Gestión ambiental y justicia climática: Desafíos y oportunidades para la sostenibilidad desde un enfoque multidisciplinario

Por Abimael; Humberto Rubén; María de la Luz Bolaños López; Dragustinovis Perales; Guevara Calderón (coords)

CANTIDAD DE PALABRAS 60975

HORA DE ENTREGA 30-ENE-2026 12:10P. M.

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO 120115744

WWW.COMUNICACION-CIENTIFICA.COM



COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PUBLICACIONES ARBITRADAS

Plantilla para integrar el libro

TÍTULO:

Gestión Ambiental y Justicia Climática: Desafíos y Oportunidades para la Sostenibilidad desde un Enfoque Multidisciplinario

SUBTÍTULO

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

AUTOR/COORDINADOR:

Dr. Abimael Bolaños López,

Dr. Humberto Rubén Dragustinovis Perales

Dra. María de la Luz Guevara Calderón

Instrucciones

El presente archivo es una plantilla diseñada para que el autor/coordinador integre todos los capítulos que conformarán el libro de una forma sencilla y con el formato adecuado.

1) En el apartado Portada, indique el título del libro, subtítulo y nombre completo de los coordinadores. Por favor no utilice abreviaciones.

2) En el apartado Índice anote el título de cada capítulo y el nombre de sus autores (sin abreviaturas).

3) En los apartados Presentación, Prólogo e Introducción escriba el texto correspondiente. No hay límite de extensión. NOTA: no es obligatorio que incluya los tres apartados, puede elegir solo uno o dos de ellos.

4) En cada capítulo llene los campos correspondientes: Título de capítulo, Nombre de los autores, Metadados en nota al pie, Resumen, Palabras clave (3 o 4), contenido del capítulo (texto + figuras/tablas) y Referencias. NOTA: para integrar el contenido de los capítulos deberá copiar el texto junto con las figuras y tablas desde el archivo original y pegarlo en el espacio que le corresponda. Cuide que el contenido siga los lineamientos establecidos.

5) Al finalizar, integre en un carpeta la Plantilla (este archivo), todos los Currículo por autor y la carpeta con imágenes, tablas y gráficas de todo el libro. Luego comprima la carpeta en formato .zip o .rar y envíela por correo electrónico al equipo de COMUNICACIÓN CIENTÍFICA.



Lineamientos

Citas y referencias

Las citas y referencias deben seguir las Normas APA 7.

Puede consultarlas haciendo clic aquí.

Estilos

Para texto "Normal" utilice Times New Roman de 12 puntos e interlineado de 1.5. Para títulos y subtítulos emplee los estilos predefinidos en este archivo Word:

* **Título de capítulo**
* **Título de apartado**
* ***Subtítulo (nivel 3)***
* *Subtítulo (nivel 4)*
* *Título de tabla o figura*
* Notas de pie de tabla o figura

Gráficas y tablas

- Colóquelas correctamente en el texto y numérelas.

- Anexe en un documento Excel las tablas y gráficas en formato editable.

En el caso de las gráficas, además, se deben incluir los datos para su elaboración. Vea el ejemplo en la página siguiente.

Figuras, imágenes e ilustraciones

- Todas se denominarán "figuras"; colóquelas correctamente en el texto y numérelas.

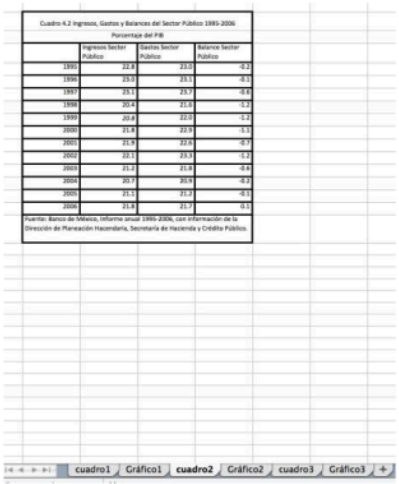
- Agrupe en una carpeta aparte, las imágenes de todos los capítulos en formato jpg de 300 dpi de resolución.

