidades y procedimientos, instituciones e infraestructuras que conforman la totalidad de una tecnología”. Esta conceptualización enfatiza el carácter institucional de un régimen como un resultado emergente y colectivo que no puede cambiarse a voluntad (Kemp et al., 2001). Geels (2002), propuso utilizar el término “régimen socio-tecnológico” para hacer que esta distinción sea más prominente y enfatizar que no solo los ingenieros o científicos, sino también otro tipo de personas como: usuarios finales, legisladores, grupos de interés social, asociaciones, etc., comparten reglas y prácticas que constituyen un régimen.

b) Nichos tecnológicos

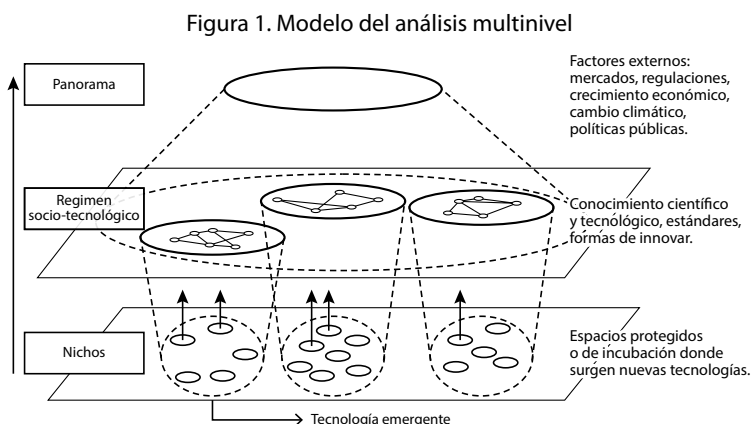
Los nichos representan el nivel local del proceso de innovación y comúnmente se los denomina espacios protegidos o de incubación, en los que surgen nuevas tecnologías o prácticas socio-tecnológicas que se desarrollan aisladas de las presiones de selección de los mercados o regímenes “normales” (Kemp et al., 2001). De acuerdo con Hoogma et al. (2002), un nicho puede definirse como “un dominio de aplicación tecnológica donde los agentes están preparados para trabajar con funcionalidades específicas, aceptar problemas tales como mayores costos de producción y están dispuestos a invertir en mejoras de nueva tecnología y en el desarrollo de nuevos mercados”. Los nichos son cruciales para las TS, porque proporcionan las semillas para el cambio sistémico. La literatura sobre nichos tecnológicos (Kemp et al., 1998) distingue tres procesos centrales en su desarrollo:

Primero, la articulación (ajuste) de las expectativas o visiones, que proporcionan orientación a las actividades de innovación, y buscan atraer la atención y el financiamiento de agentes externos; segundo, la construcción de redes sociales y la atracción de más agentes que amplían la base de recursos de las innovaciones del nicho; por último, los procesos de aprendizaje tienen lugar en múltiples dimensiones, por parte de la oferta, estas dimensiones involucran tecnología, red de producción y políticas, por parte del usuario, implican preferencias del usuario, regulación, infraestructura, políticas, significado simbólico y redes de mantenimiento (Geels, 2024).

c) Contexto Externo

Las trayectorias tecnológicas están situadas en un “contexto externo”, que consiste en un conjunto de profundas tendencias estructurales externas al régimen. La importancia analítica del “contexto” es que forman una estructura externa para las interacciones de los agentes. Geels, (2002) lo define como: “un conjunto de factores heterogéneos, como los precios del petróleo, el crecimiento económico, las guerras, la migración, las amplias coaliciones políticas, los valores culturales y normativos y los problemas ambientales”.

La figura 1 muestra la representación de cómo los tres niveles interactúan dinámicamente en el despliegue de las ts. Aunque cada transición es única, la dinámica general se caracteriza por transiciones resultantes de la interacción entre procesos en los tres niveles.



Fuente: elaboración con base en Geels, 2024.

La utilidad del AMN se ha ilustrado con muchos estudios para evaluar TS, como en el caso de los sistemas eléctricos en energía (Verbong & Geels, 2007; Hofman y Elzen, 2010), movilidad sustentable (Nykvist y Whitmarsh, 2008), electricidad y co-combustión (Raven, 2007), alimentos orgánicos y vivienda sostenible (Smith, 2003). Muchos de estos estudios contemporáneos explican los altibajos de las innovaciones de nichos tecnológicos “sustentables” al analizar los procesos de aprendizaje, la dinámica de las redes y las luchas contra los regímenes existentes en múltiples dimensiones (Geels y Schot, 2007 y Geels, 2014).

5. Análisis Funcional (AF)

El análisis funcional se basa en conceptos como trayectoria tecnológica, interdependencia y co-evolución (Markard y Truffer, 2008). El análisis funcional enfatiza la importancia de la dinámica de los SI en comparación con cómo está compuesto o estructurado (Jacobsson y Bergek, 2011). Esta orientación se relaciona completamente con las TS en términos de la evolución de una tecnología sustentable emergente hasta su consolidación. En la literatura sobre TS estas actividades o procesos se identifican como “funciones”.

Diversos autores utilizan este tipo de análisis y lo validan a través de estudios de caso, entre los que destacan: TS dentro del sector biogás en Alemania (Huttunen et al., 2014); Trayectorias de TS en el sector fotovoltaico en Alemania (Dewald, et al, 2015); Análisis de la transición hacia biocombustibles en Noruega (Fevolden y Klitkou, 2017); Estudio de caso de biodiesel en Taiwan (Chung, 2018) y Dinámicas de transición en el SI del sector Biogas en Brazil (Silva de Oliveira y Negro, 2019).

El conjunto de funciones para la presente investigación se basará en el trabajo de Bergek et al., (2008), Hekkert, (2007) y Hekkert y Negro, (2009), las funciones se analizan a continuación:

F1) Actividades Empresariales: El rol clásico del emprendedor es traducir el conocimiento en oportunidades comerciales, y eventualmente la empresa que genera innovaciones lo hace realizando experimentos orien-

tados al mercado que establecen cambios, tanto para la tecnología emergente como para las instituciones que la rodean. Las actividades empresariales involucran proyectos destinados a demostrar la utilidad de la tecnología emergente en un entorno práctico y/o comercial (Bergek et al., 2008; Hekkert, 2007; Hekkert & Negro, 2009).

F2) Desarrollo del Conocimiento: Incorpora actividades de aprendizaje, principalmente en la tecnología emergente, en el contexto del desarrollo del SI, esto significa que una intensidad creciente del desarrollo del conocimiento implica un número creciente de opciones disponibles dentro del sistema, en términos de tecnología y también en términos de sus posibles aplicaciones (Bergek et al., 2008; Hekkert, 2007; Hekkert y Negro, 2009).

Desde una visión evolutiva, la función de desarrollo del conocimiento está asociada con la creación de variedad dentro del sistema (McKelvey, 1982), es decir, una creciente intensidad del desarrollo del conocimiento implica un número creciente de opciones disponibles dentro del sistema, en términos de tecnología y también en términos de sus posibles aplicaciones, la función se desarrolla principalmente en centros públicos y privados de investigación, así como la interacción constante con las empresas y sus áreas de I+D.

F3) Difusión del Conocimiento: Las actividades de difusión del conocimiento involucran una amplia variedad de actores y redes. Se espera que los actores que comparten un campo tecnológico intercambien conocimientos en una base más frecuente que los actores de diferentes comunidades. Sin embargo, para que un SI prospere es importante que se produzca la difusión del conocimiento entre agentes del SI. Una forma de aprendizaje interactivo es mediante el uso de tecnologías (learning by doing) que implica funciones de aprendizaje basado en las experiencias de los usuarios sobre innovaciones tecnológicas, por ejemplo, las interacciones productor-usuario (Hekkert y Negro, 2009).

F4) Orientación de la Investigación: Hace referencia a la convergencia de señales positivas y negativas - expectativas, promesas, directivas de política - en una dirección particular del desarrollo de una tecnología emergente. Por lo tanto, se requieren inversiones para seguir desarrollando esta tecnología, debido a que los recursos son limitados, es importante elegir una adecuada trayectoria tecnológica. Cuando el desarrollo del conocimiento

se considera una fuente de variedad tecnológica, la función de la orientación de la investigación representa el proceso de selección, la selección nos es sólo importante con respecto a la asignación de recursos, sino en términos de traducir visiones amplias de desarrollos sustentables concretos y viabilidad tecnológica. Sin un sentido de orientación claro en términos de orientación de investigación (Bergek et al., 2008; Hekkert, 2007; Hekkert y Negro, 2009).

F5) Formación de Mercado: Involucra actividades que contribuyen a la creación de una demanda para la tecnología emergente, por ejemplo, apoyando financieramente el uso de la tecnología emergente, o creando impuestos para el uso de tecnologías competitivas. La formación de mercado es muy importante en el campo de energías emergentes sustentables debido a que generalmente existe una constante legitimación normativa para la intervención en las dinámicas de mercado, para el caso del sector energético, donde los costos externos de las tecnologías basadas en combustibles fósiles a menudo no se tienen en cuenta; se puede hacer una distinción entre los mercados comerciales, que son pequeños dominios comerciales en los que una tecnología emergente está sujeta a criterios de selección inusuales y a preferencias del mercado y los “nichos protegidos”, que involucran dominios no comerciales que dependen de medidas gubernamentales específicas (Jacobsson y Bergek, 2004). La visión de apoyar una tecnología emergente por medio de políticas de apoyo al mercado (Raven, 2005; Schot et al., 1994).

F6) Movilización de Recursos: Se refiere a la asignación de capital financiero, material y humano. El acceso a tales factores de capital es necesario para el desarrollo del SI. Las actividades típicas involucradas en esta función del sistema son las inversiones y subsidios. También pueden implicar el despliegue de infraestructuras genéricas como sistemas educativos e inversiones en instalaciones de I+D. La Movilización de Recursos representa una variable económica básica, es decir, una tecnología emergente sustentable no puede apoyarse de ninguna manera sin apoyo de recursos financieros, materiales y humanos, o si no hay actores presentes con las habilidades y competencias adecuadas (Carlsson y Stankiewicz, 1991).

F7) Creación de legitimidad: Involucra lobbies políticos y actividades de asesoramiento en nombre de grupos de interés para desarrollar determi-

nada tecnología emergente. La característica principal que distingue esta función es que las coaliciones de defensa buscan legitimidad en una tecnología emergente a través de lobbies y persuasión frente a otros grupos de interés; la noción de coalición de defensa se basa en el trabajo de Sabatier que introdujo la idea en el contexto de la ciencia política (Sabatier, 1988; Sabatier, 1998). El concepto enfatiza la idea de que el cambio estructural dentro de un sistema es el resultado de grupos de interés en competencia, cada uno de los cuales representan un sistema separado de valores e ideas, el resultado está determinado por el poder político (Hekkert & Negro, 2009).

6. Propuesta del modelo teórico-empírico

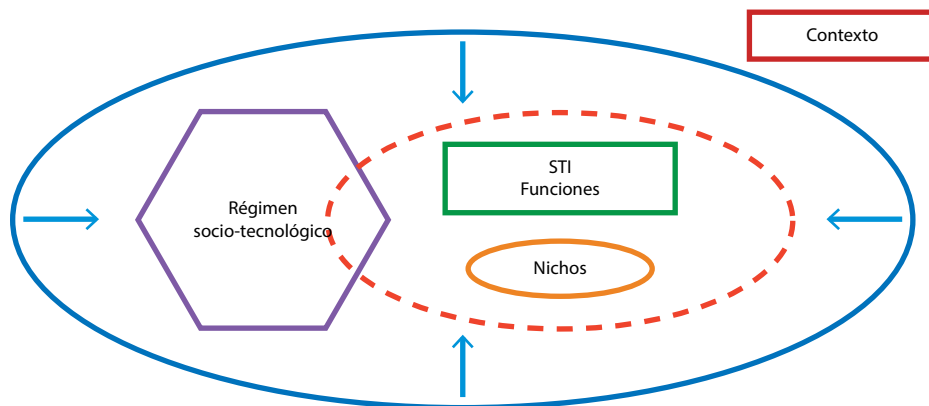
La fortaleza del AMN se centra en que los procesos de innovación y transición pueden explicarse por la interacción de los mecanismos de estabilización a nivel de régimen socio-tecnológico y la desestabilización originada por las presiones del contexto (factores externos) combinadas con la aparición de innovaciones incrementales y radicales orientadas a la sustentabilidad que van emergiendo a nivel del nicho (Geels y Schot, 2007). Sin embargo, el enfoque es menos preciso cuando se trata del papel y estrategias que los diferentes agentes dentro de las TS que se desempeñan en tales procesos, por ejemplo, la interacción de agentes clave.

Por otra parte, el éxito de las innovaciones se considera principalmente como una consecuencia del rendimiento de la TS correspondiente; un indicador comúnmente utilizado para su rendimiento general es la difusión de la tecnología o producto innovador en estudio (Bergek y Jacobsson, 2003; Jacobsson et al., 2004; Jacobsson y Bergek, 2004). En la mayoría de los casos, sin embargo, el producto innovador se utilizó como el principal indicador del rendimiento del sistema. Los autores proponen una diferenciación de acuerdo con el nivel de análisis, es decir, si una tecnología o un producto está en el foco de análisis y la madurez del sistema. Si una tecnología o campo de conocimiento está en el foco de análisis, se dice que la generación y difusión del conocimiento es la función central a lo largo de la cual medir el rendimiento (Bergek y Jacobsson, 2003). Si bien las patentes o los indicadores bibliométricos pueden pro-

porcionar una primera información al respecto, se reconoce que es probable que estos indicadores pierdan el rendimiento económico asociado con el uso de ese conocimiento (Carlsson et al., 2002).

Tanto el AF y AMN tienen sus fundamentos en la economía evolutiva y teoría de innovación, ambos análisis comparten las mismas bases conceptuales, como la dependencia de la trayectoria, enfoque de sistemas y la no linealidad. Los dos tipos de análisis se han formado por separado el uno de otro en la última década (2010-2020); mientras que el AF se ocupa de instituciones, actores e interacciones de conocimiento para explicar el crecimiento, declive y rendimiento de determinada tecnología sustentable, en el caso del AMN se centra en los niveles de nicho, régimen socio-tecnológico y contexto externo para analizar ts. El postulado central del enfoque es que las transiciones ocurren a partir de una interacción entre los tres niveles, donde el contexto externo crea presiones en el régimen socio-tecnológico existente que a su vez puede proporcionar oportunidades para nuevas innovaciones sustentables emergentes a nivel del nicho (Geels, 2008; 2024). La figura 2 muestra la propuesta de complementar ambos tipos de análisis.

Figura 2. Modelo Teórico de Integración Análisis Multi-nivel y Análisis Funcional



Fuente: elaboración propia.

7. Integrando el contexto externo

Smith et al., (2010), argumentan que diversos factores del contexto pueden generar oportunidades para el desarrollo de nichos tecnológicos sustentables, pero también influyen negativamente en la transición de una nueva tecnología sustentable mediante el refuerzo de la trayectoria existente de un régimen. Investigaciones recientes sugieren que el contexto externo tiene influencia en el éxito o fracaso de nuevas tecnologías emergentes en las TS.

El contexto externo ha sido definido por Geels, (2002) como “un conjunto de factores heterogéneos, como son: desarrollo económico, conflictos internacionales, problemas políticos, valores culturales y normativos, entre otros”. La noción de que el contexto externo influye en la fortaleza o debilidad de las funciones es aceptada en la literatura de AF y AMN (Bergek et al., 2008).

Debido a la complejidad y la multitud de factores externos que se pueden incluir en este apartado no es posible integrar todos, por lo tanto, basándose principalmente en el Estudio Económico de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés) de México 2023 y el Reporte para la Competitividad Global 2024 del Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés). Los dos estudios se centran en analizar el desarrollo económico y social del país, y determinar los principales factores que frenan el desarrollo, si bien se han alcanzado avances importantes en materia de estabilidad macroeconómica y política monetaria, aún no ha sido capaz de generar un crecimiento endógeno sostenido, impulsado por un mercado interno vibrante y una economía competitiva. Los factores externos que más se repiten en ambos estudios que influyen en el proceso hacia el desarrollo económico y social son los siguientes: Crecimiento económico y Política Regulatoria. A continuación, se describen los factores externos seleccionados:

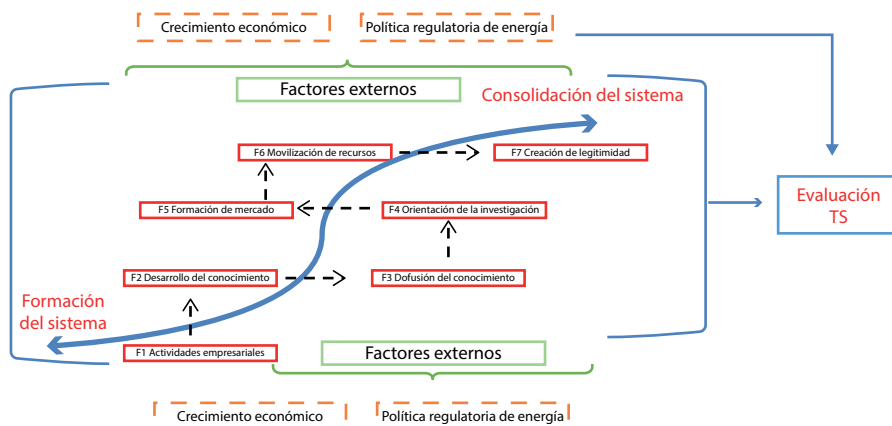
F8) Crecimiento Económico: El crecimiento económico se puede abordar como la evolución positiva de los estándares de vida de un país, medidos en términos de la capacidad productiva de su economía en términos de renta en un tiempo determinado, generalmente medido en años (Ranis y Stewart, 2002). Si bien un mayor crecimiento económico contribuye a más

ingresos del gobierno, una disminución debido a eventos nacionales y/o internacionales también puede propiciar ts. Geels (2024) menciona que el crecimiento económico puede generar la inacción de agentes dominantes con la preferencia de preservar el régimen existente, mientras que un declive o recesión económica puede crear presión sobre el gobierno y los regímenes existentes para el cambio. La crisis financiera de 2008, por ejemplo, posiblemente proporcionó una “ventana de oportunidad” para ts durante los primeros años de la crisis (Geels, 2024). También puede ocurrir lo contrario, donde una crisis financiera puede desviar la atención de los problemas de sustentabilidad hacia preocupaciones a corto plazo, como las oportunidades de empleo y obtención de ingresos personales.