Ejemplo de tablas y gráficas con sus datos en Excel

Adicional a que las tablas y gráficas aparezcan en el cuerpo del texto, es necesario capturar su información en Excel junto con un ejemplo de cómo deben quedar. La finalidad es que el diseñador tome la información y las reelabore con una buena resolución y estilo.

Nota: no es importante que estas tablas o gráficas en Excel tengan un estilo estético, sino que la información esté capturada.

Figura 1. *Ejemplo de información de las tablas*



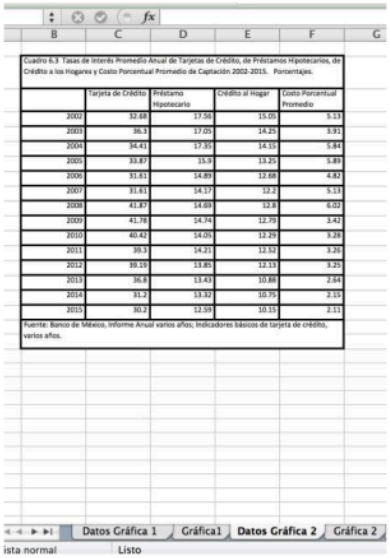
Cuadro 4.2 Ingresos, Gastos y Balances del Sector Público 1995-2006
Porcentaje del PIB

	Ingresos Sector Público	Gastos Sector Público	Balance Sector Público
1995	22.8	23.0	-0.2
1996	23.0	23.1	-0.1
1997	23.1	23.7	-0.6
1998	20.4	21.6	-1.2
1999	20.8	22.0	-1.2
2000	21.8	22.9	-1.1
2001	21.9	22.6	-0.7
2002	22.1	23.3	-1.2
2003	21.2	21.8	-0.6
2004	20.7	21.9	-1.2
2005	21.1	21.2	-0.1
2006	21.8	21.7	0.1

Fuente: Banco de México, Informe anual 1995-2006, con información de la Dirección de Planeación Hacendaria, Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

cuadro1 | Gráfico1 | cuadro2 | Gráfico2 | cuadro3 | Gráfico3

Figura 2. *Ejemplo de información de las gráficas*



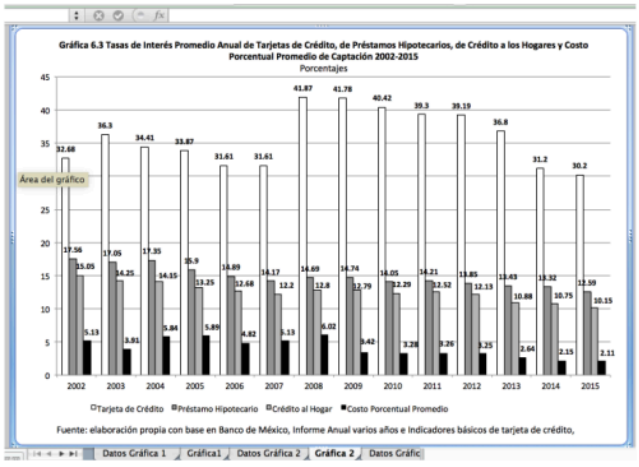
Cuadro 6.3 Tasas de Interés Promedio Anual de Tarjetas de Crédito, de Préstamos Hipotecarios, de Crédito a los Hogares y Costo Porcentual Promedio de Captación 2002-2015. Porcentajes.

	Tarjeta de Crédito	Préstamo Hipotecario	Crédito al Hogar	Costo Porcentual Promedio
2002	32.68	17.56	15.05	5.13
2003	36.3	17.05	14.25	3.91
2004	34.41	17.35	14.15	5.84
2005	33.87	15.9	13.25	5.89
2006	31.61	14.89	12.68	4.82
2007	31.61	14.17	12.2	5.13
2008	41.87	14.69	12.8	6.02
2009	41.78	14.74	12.79	3.42
2010	40.42	14.05	12.29	3.28
2011	39.3	14.21	12.52	3.26
2012	39.19	13.85	12.13	3.25
2013	36.8	13.43	10.88	2.64
2014	31.2	13.32	10.75	2.15
2015	30.2	12.59	10.15	2.11

Fuente: Banco de México, Informe Anual varios años; Indicadores básicos de tarjeta de crédito, varios años.

Datos Gráfica 1 | Gráfica1 | Datos Gráfica 2 | Gráfica 2

ista normal Listo



*Escriba a continuación el título del libro:

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

*Escriba a continuación el subtítulo del libro:

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

*Escriba a continuación los nombres de los coordinadores:

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Hoja legal

El presente documento fue sometido a un proceso de dictaminación académica mediante el sistema de evaluación por pares bajo la modalidad de doble ciego, con el propósito de garantizar la claridad, consistencia y rigor científico de los contenidos.

Presentación general de la obra

La obra Gestión Ambiental y Justicia Climática: Desafíos y Oportunidades para la Sociedad desde un Enfoque Multidisciplinario, es producto de los compromisos e inquietudes genuinas al interior de la Red Internacional Filosófica y Científica de Investigación en Derechos humanos, Políticas Públicas y Ciencias Multidisciplinarias. No representa solamente el esfuerzo editorial, más bien, es la convicción de mucho arraigo: la problemática relativa al medio ambiente presenta una complejidad elevada para ser concebida y atendida desde solamente una disciplina, una institución aislada o una voz en particular. Como sucede con los ecosistemas que se atienden, la interpretación de dichas problemáticas demanda interdependencia, diálogo y trabajo colaborativo.

Es así, que este libro reúne ópticas jurídicas, políticas, administrativas, ambientales, tecnológicas, educativas y éticas, en un diálogo interdisciplinario que presenta reflexiones profundas, críticas, así como alternativas de solución a la crisis medioambiental que enfrentan las diferentes sociedades, con repercusiones en estructuras institucionales y en la vida cotidiana.

El documento se encuentra integrado por siete capítulos, desarrollados por investigadoras e investigadores con amplia experiencia y respaldo académico en universidades públicas, centros de investigación y redes de colaboración académica tanto nacionales como internacionales. Cada aportación sustenta la especificidad de su área de conocimiento, además de insertarse en un diálogo más extenso, en el que la gobernanza ecológica, la justicia ambiental y la sostenibilidad son desarrollados como hilos conductores. Por lo anterior, el libro no solamente expone diagnósticos, más bien invita a reflexionar en torno a alternativas de solución desde una visión articulada, con la claridad de que la sostenibilidad ambiental se construye de manera colectiva.

El Capítulo 1, denominado Diseño y eficacia de las políticas públicas ambientales en la gobernanza ecológica contemporánea: retos para la justicia climática en América Latina, es autoría del Dr. Abimael Bolaños López, doctor en Administración Pública por la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), investigador que participa en el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII), imparte clase de licenciatura, maestría y doctorado en la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales Victoria de la UAT, en la UANE y en el programa de posgrado interinstitucional de Derechos Humanos con la Comisión Nacional de Derechos Humanos, las universidades autónomas de Chihuahua, Campeche, Tlaxcala y la Universidad de Guanajuato. Dada su trayectoria en políticas públicas, derechos humanos y justicia administrativa, el autor presenta un análisis crítico y reflexivo en torno a una problemática que se presenta en América Latina: la distancia entre marcos normativos y realidades institucionales segmentadas, que son rebasadas por el complejo entramado social y ambiental. El capítulo se desarrolla con rigurosidad analítica y sensibilidad social, considerando que la justicia climática no se materializa solamente con la legislación, se requieren instituciones vivas, con escucha activa y capacidad de respuesta a las necesidades humanas y del medio ambiente.