F8) Política Regulatoria: De acuerdo con la OCDE (2023) “la política regulatoria define el proceso mediante el cual el gobierno, cuando identifica un objetivo de política pública, determina si empleará la regulación como instrumento de política, y en seguida elabora un borrador y adopta una regulación mediante un proceso de toma de decisiones basado en evidencia. Una política expresa que asegure que las regulaciones y los marcos regulatorios estén al servicio del interés público”. Esta función es importante para analizar ts ya que utilizar instrumentos regulatorios fomenta o inhibe su desarrollo.

Una vez señaladas las “funciones” utilizadas para evaluar ts en la presente investigación, la figura 3 muestra la propuesta del modelo teórico-práctico.

j 3. Modelo Teórico-Práctico para evaluar Transiciones Sustentables



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 3, las Funciones del contexto externo se encuentran operando fuera de las funciones del sistema e influyen en las TS. La influencia de las funciones del contexto externo contribuye a un cambio positivo o negativo para las TS, al presionar a los regímenes tecnológicos existentes y crear posibilidades de desarrollo de nicho tecnológico (Geels y Schot, 2007, Geels, 2010;2024).

8. Conclusiones

Las Transiciones Sustentables, no sólo implican el desarrollo de innovaciones en productos, procesos y servicios más sustentables, sino también, nuevos mercados, modelos de negocio, prácticas, políticas, infraestructuras y cambios culturales; es decir, cambios estructurales en diferentes niveles socio-técnicos que además de sostener el crecimiento de las economías globales, también ayuden a proteger el medio ambiente. La presente investigación ofrece una revisión de literatura existente sobre el enfoque de Transiciones Sustentables; así también, aporta una integración de enfoques teóricos con la finalidad de evaluar dichas TS a través de Modelo Teórico-Práctico con la finalidad de estimular el desarrollo de futuras investigaciones.

9. Referencias

- 1 Bergek, A., y Jacobsson, S. (2003). *The emergence of a growth industry: A comparative analysis of the German, Dutch and Swedish wind turbine industries*. *Industrial and Corporate Change*, 12(5), 1073–1105. <https://doi.org/10.1093/icc/12.5.1073>
- 21 Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., y Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 37(3), 407–429. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.003>
- 33 Bruno, M. (2022). Cycling and transitions theories: A conceptual framework to assess the relationship between cycling innovations and sustainability goals. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100642>
- 4 Canitez, P. (2019). A socio-technical transition framework for introducing cycling in developing megacities: The case of Istanbul. *Cities*, 94, 172-185. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.06.006>

- 1
21 Carlsson, B., y Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), 93–118. <https://doi.org/10.1007/BF01224915>
- 100 Chung, C. (2018). Technological innovation systems in multi-level governance frameworks: The case of Taiwan's biodiesel innovation system (1997–2016). *Journal of Cleaner Production*, 184 (1), 130–142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.185>
- Dewald, U., et al. (2015). Trajectories of sustainability transitions scale-transcending in innovation systems: The case of photovoltaics. *Environmental Innovation and Societal Transitions* (vol. 17, pp. 110–125). <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.12.004>
- Di Lucia y Ericsson. (2014). Low-carbon district heating in Sweden- Examining a successful energy transition. *Energy Research & Social Science*, vol. 4, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.08.005>
- 1 Elzen, B., Geels, F. W. y Green, K. (2004). *System Innovation and Sustainability Transitions: Theory, Evidence and Policy*. UK. Ed. Edward Elgar.
- 68 Elzen, B. y Wieczorek, A. (2005). Transitions towards sustainability through system innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 72, 651–661. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.04.002>
- 1 Evolden, A. M. y Klitkou, A. (2017). A fuel too far? Technology, innovation, and transition in failed biofuel development in Norway. *Energy Research & Social Science*, 23, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.10.010>
- Foxon, T. y Pearson, P. (2008). Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies: some features of a sustainable innovation policy regime. *Journal of Cleaner Production*, 16 (1), pp. 148–161. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.10.011>
- 43 Gaziulusoy, A. y Brezet, H. (2015). Design for System Innovations and Transitions: A Conceptual Framework Integrating Insights from Sustainability Science and Theories of System Innovations and Transitions. *Journal of Cleaner Production*, 108 (A), 558–568. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.066>
- 97 Geels, F.W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31, 1257–74. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- 10 Geels, F.W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33 (6–7), 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Geels, F.W. (2005). Co-evolution of technology and society: The transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850–1930) — a case study in multi-level perspective. *Technology in Society*, 27 (3), 363–397. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.04.008>
- 1 Geels, F.W., Schot, J.W. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36 (3), 399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Geels, F. W. (2010). Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. *Research Policy*, 39(4), 495–510. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.022>

- 18 Geels, F. W. (2012). A socio-technical analysis of low-carbon transitions: Introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of Transport Geography*, 24, 471–482. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.021>
- Geels, F.W. (2014). Regime resistance against low-carbon transitions: introducing politics and power into the multi-level perspective. *Theory Culture & Society*. 31 (5), 21-40. <https://doi.org/10.1177/0263276414531627>
- Geels, F.W. (2024). Advanced Introduction to Sustainability Transitions. UK, Edward Elgar, Publishing Limited.
- 76 Hekkert, M. y Negro, S. (2009). Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 584–594.
- 4 Hekkert, M., Suurs, R.A., Negro, S., Kuhlmann, S., Smits, R., (2007). Functions of Innovation Systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (4), 413–432.
- Hofman, P. S., y Elzen, B. (2010). Exploring system innovation in the electricity system through sociotechnical scenarios. *Technological Analysis & Strategic Management*, 22(6), 653–670. <https://doi.org/10.1080/09537325.2010.511120>
- 24 Hoogma, R., Kemp, R., Schot, J., Truffer, B. (2002). Experimenting for Sustainable Transport. The Approach of Strategic Niche Management. London, EF&N Spon.
- 23 Huttunen, S., et al. (2014). The need for policy coherence to trigger a transition to biogas production. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 12, 14-30. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.04.002>
- 71 Ilieva, R., y Hernandez, A. (2018). Scaling-Up Sustainable Development Initiatives: A Comparative Case Study of Agri-Food System Innovations in Brazil, New York, and Senegal. *Sustainability*, 10(11), 40-57. <https://doi.org/10.3390/su10114057>
- 17 Kemp, R., Schot, J., y Hoogma, R. (1998). Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management*, 10(2), 175–195. <https://doi.org/10.1080/09537329808524310>
- Jacobsson, S. y Bergek, A. (2011). Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. 1(1), 41-57. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.04.006>
- Karanasios y Parker. (2018). Explaining the Diffusion of Renewable Electricity Technologies in Canadian Remote Indigenous Communities through the Technological Innovation System Approach. *Sustainability*, 10 (11), 7-28. <https://doi.org/10.3390/su10113871>
- Kitchenham, B.A., y Charters, S. (2007). Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering Version 2.3, EBSE Technical Report. Keele University and University of Durham.
- 1 Kivimaa, P., et al. (2014). Policy Mixes, Policy Interplay and Low Carbon Transitions: The Case of Passenger Transport in Finland. *Environmental Policy and Governance*, 24 (1), 28-41. <https://doi.org/10.1002/eet.1629>
- Liu, et al. (2023). How ecological policy stringency moderates the influence of indus-