El Capítulo 2, Gobernanza ecológica y digitalización de las políticas públicas: innovación institucional para la sostenibilidad y la transparencia ambiental, a cargo de la Dra. María de la Luz Guevara Calderón, doctora en Derecho por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, investigadora e impartición de cátedra en niveles de licenciatura y maestría en la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales Victoria de la UAT, así como docente de doctorado en la Universidad México Americana del Norte (UMAN). Con la convicción crítica y apego a las realidades de las instituciones, el capítulo analiza el área de oportunidad que presenta la digitalización en la gestión ambiental, con apego a las realidades en materia tecnológica. Con casos en México, España y Brasil, la autora expone la forma en que las herramientas digitales favorecen la transparencia, fomentan espacios de participación ciudadana y coadyuvan en una mejor toma de decisiones pública. De la misma manera, se advierten los riesgos de exclusión, las brechas digitales y la necesidad prioritaria de desarrollar marcos éticos claros. De esta forma, la tecnología se presenta como un medio que, orientado adecuadamente, podrá incidir para alcanzar una gobernanza ambiental más justa y accesible.

El Capítulo 3, se denomina Breves apuntes históricos de la legislación del agua en México, es desarrollado por el Dr. Humberto Rubén Dragustinovis Perales, Doctor en Derecho, nivel I ante el SNII, profesor de carrera en la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales Victoria de la UAT, líder del Cuerpo Académico Consolidado UAT00141 “El impacto de las reformas del Estado en la legislación nacional”. Presenta un contenido bajo una óptica histórico-jurídica debidamente documentada, del curso que ha tenido la evolución normativa del agua en México, donde se expone que el paso de modelos de gestión local a esquemas centralizados ha ido adaptando las tensiones presentes relativas a la gestión hídrica. El análisis posibilita la comprensión de que dichas disputas no son actuales, son producto de decisiones históricas.

El Capítulo 4, Sustentabilidad en las universidades. Aportaciones para una construcción participativa, es desarrollado por la Dra. Trinidad Esmeralda Vilchis Pérez, doctora en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de Guerrero, investigadora por México de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). Considerando su experiencia en materia de educación ambiental y gestión de residuos, presenta una reflexión en torno al papel de las universidades como agentes de cambio para alcanzar una verdadera transformación cultural de alto calado. El capítulo enfatiza que la sustentabilidad no puede acotarse a acciones aisladas o discursos bien estructurados, por el contrario, deben considerarse transversalmente en las aulas, la investigación y el extensionismo universitario, hasta lograr que sea una práctica ordinaria de la comunidad académica.

El Capítulo 5, se denomina Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión hídrica urbana, es un trabajo colaborativo con autoría de la Dra. Mariana Martínez Castrejón, la Dra. Hilda Janet Arellano Wenses y el Dr. Ricardo Herrera Navarrete, investigadores pertenecientes a la Universidad Autónoma de Guerrero e integrantes del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. A partir de una investigación técnico-social en el territorio, se analizan las alternativas de solución sustentadas en la naturaleza, identificando viabilidad y necesidades con intención de transitar hacia la justicia hídrica en contextos urbanos que son atendidos por ProNacEs Agua. El documento identifica como soporte básico de la sustentabilidad a largo plazo los siguientes elementos: conocimiento del entorno, participación ciudadana y la autogestión.

El Capítulo 6, se titula Innovación tecnológica verde mediante ingeniería de materiales sostenibles, es un trabajo conjunto desarrollado por el Dr. Mario Adrián de Atocha Dzul Cervantes, Docente del Tecnológico Nacional de México campus Calkiní; la Dra. Luz Yazmín Villagrán Villegas, profesora-investigadora de la Universidad Veracruzana; y la Dra. Cecilia Irene Anaya González**,** investigadora del Instituto Politécnico Nacional. Este capítulo articula ciencia de materiales, ética ambiental y educación, mostrando que la transición tecnológica solo es legítima cuando incorpora derechos humanos, perspectiva de género y justicia ambiental.

Finalmente, el Capítulo 7, Ética post-antropocéntrica y tecnologías verdes, es desarrollado por el Dr. Osmany Licona Quiterio, investigador postdoctoral en la UAEM; el Dr. Luis Antonio Vázquez Ochoa, docente e investigador del Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Victoria e integrante del SNII; y la Dra. Odette Mendoza Becerril, profesora-investigadora de la UAM Cuajimalpa. El capítulo propone reconsiderar la justicia ambiental tomando como punto de partida la ética interespecie, al valorar la situación de los animales en condiciones de calle como un reflejo sensible de las desigualdades urbanas y de las omisiones materializadas por el Estado.

Es así, que más que ofrecer soluciones definitivas, la obra en su conjunto abre preguntas necesarias, construye argumentos debidamente sustentados y propone posibles rutas de acción. Se trata de un documento desarrollado bajo las necesidades prioritarias actuales y que considera la responsabilidad ética y el compromiso para con la sustentabilidad y el desarrollo.

Índice

*Escriba los títulos de los capítulos y los nombres completos de sus autores (sin abreviaturas) en donde se indica:

Presentación

Prólogo

Introducción

Capítulo 1: Diseño y eficiencia de las políticas públicas ambientales en la gobernanza ecológica contemporánea: retos para la justicia climática en América Latina. Bolaños López, Abimael.

Capítulo 2: Gobernanza ecológica y digitalización de las políticas públicas: innovación institucional para la sostenibilidad y la transparencia ambiental. Guevara Calderón, María de la Luz.

Capítulo 3: Breves apuntes históricos de la legislación del agua en México. Dragustinovis Perales, Humberto Rubén.

Capítulo 4: Sustentabilidad en las universidades. Aportaciones para una construcción participativa. Vilchis Pérez, Trinidad Esmeralda.

Capítulo 5: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión hídrica urbana: evaluación técnico-social y recomendaciones de autogestión alineadas con el ProNacEs Agua. Martínez-Castrejón, Mariana; Arellano-Wences, Hilda J. y Herrera-Navarrete, Ricardo.

Capítulo 6: Innovación tecnológica verde mediante ingeniería de materiales sostenibles: integración de biopolímeros, sistemas metálicos y ética ambiental. Dzul-Cervantes, Mario Adrián de Atocha; Villagrán-Villegas, Luz Yazmin y Anaya-González, Cecilia Irene.

Capítulo 7: Ética Post-antropocéntrica y tecnologías verdes: Desafíos para la justicia ambiental en la gestión de animales en situación de calle. Licona Quiterio, Osmany; Vázquez Ochoa, Luis António y Mendoza Becerril, Odette.

Conclusiones generales de la obra

Sobre los autores

Presentación

*Redacte en el siguiente recuadro la presentación del libro:

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Prólogo

*Redacte en el siguiente recuadro la presentación del libro:

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Introducción

*Redacte en el siguiente recuadro la presentación del libro:

Hoy en día, hablar en torno a la gestión ambiental y justicia climática, es una necesidad fundamental para la supervivencia del ser humano. El calentamiento global, la pérdida de biodiversidad, la contaminación de mantos freáticos, mares, aire, suelo y las desigualdades socioambientales son cada vez más acentuadas y forman parte de la vida ordinaria de las sociedades. No es hablar de estadísticas únicamente, va más allá, toda vez que en la realidad se trata de ríos que se desbordan, grandes cantidades de personas que se ven obligadas a abandonar su territorio, paisajes que se van degradando con el paso del tiempo y ecosistemas que día a día son amenazados y debilitados.