- trial innovation on environmental sustainability: The role of renewable energy transition in BRICST countries. *Renewable Energy*, 2017 (5), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.045>
- Lovio, R., y Kivimaa, P. (2012). Comparing Alternative Path Creation Frameworks in the Context of Emerging Biofuel Fields in the Netherlands, Sweden and Finland. *European Planning Studies*, 20(5), 773–790. <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.667925>
- Magrini, M. (2023). Value chain sociotechnical interactions and functions of mission-oriented innovation systems: An analysis based on sustainability challenges for agricultural value chains. *Innovations*, 70(1), 181–207. <https://doi.org/10.3917/inno.070.0181>
- Markard, J. y Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 37(4), 596–615. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.004>
- McKelvey, B. (1982). *Organizational systematics: Taxonomy, evolution, classification*. Berkeley: University of California Press.
- OECD. (2012). *Recommendation of the Council on Regulatory Policy and Governance*. OECD Publishing. <https://legalinstruments.oecd.org/public/doc/273/26c0733a-b832-43c6-8d1a-1296171e4e4d.html>
- Ranis, G., y Stewart, F. (2002). Economic growth and human development in Latin America. *Cepal Review*, 78, 7–23. <https://doi.org/10.18356/a7210436-en>
- Raven, R. P. J. M. (2007). Niche accumulation and hybridisation strategies in transition processes towards a sustainable energy system: An assessment of differences and pitfalls. *Energy Policy*, 35(4), 2390–2400. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.09.003>
- Real Academia Española. (2020). *Diccionario de la lengua española* (23 ed.).
- Rothaermel, F.T. (2001). Complementary assets, strategic alliances, and the incumbent's advantage: an empirical study of industry and firm effects in the biopharmaceutical industry. *Research Policy*, 30 (8), 1235–1251.
- Sabatier, P. A. (1988). An advocacy coalition framework of policy change and the role of policy-oriented learning therein. *Policy Sciences*, 21(2–3), 129–168. <https://doi.org/10.1007/BF00136406>
- Sabatier, P. A. (1998). The advocacy coalition framework: Revisions and relevance for Europe. *Journal of European Public Policy*, 5(1), 98–130. <https://doi.org/10.1080/13501768800000051>
- Schot, J., Hoogma, R., y Elzen, B. (1994). Strategies for shifting technological systems: The case of the automobile system. *Futures*, 26(10), 1060–1076. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(94\)90055-8](https://doi.org/10.1016/0016-3287(94)90055-8)
- Silva de Oliveira, L. y Negro, S. (2019). Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107(1), 462–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.030>
- Smith, A. (2003). Transforming technological regimes for sustainable development: A role for alternative technology niches? *Science and Public Policy*, 30(2), 127–135. <https://doi.org/10.3152/147154303781780623>
- Smith, A., Voß, J.-P., y Grin, J. (2010). Innovation studies and sustainability transitions:

The allure of the multi-level perspective and its challenges. *Research Policy*, 39(4), 435–448. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.023>

Szejnwald, H. y Vergragt, P. J. (2008). Bounded socio-technical experiments as agents of systemic change: The case of a zero-energy residential building. *Technological Forecasting and Social Change*, 75 (1), 107-130. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.05.014>

Tranfield, D., Denyer, D. y Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

Truffer, B., Schippl, J y Fleischer, T. (2017). Decentering technology in technology assessment: prospects for socio-technical transitions in electric mobility in Germany. *Technological Forecasting and Social Change*, 122(1), 34-48.

Unruh, G.C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28 (12), 817–30.

Uyarra, E., y Gee, S. (2013). Transforming urban waste into sustainable material and energy usage: the case of Greater Manchester (UK). *Journal of Cleaner Production*, 50(1), 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.046>

Verbong, G.P. y Geels, F. (2007). The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960–2004). *Energy Policy*, 35(2), 1025–1037. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.02.010>

Walrave, B. y Raven, R. (2016). Modelling the dynamics of technological innovation systems. *Research Policy*, 45(9), 1833-1844. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.05.011>

8. Deforestación, erosión y crisis climática, Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México



MIGUEL ALVARADO CARDONA*
J. AURELIO COLMENERO ROBLES**
OBED PARDO SANTOS***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.09>

Resumen

Los Valles Centrales de Oaxaca se localizan en la zona central del Estado de Oaxaca, México. La crisis climática es una emergencia causada por calentamiento del planeta en las últimas décadas. La deforestación irracional ha originado que el suelo se erosione, reduciendo cantidad de carbono en el suelo, incrementándose la radiación solar y el CO₂, se planteó el objetivo proponer técnicas de la ingeniería naturalística y conservación de suelos para revertir la crisis climática. Se supone que la deforestación y la erosión del suelo contribuyen a la crisis climática. Para cumplir con el objetivo y probar la hipótesis, se aplicó un método integrado por la fase caracterización, diagnóstico y propuestas. La clase de erosión laminar muy fuerte es dominante 400 km² y 4.93% de la superficie, su erosión actual muy severa 243.60 ton/ha/año, la erosión severa y muy severa se observa en pastos y bosques, el 18.45% de los bosques se han talado. Se propone reforestación o forestación, cercas vivas, siembra al boleó, cultivos de cobertura, curvas

* Maestro en Ingeniería ambiental. Profesor-investigador del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9747-260X> Correspondencia: maalvarado@ipn.mx

** Licenciado en Biología. Profesor del Instituto Politécnico Nacional Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4959-7963>

*** Maestro en Administración y Políticas Públicas Educación. Profesor del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4341-9368>

a nivel. Se concluye que los Valles Centrales de Oaxaca están severamente erosionado y talados, se cumple con el objetivo y se prueba la hipótesis.

Palabras clave: *Deforestación, Erosión de suelos, Crisis climática, Valles centrales, Oaxaca*

1. Introducción

Los Valles Centrales de Oaxaca se localizan en la porción central del estado, con una extensión de 330,495 hectáreas y 103 municipios. Se localizan entre el Nudo Mixteco, la Sierra de Juárez y la Sierra Madre del Sur. (WWF, Fundación Carlos Slim, s. f.)

1.1. Crisis climática

Es una situación actual de emergencia causada por el alarmante ritmo en el que se ha ido calentando el planeta en las últimas décadas. Un fenómeno que, según ha comprobado la ciencia, se debe principalmente a actividades humanas. (WWF, 2021)

Adicional al exceso de demanda de energía, el Gobierno Federal tiene el compromiso, a través de la *Ley de Transición Energética* (LTE) a incrementar la participación de energías limpias en la matriz eléctrica. Es decir, que, del total de la energía eléctrica generada, cada vez sea mayor la proporción que se genera de tecnologías verdes. Es decir, México no sólo tiene el reto de satisfacer una demanda creciente de energía, sino de hacerlo con medios limpios.

Para alcanzar niveles aceptables de CO₂ en la atmósfera es necesario la implementación articulada de acciones mitigantes; entre las que se encuentran; mejorar la eficiencia en la generación de energía; reemplazar fuentes de energía por otras con menores niveles de emisión de CO₂ y aplicar prácticas agrícolas que permitan almacenar CO₂ en el suelo.

En los suelos agrícolas, las pérdidas de carbono se deben principalmente a los procesos de erosión y de mineralización de la materia orgánica. Las

pérdidas de suelo por erosión van de 1 a 10 t/ha/año, y en casos extremos hasta 50 t/ha/año (Hernández 2014).

Cassamo et al. (2023) comenta que la agroforestales minimizan la incidencia de la radiación solar y regula la temperatura del aire, creando microclimas, mitiga el calor, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, secuestra carbono y materia orgánica.

Se ha considerado al suelo como un sumidero de carbono, debido a la capacidad que tienen para almacenar este elemento en forma orgánica (1500 Pg. a 1 m de profundidad y 2456 Pg. a 2 m de profundidad) e inorgánica (1700 Pg.), la cual sobrepasa considerablemente la que presentan la vegetación (650 Pg.) y la atmósfera (750 Pg.).

Acumular carbono orgánico en el suelo, significa mejorar las propiedades de los suelos y su capacidad para producir biomasa y paralelamente disminuir la contaminación de la atmósfera y la hidrósfera con compuestos de carbono (Pérez et al., 2021).

1.2. Problema

En los Valles Centrales de Oaxaca, al llevar acabo un cambio de uso del suelo de forestal a agrícola, ganadera o a un crecimiento irregular de la mancha urbana, en pendiente que van de ligera (-1% a muy fuerte más del 50%, la tala inmoderada de los bosques confines silvícolas o de leña para uso doméstico, sin aplicar técnicas de conservación de suelos, (Zabala, 2011), aunado esto la precipitación pluvial que fluctúan de moderadas a fuertes, lo anterior ha originado la reducción de la masa forestal, incremento el contenido de CO₂ en la atmósfera, erosión de suelos, aportando lo anterior a la crisis climática (Gaitán, 2017).

1.3. Hipótesis

La deforestación indiscriminada del bosque y la erosión del suelo alta o muy alta son factores que contribuyen a la crisis climática en los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Proponer técnicas de la ingeniería naturalística y conservación de suelo para revertir la crisis climática.

1.4.2. *Objetivos específicos*

Mostrar las características de del clima, radiación solar, bosques y suelos y captura de carbono

1. Identificar el estado actual clima, radiación solar, bosques y suelo
2. Mostrar las propuestas para revertir la crisis climática

2. Metodología

La Crisis Climática está en función de seis variables clima, radiación solar, vegetación, suelo, uso del suelo, captura de carbono en el suelo.

2.1. Método

En esta investigación el método utilizado está integrado por las Fases Caracterización, Diagnóstico y Propuesta para revertir la Crisis Climática.

2.2. Fases Caracterización

Delimitación del área de estudio

Se empleó la cartografía de INEGI, (1988 y 2017), cartas TopográficaE14 D37, 47, 48, 57, 58, 59, 67 y 68, escala 1:50,000.