Este libro surge de los compromisos con el medio ambiente por parte de la Red Internacional Filosófica y Científica de investigación en Derechos Humanos, Políticas Públicas y Ciencias Multidisciplinarias. Gestión Ambiental y Justicia Climática: Desafíos y Oportunidades para la Sostenibilidad desde un enfoque Multidisciplinario, no pretende ofrecer soluciones fáciles a problemáticas robustas, más bien, asume que la sostenibilidad es un proceso en el que inciden tensiones, contradicciones y aprendizajes que se comparten. Desde esa óptica, la obra integra un enfoque multidisciplinario, consciente de que ninguna disciplina puede explicar por si sola y enteramente la complejidad en materia de medio ambiente que aqueja al mundo.

La justicia climática es vista como un hilo conductor, no solamente en calidad de categoría jurídica o política, más bien como una experiencia vivida. ¿Quién carga con los costos del impacto ambiental? ¿Quiénes son los participantes en la toma de decisiones? ¿Quiénes son las personas excluidas? Estas interrogantes transitan por los siete capítulos desde diferentes enfoques, materializando una preocupación transversal relativa a la dignidad humana, la protección de la vida y la sustentabilidad.

La obra da inicio examinando críticamente el diseño y eficacia de las políticas públicas en materia de medioambiente en América Latina, una región marcada por la riqueza en biodiversidad y al mismo tiempo con desigualdades históricas. Se apertura con una paradoja que se mantiene con marcos normativos ambiciosos en instituciones débiles, discursos que no están cercanos a la práctica burocrática. Conocer la forma en que se crean y aplican las políticas ambientales es fundamental para explicar las causas por las que la justicia climática en muchos lugares sigue siendo una promesa que no se ha materializado.

En el capítulo dos, se atiende la digitalización de las políticas públicas, siendo un aspecto fundamental y oportuno. Aquí, la tecnología representa una herramienta extraordinaria para fomentar la transparencia, incrementar el monitoreo del medio ambiente y abrir paso a la participación ciudadana. Es oportuno referir que se evita caer en un estado de utopía tecnológica. Se identifican las brechas digitales existentes, los dilemas éticos emergentes y la necesidad prioritaria de contar con marcos normativos que atiendan estos procesos. En este orden de ideas, la interrogante que surge no estriba en torno a digitalizar o no hacerlo, más bien, cómo hacerlo sin incidir en desigualdades ni dejar a nadie fuera del diálogo político.

El capítulo tres propone una retrospección para tener claridad sobre el presente. De esta forma se inicia un recorrido histórico respecto a la legislación del agua en México, haciendo evidente que la

normatividad no se crea en el vacío ni por técnica jurídica. Es producto de coyunturas políticas, intereses económicos y tensiones sociales concretas. Al tener esta concepción, se posibilita la identificación de las causas generadoras de un sinnúmero de conflictos hídricos de la actualidad, así como cuestionar modelos de gestión que aun y cuando son jurídicamente vigentes, no dan respuesta a las necesidades de equidad, sostenibilidad y cuidado de la biodiversidad.

La perspectiva se amplía en el momento en que la obra profundiza en el ámbito universitario, un espacio en el que además de formar profesionistas, también se crean diferentes ópticas del mundo, valores compartidos y prácticas cotidianas. De esta forma, las universidades tienen una responsabilidad socialmente compartida. El capítulo atiende la sustentabilidad universitaria enfatizando que no es suficiente con identificar los compromisos ambientales en los planes de desarrollo institucional de los centros de estudios de educación superior. La transformación genuina ocurre cuando la sustentabilidad se vive día a día a través de la enseñanza, de la investigación aplicada y en el vínculo estrecho entre sociedad y universidad.

La gestión del agua de nueva cuenta se reposiciona en el análisis de las soluciones basadas en la naturaleza. Este enfoque representa una importancia significativa para los contextos urbanos del Sur Global, en le que la infraestructura ordinaria ha dejado visibles los límites e inequidades. Es aquí donde la obra se presenta más cercana y concreta, toda vez que son atendidos los techos que captan agua de lluvia en localidades densamente pobladas, de humedales construidos por comunidades, así como de tecnologías sencillas con una funcionalidad que interactúa con el territorio.

La innovación tecnológica verde, atendida desde la ingeniería de materiales, invita a una reflexión fundamental respecto al lugar que ocupa la ciencia en la transición ecológica. Se hace patente que no necesariamente la innovación es sostenible por definición. Sin un sustento ético consolidado, con educación deficiente y nula o escasa participación ciudadana, incluso las tecnologías por más innovadoras que sean pueden acentuar las desigualdades. Es así, que la sostenibilidad no es solamente un reto, más bien es una cuestión de justicia.

El cierre de la obra con una reflexión post-antropocéntrica sobre los animales en situación de calle rompe deliberadamente con visiones tradicionales. Este capítulo nos recuerda que las ciudades no son espacios exclusivamente humanos. La forma en que tratamos a los animales refleja, en muchos sentidos, la calidad ética de nuestras instituciones y de nuestra convivencia social.

En su conjunto este libro propone una lectura honesta y comprometida del presente. No idealiza la realidad, pero tampoco renuncia a la esperanza, más bien, invita a pensar a incomodarse y sobre todo a actuar desde el conocimiento.

Capítulo 1. Diseño y eficiencia de las políticas públicas ambientales en la gobernanza ecológica contemporánea: retos para la justicia climática en América Latina.

Dr. Abimael Bolaños López [1]

Resumen

El cambio climático ha dejado de ser una preocupación lejana para convertirse en una realidad que atraviesa territorios, instituciones y vidas cotidianas. En América Latina, donde conviven ecosistemas extraordinarios y profundas desigualdades sociales, sus efectos se sienten con particular intensidad. Este estudio examina cómo los gobiernos de la región han diseñado e implementado políticas públicas ambientales en medio de una gobernanza ecológica marcada por la fragmentación, burocracia y capacidades institucionales desiguales. Aunque existen Marcos normativos ambiciosos y discursos sólidos, la distancia entre lo escrito y lo vivido continúa generando frustración social y debilitando la justicia climática.

Desde un enfoque cualitativo-analítico la investigación integra revisión normativa, análisis comparado y una lectura crítica que considera la participación de actores esenciales: gobiernos, comunidades, academia y sector privado. También recupera principios de justicia climática, corresponsabilidad estatal y los Objetivos de Desarrollo Sostenible como brújulas para la acción.

El texto muestra que la región ha avanzado, pero de manera desigual. Persisten vacíos de coordinación, implementación y evaluación que impiden respuestas oportunas frente a desastres, contaminación o conflictos territoriales. Sin embargo, también emergen oportunidades: cooperación regional, gobernanza multinivel, redes sociales y científicas más activas y una ciudadanía que exige decisiones ambientales más justas y humanas.

[1] [Doctor en Administración Pública]. [Docente de carrera y de posgrado] en [Universidad Autónoma de Tamaulipas], [México]. ORCID: [https://orcid.org/0000-0001-7270-5374] ; Scopus: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59524975900
; correo electrónico: [abimaelbl@yahoo.com]

*Anote a continuación 3 o 4 palabras clave.

Palabras clave: Cambio climático, gobernanza ecológica, políticas públicas ambientales, justicia climática

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

Introducción

Al hablar del cambio climático, se hace referencia a las variaciones presentadas en la atmósfera en determinado lugar y tiempo, conforme a la época y periodo; todas las personas habitan territorios que cuentan con sus propias características que los diferencian unos de otros, algunos lugares se ven mayormente afectados por las variaciones climáticas que provocan circunstancias adversas, tales como inundaciones, incendios, sequías, terremotos, tsunamis, entre otros, ocasionados por fenómenos meteorológicos. Todo ello afecta severamente a la población que radica en esos lugares, sin embargo, habrá otros lugares en los que las afectaciones sean menores, debido a que se encuentran en áreas con las condiciones óptimas y seguras del clima.