2.2.1. Clima

Se describió sus características considerando la cartografía de INEGI, (1987d). Carta de climas México escala 1:1000,000. INEGI, (1981d). Carta de precipitación total anual escala 1:1000,000. INEGI, (1981d). Carta de temperatura media anual escala 1:1000,000.

2.2.2. Radiación solar

Se redactó con base en la bibliografía.

2.2.3. Vegetación

Se describió utilizando la información del Proyecto Instituto Politécnico Nacional, (2019a). Diagnóstico de la erosión, base para la sustentabilidad del recurso suelo, estudio de caso Valles Centrales de Oaxaca, México, Clave SIP 20190072.

2.2.4. Suelo

Con la información de FAO, (2014b). Base Referencial Mundial del S2014. Actualización al 2015 y trabajo de campo.

2.2.5. Uso del suelo

Con bibliografía y trabajo de campo.

2.2.6. Captura de carbono en el suelo

Caracterizó con base a la bibliografía.

2.3. Diagnóstico

2.3.1. Radiación solar

Se caracterizó con base a la bibliografía.

2.3.2. Deforestación

Describió utilizando la información del Semarnat. (2021), (Torres, R, 2021). Periódico El imparcial, proyecto, (Proyecto Instituto Politécnico Nacional, 2019b). Diagnóstico de la erosión, base para la sustentabilidad del recurso suelo, estudio de caso Valles Centrales de Oaxaca, México, Clave SIP 20190072.

2.3.3. Erosión de suelos

Se determino con base a la información de SlidePlayer, (2018), Gaytán, (2017) Pedraza, (2015), Kirkby y Morgan (1984):

3. Desarrollo de la metodología

3.1. Fase de caracterización

3.1.1. Climas

En el área de estudio se observan los siguientes tipos de clima:

Cálido seco con lluvias en verano (BS1hw)

Clima donde las precipitaciones son escasas y erráticas con un período de lluvias en el verano y el resto del año es largo de marcada sequía; la temperatura media anual es de 20. 7°C y la precipitación media anual es de 746 mm. Este clima corresponde a la porción central y sureña del área de estudio, la precipitación total anual entre 600 a los 700 msnm, se localiza principalmente en los valles.

Semicálido subhúmedo con lluvias en verano A (C)(w0) (w)

En cuanto a su naturaleza térmica, se caracteriza por la existencia de una temperatura media anual entre 18 y 22°C. Dadas sus características de localiza entre las partes más bajas (valles), precipitación total anual de 700 a 800mm, se ubica en las sierras del entorno de los valles.

Templado subhúmedo C (w1) (w)

En general este clima se identifica por presentar una temperatura media en el mes más frío menor de 18 ° C precipitación del mes más húmedo en el verano mayor de diez veces la del mes más seco, precipitación del mes más seco menor de 40 mm, precipitación total anual de 800- 1200mm, se presenta en las sierras más alta contiguas a los valles, cartografía de INEGI, climas precipitaciones y temperaturas, Weather Spark (2024).

3.1.2. Radiación solar

La *radiación solar*. Según la *International Renewable Energy Agency* IRENA, (2015), México entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente en promedio, 5.5 Kwh/m² (la unidad de medición de radiación solar). Se observa que el Noroeste del país es la zona con mayor potencial, donde la radiación excede los 8 Kwh/m² en primavera y verano. Sin embargo, los puntos de demanda más altos son en el centro del país, lo que implica un reto/oportunidad para la infraestructura de transmisión de la CFE. IRENA, (2020).

De acuerdo con la *International Renewable Energy Agency*, México se localiza entre los 15° y 35° de latitud, esta región se encuentra entre las más favorecidas a nivel mundial con relación a los recursos solares. Aquí, en esta franja hay en promedio una radiación solar diaria de aproximadamente 5.5 kWh/m², unidad utilizada para medir el potencial solar (IRENA, 2015).

El noroeste del país presenta el mayor potencial solar con valores que superan los 8 kWh/m² durante las estaciones de primavera y verano. Sin embargo, los principales centros de demanda energética se concentran en el centro del país, esto representa un reto y a la vez una oportunidad para el desarrollo y fortalecimiento de la infraestructura de transmisión eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad, CFE. (IRENA, 2020).

Diversas investigaciones señalan que este contexto favorece el aprovechamiento de la energía solar en México, siempre y cuando se acompañe de políticas públicas, planeación territorial e inversión en infraestructura adecuada (Limón, 2017). A escala regional, investigaciones como la de Acosta et al. (2017) destacan el potencial y el estado actual de la energía solar en Oaxaca, además de la viabilidad técnica del recurso y los desafíos asociados a su implementación.

Oaxaca no está considerado a nivel nacional como uno de los que aprovechan esta fuente de energía a pesar del potencial de radiación solar que tiene (mínima 4.4 kWh/m² en diciembre y máxima de 6 kWh/m² en mayo, (Global Solar Atlas, 2020), De los 570 municipios se identificaron 61 que de alguna manera tienen relación con la energía solar, hay 11 que tienen una radiación directa mayor a 6 kWh/m² por día, En la zona sur de los Valles Centrales la radiación solar varía de 4,5 a 6 KWh/m².

World Bank Group y Solargis (2020)

Como se ha mencionado, la *radiación solar* en el medio ambiente supone casi la totalidad de la captación, absorción y aprovechamiento de la energía del planeta entero. De tal manera, que uno de los ciclos sobre los cuales tienen más efecto este tipo de radiación, son los ciclos de nitrógeno y de fósforo. Un cambio en estos ciclos puede cambiar la productividad tanto en ecosistemas acuáticos, como en ecosistemas terrestres

CEUPE (s.f.). Cuáles son los efectos de la radiación solar en el medio ambiente.

3.1.3. Bosques y selvas

Bosques de pino

El bosque se caracteriza por la presencia del bosques y selvas, con rasgos en altitudes entre 1,500 y 2,500 msnm. El bosque de pino abierto es aquel cuya cobertura de copa oscila entre 10 y 40%. Las coberturas mayores del 40% constituyen el bosque de pino más conservado.

Bosques mixtos de pino-encino

En la región de los Valles Centrales de Oaxaca, el bosque mixto de pino-encino se caracteriza por una cobertura de copa que oscila entre 10 y 40%. Las especies más representativas de este tipo de vegetación corresponden principalmente a coníferas del género *Pinus*, como *Pinus oaxacana*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus patula*, asociadas con especies del género *Quercus*, entre ellas *Quercus laurina*, *Quercus rugosa* y *Quercus crassifolia*. Esta asociación vegetal se distribuye principalmente en las zonas montañosas de los municipios de Tlacolula y Teotitlán.

Bosque de encino

Esta comunidad vegetal se distribuye en zonas de baja a mediana altitud (800 a 1200 msnm), por lo general se presenta a manera de bosques abiertos compuestos por árboles de talla baja (menor a 15 m de altura). El estrato herbáceo presente no supera los 1.5 m de altura.

Selva tropical caducifolio

Se ubican en zonas muy frágiles y en condiciones climáticas que favorecen la desertificación. En el Bosque Tropical Caducifolio se han registrado alrededor de 6,000 especies de plantas. Casi el 40% de sus especies son endémicas, es decir solamente se encuentran en estos ecosistemas y están adaptadas a la sequía (Alvarado, 2024). Las Políticas Ambientales del Ordenamiento Ecológico, estudio de caso Municipio de Tequisquiapan, Estado de Querétaro, México Instituto Politécnico Nacional,

Pastizal inducido

Esta variante de pastizal puede ser el resultado del efecto de la alteración del Bosque Tropical Caducifolio, en particular en los Valles Centrales y de ciertas áreas con cultivos abandonadas donde el aspecto fisonómico del pastizal principalmente cespitoso.

3.1.4. Suelos

De acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo de la FAO (2014), actualizada al año 2015, de los 32 grupos de suelos de referencia

reconocidos a nivel global, en la región de los Valles Centrales de Oaxaca y su entorno se identifican 10 grupos de suelos que se describirán a continuación:

Acrisol

Suelo caracterizado por la presencia de un horizonte árgico que se desarrolla a una profundidad de hasta 100 cm, CIC (por NH_4OAc 1 M, pH 7), horizonte argico dentro de ≤ 50 cm, una saturación de bases efectiva, $(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na})$ intercambiables/ $(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Al})$ intercambiables; bases intercambiables por NH_4OAc 1 M (pH 7), Al intercambiable por KCl 1 M (sin buffer), de $< 50\%$: en la mitad o más de la parte entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo mineral.

Cambisol

horizonte B cámbico que comienza a ≤ 50 cm de la superficie del suelo tiene su límite inferior a ≥ 25 cm de la superficie del suelo.

Fluvisol

Suelo con espesor mayor a 100 cm, compuesto por capas de espesor y color variable, de textura arenosa, contiene gravas, guijarros y piedras, horizonte Fluvico.

Kastañozem

Contiene un horizonte móllico y un horizonte cálcico o una capa con propiedades petrocálcicas que comienza a ≤ 50 cm debajo del límite inferior del horizonte móllico, y si estuviera presente, encima de una capa cementada o endurecida y una saturación de bases (por NH_4OAc 1 M, pH 7) de $\geq 50\%$ desde la superficie del suelo hasta el horizonte cálcico o la capa.

Leptosol

Tienen uno de los siguientes: a. roca continua o material duro técnico que comienza a ≤ 25 cm de la superficie del suelo, horizonte A Ocrico de color obscuro claro.

Luvisol

Otros suelos que tienen un horizonte A Ócrico de 29 cm de espesor color beige y B árgico que comienza a 29 cm hasta una profundidad de 150cm, de color rojo .

Phaeozem

Presenta horizonte A móllico de 35cm de espesor, una saturación de bases (por NH_4OAc 1 M, pH 7) de $\geq 50\%$ en todo el espesor hasta una profundidad de 100 cm de la superficie del suelo, material.

Regosol

Otros suelos con un horizonte A Ócrico que sobreyace a una capa dura o a una roca.

Umbrisol

Otros suelos que tienen un horizonte Úmblico, Móllico u Hórtico, con una profundidad de 65 cm. una capa dura o a una roca.

Vertisol

Suelos que tienen un horizonte vértico que comienza a ≤ 100 cm de la superficie del suelo, más 30% de arcilla entre la superficie del suelo y el horizonte vértico en todo el espesor, grietas de expansión y contracción que comienzan en la superficie del suelo; una capa superficial de elementos estructurales granulares fuertes de ≤ 10 mm de tamaño (superficie self-mulching), costra superficial; y que se extienden hasta el horizonte vértico.

El relieve dominante es la sierra donde los suelos dominantes son los Luvisoles y Acrisoles en los valles se presentan los Vertisoles y Fluvisoles. Los bosques templados de pino y los matorrales cálidos también se ubican en las sierras

3.1.5. Uso del suelo y vegetación

Las actividades productivas que constituyen el sector rural son agricultura, ganadería en los valles, silvicultura y piscicultura en las montañas, las cuales, enfrentan importantes retos que, en términos generales por los procesos

productivos de baja productividad y rentabilidad, escasa comercialización, aprovechamiento no sustentable de los recursos naturales y conflictos sociales y agrarios.

En la Tabla 1, se observan el diferente tipo de uso del suelo, superficies y porcentajes:

Tabla 1. Usos del suelo y vegetación		
Uso del suelo	Superficie	Porcentaje
	(Km²)	
Agricultura	2 236.38	24
Áreas urbanas	125.57	1
Silvicultura bosque templado	513.97	5
Pastizal inducido	1 472.06	16
Silvicultura Bosque Tropical Caducifolio	726.81	8
Vegetación secundaria	4 366.74	46
	9 441.53	

Fuente: elaboración propia basada en López et al., 2017.

3.1.6. Captura de carbono en los suelos

El secuestro de carbono en el suelo es la remocion del carbono de la atmosfera mediante la fotosintesis de las plantas y su almacenamiento como formas de materia organica estable y de larga vida en el suelo. (López et al., 2017).

3.2. Fase de diagnóstico

3.2.1. Radiación

En la Tabla 2 se observa los valores de captación de radiación, absorción, disponibilidad, utilización y uso del suelo.

Tabla 2. Radiación solar					
Geoforma	Captación	Absorción %	Disponible	Utilización	Uso del suelo
			Kwh/m²		vegetación
Valles	5.5 Kwh/m²	5	5.13	Vivienda	Agricultura
				0,9	
				Paneles solare 0.5	
Montañas bajas	4,6 Kwh/m²	10	4.54	No	Bosque
Montanas altas	4,0 Kwh/m²	15	3.4	No	bosque

Fuente: elaboración propia.

Acosta, L. et al. (2017b). Situación actual de la energía solar en Oaxaca, México.

3.3. Deforestación

En Oaxaca anualmente se deforestan entre 25 y 30 mil hectáreas de bosques principalmente en las regiones de la Sierra Sur y Mixteca, según datos de la delegación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (Torres, 2021).

Se reporta tala inmoderada de árboles en regiones de Oaxaca, las más afectadas son la Sierra Sur, los Valles Centrales y la Mixteca, asegura la Conafor.

El mapa del estado reporta zonas críticas en 24 municipios ubicados de la zona de los Chimalapas, en la Sierra Sur, Valles Centrales y la Mixteca, por tala ilegal de en bosques de Oaxaca.

La zona más deforestada se localiza al Sur del área de estudio, los puntos rojos donde la deforestación es más severa son los siguientes:

1. Sur este de Guadalupe Hidalgo
2. Oeste de Santa María Atzapa
3. Jalapa del Valle
4. Este de San Miguel Valle
5. Oeste de Zaachila
6. Santa Cruz Mixtepec
7. Norte de san miguel Tilquilapan

- 8. Oeste de santa cuz
- 9. San Jerónimo Taviche
- 10. Yaxe

3.3.1. Suelos

3.3.2. Erosión actual

En la Tabla 3, se tiene las clases de erosión actual, los valores de la pendiente, y pérdida de horizontes.

Tabla 3. Clases de erosión actual y pérdida de horizontes

Clases de erosión Actual	Pendiente	Pérdida de horizonte	Superficie km²
A Erosión no manifiesta.	1 y 3 %,	No se ha perdido ningún horizonte.	
A/B Erosión leve	2 a 40 %,	ha perdido parte del horizonte A, pero admite un 10% de su superficie total con clase A/B, cobertura más del 85%.	1284.00
B Erosión moderada.	8 a 80%,	Ha perdido hasta un 50 del horizonte A, pero tiene un 10ª un 25% de su superficie total con clase de erosión A o B, cobertura más del 75%.	1289.00
B/C Erosión severa	84 y 80%,	Este suelo ha perdido los horizontes A y B, quedando solamente el horizonte C, pero tiene de un 10 a un 25%de superficie total con clase de erosión A/B o B, cobertura más del 75%.	3150.00
Erosión muy severa C	80 a 100%	Se han perdido los horizontes A, B queda parte de C, o la roca o capa dura.	2020.00

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Formas de erosión del suelo

En la Tabla 4 contiene los 35 puntos estudiados, las formas de erosión, localización, superficies y porcentajes de cada uno de los puntos.

Tabla 4. Forma de erosión

<i>Punto núm.</i>	<i>Forma de erosión</i>	<i>Localización</i>	<i>Superficie km²</i>	<i>%</i>
1	Laminas ligera	Yaxe	167	2.06
2	Laminas moderada	Yaxe	200	2.46
3	Laminas fuerte	Yaxe	167	2.06
4	Laminas muy fuerte	Cerro Tultitlan del Valle	100	1.23
5	Láminas y cárcavas ligera	Este de Ajoqueso	134	2.06
6	Láminas y cárcavas moderada	Ayoquezco	167	2.06
7	Láminas y cárcavas fuerte	San Dionisio Ocotepec	234	2.06
8	Láminas y cárcavas muy fuerte	Oaxaca	400	4.93
9	Barrancos y cárcavas moderado	Buena vista	200	2.46
10	Barrancos y cárcavas laminas fuerte	San Andrés Etla	267	3.29
11	Barrancos cárcavas muy fuerte	San Andrés Etla	134	1.65
12	Barrancos cárcavas y láminas moderadas	Teotitlán del Valle	267	3.29
13	Barrancos cárcavas y láminas fuerte	San Andrés las Juntas	234	2.88
14	Barrancos cárcavas y láminas muy fuerte	San Miguel del Valle	334	4.12
15	Cárcavas y barrancos ligero	San Baltazar Guelavila	267	3.29
16	Cárcavas y barrancos moderado	Ayoquezco	200	2.46
17	Laminas cárcavas y barrancos ligera	San Andrés Tabiche	167	2.06
18	Laminas cárcavas y barrancos moderado	Ayoquezco	334	4.12
19	Laminas cárcavas y barrancos fuerte	San Andrés las Juntas	167	2.06
20	Laminas cárcavas y barrancos muy fuerte	Jalapa del Valle	267	3.29
21	Laminas barrancos y láminas ligera	Norte de San Francisco Telixtlahuaca	200	2.46
22	Laminas barrancos y cárcavas moderado	Oeste de San Miguel del Valle	267	3.29
23	Laminas barrancos y cárcavas fuerte	San Pablo Guila	300	3.7
24	Laminas barrancos y cárcavas muy fuerte	San Baltazar	334	4.12
25	Cárcavas barrancos muy fuerte	Sur de Santo Tomas Mazatepec	200	2.46
26	Cárcavas y barrancos fuerte	Teotitlán del Valle	167	2.06
27	Cárcavas y láminas moderadas	Santa María Azompa	134	1.65
28	Cárcavas fuertes	Santa Ana	200	2.46
29	Zona agrícola y cárcavas ligera	San Pablo Huixtepec	300	3.7
30	Zona agrícola y cárcavas moderada	Santiago Etla	367	4.53
31	Zona agrícola y cárcavas fuerte	Ayoquezco	200	2.46
32	Zona agrícola y cárcavas muy fuerte	Sn Martín Ticaljete	200	2.46

Punto núm.	Forma de erosión	Localización	Superficie km²	%
33	Barrancos y laminas moderado	San Dionisio Ocotepec	267	3.29
34	Cárcavas y láminas muy fuerte	Santo Tomas Mazatepec	300	3.7
35	Cárcavas y Barrancos moderadas	San Dionisio Ocotepec	200	2.46
Total				100

Fuente: Elaborado propia.

3.3.4. Velocidad y clases de erosión actual

Al aplicar los elementos de la formula se tienen la velocidad en Ton/ha/año (on que rapidez se están perdiendo los suelo) y la clase de Erosión (Tabla 5)

Tabla 5. Velocidad y clases de erosión actual

Punto	R	K	LS	C	P	Velocidad Ton/ha/año	Clase de erosión
1	800	0.27	3.54	0.001	1	114.70	Muy severa
2	700	0.47	0.63	0.001	1	31.91	Moderada
3	750	0.47	0.76	0.01	1	80.34	Severa
4	850	0.47	0.78	0.001	1	93.48	Severa
5	700	0.27	113.34	0.01	1	21.42	Moderada
6	800	0.27	12.03	0.01	1	25.98	Moderada
7	700	0.47	22.81	0.001	1	7.50	Ligera
8	750	0.47	3.28	0.01	1	11.28	Moderada
9	800	0.47	112.69	0.001	1	42.37	Moderada
10	700	0.37	73.32	0.001	1	18.98	Moderada
11	1000	0.27	112.69	0.001	1	30.42	Moderada
12	1000	0.27	112.69	0.001	1	30.42	Moderada
13	2400	0.27	22.81	0.001	1	14.78	Moderada
14	1700	0.37	73.32	0.001	1	46.11	Moderada
15	1000	0.37	112.69	0.001	1	41.69	Moderada
16	1600	0.37	73.32	0.001	1	43.40	Moderada
17	1000	0.37	112.69	0.001	1	41.69	Moderada
18	800	0.27	22.81	0.001	1	4.92	Ligera
19	700	0.27	22.81	0.001	1	4.31	Ligera
20	850	0.37	112.69	0.001	1	35.44	Moderada
21	800	0.37	112.69	0.001	1	33.35	Moderada

DEFORESTACIÓN, EROSIÓN Y CRISIS CLIMÁTICA, VALLES CENTRALES DEL ESTADO DE OAXACA, MÉXICO191

22	950	0.37	49.11	0.001	1	17.26	Ligera
23	800	0.27	1.49	0.01	1	0.32	Ligera
24	1000	0.27	22.81	0.001	1	6.15	Ligera
25	700	0.27	49.11	0.001	1	9.28	Ligera
26	800	0.37	9.30	0.01	1	27.52	Moderada
27	750	0.27	22.81	0.001	1	4.61	Ligera
28	700	0.27	12.03	0.10	1	227.36	Muy severa
29	1400	0.27	0.47	0.10	1	88.83	Severa
30	700	0.25	1.86	0.10	1	162.75	Muy severa
31	750	0.27	12.03	0.10	1	243.60	Muy severa
32	700	0.27	12.03	0.10	1	227.73	Muy severa
33	800	0.25	13.03	0.001	1	92.40	Severa
34	800	0.37	91.87	0.001	1	27.19	Moderada
35	1700	0.36	58.90	0.001	1	36.04	Moderada

Fuente: elaborado por los autores de la investigación.

3.3.5. Valores de profundidad y materia orgánica de los suelos

En la Tabla 6 se observa valores de profundidad, materia orgánica de los suelos y horizontes

Tabla 6. Valores de profundidad y materia orgánica de los suelos

Suelo	Profundidad	Materia orgánica %	Perdida de horizonte	Uso del suelo	Contenido de carbono en los suelos
	cm				%
Acrisol	100	1.1	No se ha perdido horizonte	Bosque	0,63
Cambisol	100	1.05		Bosque	0.6
Fluvisol	100	2.19		Agricultura	1.68
Kastañozem	100	mar-50		Bosque	2,03
Leptosol	45	1,70	No se ha perdido horizonte	Pastoreo	0.98
Luvisol	100	1.23		Bosque	0.71
Phaeozem	100	2.5		Bosque	1.45
Regosol	42	0,75		Pastoreo	0.43
Umbrisol	100	1,90	No se ha perdido horizonte	Pastoreo	1.1
Vertisol	100	2,14		Agricultura	1.72

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

4.1. Uso del suelo

En la Tabla 1 se observa que el uso del suelo dominante es la agricultura con una superficie de 2 236.38 Km² equivalente a un 24 %, los bosques y selvas ocupan una superficie de 1240.78 Km² (13%).

4.2. Radiación solar

En la Tabla 2 se observa que las zonas de mayor radiación solar es los valles 5.5 Kwh/m² y las montañas alta de más absorción 15%, , la disponibilidad es alta en los valles 5,27, así como el uso en calentar el agua y paneles solares, en general el uso de la radiación sol es mínima comparada con Francia que es más chica, al reflejas la radiación a la atmosfera en los valles la temperatura se incrementa, modificando el micro clima.

4.3. Deforestación

La tasa de deforestación a nivel nacional es 1.98 millones de hectáreas por año, en el estado 25 y 30 mil hectáreas por año y en los valles centrales 35,000 a 40,000 hectáreas por año, en los valles se tiene 20 zonas deforestadas principalmente al Sur de la Ciudad de Oaxaca, sobre todo en bosque de encino y pino.

4.3.1. Erosión actual, pérdida de horizontes

A) Erosión no manifiesta. Pendiente 1 y 3 %, No se ha perdido ningún horizonte.

A/B) Erosión leve, Pendiente 2 a 40 %, se ha perdido parte del horizonte A, pero admite un 10% de su superficie total con clase A/B, cobertura más del 85%, superficie 1284,00, Km².

B) Erosión moderada, Pendiente 8 a 80%, Ha perdido hasta un 50 del horizonte A, pero tiene un 10% a 25% de su superficie total con clase de erosión A o B, cobertura más del 75%, superficie 1289.00 Km².

B/C) Erosión severa, Pendiente 84 y 80%, Este suelo ha perdido los horizontes A y B, quedando solamente el horizonte C, pero tiene de un 10 a un 25% de superficie total con clase de erosión A/B o B, cobertura más del 75%, superficie 3150.00 Km².

C) Erosión muy severa, se ubica en pendiente de más del 100%, ha perdido los horizontes A, B, puede quedar parte de C, la roca o capa dura ocupa una superficie de 2020.00 Km².

4.4. Clases de Erosión actual y formas de erosión

La clase erosión severa es la que predomina 3150.00 Km² esta clase ha perdido los horizontes A y B, solamente queda el C y la muy severa ocupa una superficie de 2020 Km² lo único que tiene es parte del horizonte C, la roca o una capa dura. (Tabla 3).

4.4.1. Clases de erosión actual

De los 35 puntos seleccionados la erosión moderada es la dominante y que tiene el 51.43% y una velocidad de 46.11 ton/ha/año, la ligera a le corresponde a un segundo lugar con un porcentaje de 22,85%, con velocidad 9.28 / ha/año, el tercer lugar la muy severa 14,29%, su velocidad es de 93.48/ha/año y el último lugar severa 11.42%, con una velocidad de pérdida de suelo de 243.60 (Tabla 4).

4.5. Velocidad y clases de erosión actual

El valor de la velocidad máxima es de 243.60 ton/ha/año corresponde a una clase muy severa, precipitación total anual mayor 700 mm, la velocidad mínima es de 0,32 ton/ha/año, su clase es ligera la precipitación mayor a 800 mm (Tabla 5).

4.6. Captura de carbono

45

En el caso de México, se estima que durante el periodo 2003 a 2006, las emisiones promedio nacionales de bióxido de carbono (CO_2) asociadas al cambio de uso del suelo forestal ascendieron a 7 189 Giga gramos (Gg) CO_2 por año. Los suelos dominantes son los Luvisoles y Acrisoles, en los valles se presentan los Vertisoles y Fluvisoles. Los bosques templados de pino y los matorrales cálidos también se ubican en las sierras.

Los suelos que contienen más materia orgánica son lo Kastañozem y los Phaeozem, a una profundidad de un metro tiene 3,5% (2.03% de carbono), los Regosoles y Leptosoles contiene 0,75% de materia orgánica y (0,43% de carbono) (Tabla 6).

Con la deforestación se reduce la absorción del CO_2 , por lo tanto este compuesto permanece en la atmósfera, si el suelo se erosiona ya no existe captura de carbono se pierde materia orgánica y se sigue acumulando CO_2 en la atmósfera esto a la crisis climática.

5. Propuestas

Para recuperar el área erosionada y la deforestación y contribuir a revertir la crisis clima, se proponen las siguientes técnicas de la Ingeniería Naturalística y Conservación de suelos.

5.1. Deforestación

5.1.1. Reforestación

Con vegetación nativa de la zona: cortinas rompeviento, siembras al boleó, entramado sencillo o de doble pared, emparrillado sencillo o doble.

5.1.2. Forestación

Principalmente con vegetación que se adapte a las condiciones actuales de clima y suelo:

Con vegetación nativa de la zona o inducida: cortinas rompeviento, siembras al boleó, entramado de doble pared, emparrillado doble.

5.2. Erosión de suelos

5.2.1. Material vegetal:

Cercas vivas, revegetación en los taludes, cultivos de cobertura, rotación de cultivos, franjas en contorno, entramados, siembras al boleó.

5.2.2. Otro tipo de material:

Terrazas, presas de gavión, labranza mínima. Trincheras, tabla estacada de metal, cercas muertas de piedra o metal.

Al proponer la forestación y revegetación en el furo habrá mayor absorción de CO₂ y con la aplicación de las técnicas de conservación de suelos se recuperará este recurso y la captura de carbono será mayor, así mismo se reducirá CO₂ en la atmósfera contribuyendo esto a revertir la crisis climática.

6. Conclusiones

En los Valles Centrales de Oaxaca la erosión y deforestación son significativa.

En el área de estudio deforestación indiscriminada y la erosión del suelo alta o muy alta contribuyen a la crisis climática en los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México, por lo tanto, prueba la hipótesis y se cumplen con los objetivos.

En los resultados se observa que al quitar la vegetación y no llevar a cabo un manejo adecuado del suelo, se incrementa la erosión potencial.

Actualmente se están perdiendo los suelos con una velocidad de 875.77 ton/ha/año.

En lo futuro si se pierde la vegetación y no se aplican técnicas de conservación de suelos la erosión será más del doble de 4165 ton/ha/año.

Es necesario revertir la erosión del suelo, aplicando políticas de restauración a este recurso natural.

7. Recomendaciones

En valles centrales de Oaxaca es necesario realizar investigación con mayor profundidad sobre radiación, captura de carbono, contenidos de materia orgánica en los suelos y relacionarlo con la deforestación y erosión de suelos.

8. Referencias

- Acosta, L., et. al, (2017). *Situación actual de la energía solar en Oaxaca*, México. <https://ru.iiec.unam.mx/5946/1/4.%20088-Acosta-Garc%C3%ADa-Fern%C3%A1ndez.pdf>
- Acosta, L. D., García, I. A., y Fernández, J. L. (2022). Situación actual de la energía solar en Oaxaca, México. En J. F. Sarmiento y M. C. Valles (Coords.), *Escenarios regionales de la dicotomía entre sustentabilidad ambiental y aprovechamiento de los recursos naturales* (pp. 557–570). UNAM-AMECIDER.
- Cassamo, et. al, (2023), Impact of climate changes in the suitable areas for Coffea arabica L. production in Mozambique: Agroforestry as an alternative management system to strengthen crop sustainability. (Vol. 346, p. 2). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788092200490X>

- FAO. (2015). *World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (Update 2015).
- Gaitán, (2017). Global Solar Atlas, (2020) "Solar Gis", <https://globalsolaratlas.info/map?c=17.205082,-96.740112&m=site&s=16.751948,-96.447601> Fecha de consulta 20.10. XX.
- INEGI, (2020). Censo de población y vivienda 2020, entidad Oaxaca, Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=20#tabMCCollapseIndicadores> Fecha de consulta 08.05.XXI
- INEGI. (1988). *Cartas topográficas, escala 1:50 000: E14-D37, E14-D47, E14-D48, E14-D57, E14-D58, E14-D59, E14-D67 y E14-D68*.
- INEGI. (1988 y 2017). *Cartas E14 D37, 47, 48, 57, 58, 59, 67 y 68, escala 1:50,000*
- INEGI. (2002). *Marco Geoestadística Municipal, versión 3. 1*, Clave geoestadística 20565, *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Villa de Zaachila, Oaxaca*,
- INEGI. (2017). *Cartas topográficas, escala 1:50 000: E14-D37, E14-D47, E14-D48, E14-D57, E14-D58, E14-D59, E14-D67 y E14-D68*.
- Instituto Politécnico Nacional (IPN). (2019a). *Diagnóstico de la erosión, base para la sustentabilidad del recurso suelo: Estudio de caso Valles Centrales de Oaxaca, México*. [Proyecto de investigación, Clave SIP 20190072]. Instituto Politécnico Nacional.
- IRENA, (2020) Post-Covid recovery: An agenda for resilience, development, and equality. International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi, 2020, junio, <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Post-COVID-Recovery>
- Kirkby y Morgan, (1984). *Erosión de suelos* (pp. 375), Editorial Limusa.
- Limón, A. (2017, 2 de junio). *Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento*. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP). <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/> CIEP
- López, M., Sánchez García, R. B., Contreras Hinojosa, J. R., Armenta Bojórquez, A. D., y Félix Herrán, J. A. (2017). Captación de carbono en suelos asociados a *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus oaxacana* Mirov. en la Mixteca Alta, Oaxaca. *Ecología Aplicada*, 16(2), 127–133. <https://doi.org/10.21704/REA.V16I2.1016>
- Pérez et al. (2021) Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana, 2(13). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000200141#:~:text=El%20secuestro%20de%20carbono%20en,larga%20vida%20en%20el%20suelo.
- Pedraza, (2015). Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos, Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo en la Cuenca del Río Chapingo Texcoco. [https://www.google.com/search?q=Pedraza%2C+\(2015\).+Estimaci%C3%B3n+de+la+erosi%C3%B3n+h%C3%ADdrica+mediante+dos+m%C3%A9todos%2C+Ecuaci%C3%B3n+Universal+de+la+P%C3%A9rdida+de+Suelo+en+la+Cuenca+del+R%C3%ADo+Chapingo+Texcoco&oq=Pedraza%2C+\(2015\).+Estimaci%C3%B3n+de+la+erosi%C3%B3n+h%C3%ADdrica+mediante+dos+m%C3%A9todos%2C+Ecuaci%C3%B3n+Universal+de+la+P%C3%A9rdida+de+Sue](https://www.google.com/search?q=Pedraza%2C+(2015).+Estimaci%C3%B3n+de+la+erosi%C3%B3n+h%C3%ADdrica+mediante+dos+m%C3%A9todos%2C+Ecuaci%C3%B3n+Universal+de+la+P%C3%A9rdida+de+Suelo+en+la+Cuenca+del+R%C3%ADo+Chapingo+Texcoco&oq=Pedraza%2C+(2015).+Estimaci%C3%B3n+de+la+erosi%C3%B3n+h%C3%ADdrica+mediante+dos+m%C3%A9todos%2C+Ecuaci%C3%B3n+Universal+de+la+P%C3%A9rdida+de+Sue)

- lo+en+la+Cuenca+del+R%C3%ADo+Chapingo+Texcoco&gs_lcrp=EgZjaHJvbWU-yBggAEEUYOdIBCTQwNTRqMGoxNagCCLACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- SICS, ISRIC y FAO, (2016). Base Referencial Mundial Recurso Suelo, Roma Base referencial mundial. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/dea292cb-370d-46c7-a44d-59a617953c3b/content>
- Torres (2021). Periódico El imparcial [https://imparcialoaxaca.mx/oaxaca/570777/tala-ilegal-arrasa-con-bosques-de-oaxaca/#:~:text=En%20Oaxaca%20anualmente%20se%20deforestan,%2C%20Recursos%20Naturales%20\(Semarnat\)](https://imparcialoaxaca.mx/oaxaca/570777/tala-ilegal-arrasa-con-bosques-de-oaxaca/#:~:text=En%20Oaxaca%20anualmente%20se%20deforestan,%2C%20Recursos%20Naturales%20(Semarnat)).
- World Bank Group y Solargis. (2020). *Global Solar Atlas*. World Bank Group. <https://globalsolaratlas.info>
- Zabala, (2011). Degradación y Conservación de suelo, en la Cuenca del Río Grijalba, Tabasco https://www.researchgate.net/publication/293944208_Degradacion_y_Conservacion_de_Suelos_en_la_Cuenca_del_Rio_Grijalva_Tabasco
- WWF, Fundación Carlos Slim, (s, f.). Valles Centrales. https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/fs09_oaxaca_valles.pdf
- WWF, (2021), La crisis climática: ¿Cómo avanza y qué ha hecho el mundo para enfrentar el cambio climático. <https://www.wwf.org.mx/?371230/Lo-que-debes-saber-de-la-COP26-la-conferencia-global-mas-importante-para-enfrentar-el-cambio-climatico>

*Enfoques de las dimensiones complejas
y desafiantes de la crisis climática* de María

Concepción Martínez Rodríguez, Dulce María Monroy

Becerril(coordas.) publicado por Ediciones Comunicación

Científica, S. A. de C. V., se terminó de imprimir en diciembre de
2024 en Litográfica Ingramex, S. A. de C. V., Centeno 162-1, Granjas
Esmeralda, 09810, Ciudad de México. El tiraje fue de 50 ejemplares impresos
y en versión digital para acceso abierto en los formatos
PDF, ePUB y HTML.