Entonces, bajo la existencia del cambio climático, la autoridad debe velar por la protección de la población para evitar que sus efectos causen problemas a la sociedad, pero ¿qué problemas se pueden puntualizar?, algunos de ellos podrían ser el quedarse sin hogar, perder sus pertenencias, sus bienes, desplazamiento hacia otros lugares para establecerse en un nuevo territorio y enfermedades. La historia ha demostrado que la fuerza de la naturaleza en contextos de fenómenos naturales trae consigo consecuencias graves que necesitan ser atendidas de manera oportuna para evitar que se sigan presentando en la posteridad. Por ello, existe la necesidad de que se trabaje desde los gobiernos en la prevención y atención de los casos que se susciten y es cuando surge la posibilidad de proyectar políticas públicas que favorezcan esta protección, que no son más que aquella toma de decisiones que proyectan las

autoridades con el principal objetivo de afrontar algún problema y, por ende, mejorar el bienestar de la población. Así mismo al ser el clima un aspecto relevante del medio ambiente, se prevé que su estudio se haga desde la perspectiva de la gobernanza ecológica, donde intervienen distintos factores que lo abarcan y en el involucramiento de diferentes actores clave, para diseñar un sistema de reglas, prácticas y procesos que guíen la gestión del medio ambiente y los recursos naturales.

A pesar de que es un tema en el que deben trabajar todas las personas, las autoridades tienen la obligación Constitucional de llevarla a cabo, previendo todos los contextos en lo que se encuentran establecidas las poblaciones, y en particular de América Latina, ya que, por su ubicación geográfica, se encuentra rodeada de océanos y riqueza ambiental a la que se tiene que proteger. Los objetivos principales del presente, es conocer las principales consecuencias del cambio climático en América Latina y la eficacia de la implementación de las políticas públicas proyectadas en los distintos países, todo ello bajo los métodos de análisis y cualitativo.

Planteamiento del problema

En América Latina, el diseño y la implementación de políticas públicas ambientales han avanzado, pero lo han hecho de forma desigual y, en ocasiones, con un ritmo que no logra acompañar la velocidad del deterioro ecológico ni la urgencia climática. Muchos gobiernos han impulsado normas, programas y estrategias que, sobre el papel, parecen suficientes; sin embargo, en la práctica emergen contradicciones profundas: procesos burocráticos que frenan decisiones clave, instituciones debilitadas por falta de recursos o coordinación, y comunidades que siguen sin acceso real a mecanismos de justicia ambiental.

Esta brecha entre lo normativo y lo real produce una sensación incómoda, casi de la frustración colectiva, porque los marcos jurídicos existen, pero su impacto se diluye en la vida cotidiana. Se observa cuando un conflicto socioambiental tarda años en resolverse, cuando una comunidad afectada por contaminación no encuentra dónde acudir, o cuando los tribunales carecen de herramientas técnicas para comprender la complejidad ecológica del caso.

Así el problema central no es solo la existencia de políticas públicas ambientales, sino su diseño limitado y su eficacia insuficiente dentro de una gobernanza ecológica fragmentada. Esta situación debilita seriamente la justicia climática, obstaculiza la protección de los ecosistemas y reproduce desigualdades socioambientales históricas en la región.

Objetivo.

Analizar críticamente el diseño y la eficiencia de las políticas públicas ambientales en América Latina para identificar sus principales limitaciones dentro de la gobernanza ecológica contemporánea y, a partir de ello, **proponer orientaciones que fortalezcan la justicia climática y garanticen respuestas institucionales más oportunas y equitativas**.

Hipótesis

Si las políticas públicas ambientales en América Latina incorporan diseños más coherentes, mecanismos de evaluación continua y estructuras institucionales capaces de responder con celeridad y transparencia, entonces la gobernanza ecológica será más eficiente y contribuirá de manera decisiva al fortalecimiento de la justicia climática y a la reducción de las desigualdades socioambientales en la región.

Metodología.

La investigación se desarrolla con un enfoque cualitativo-analítico, sustentado en tres ejes metodológicos complementarios:

A). Revisión documental y normativa.

Se examinan leyes, políticas, programas y planes ambientales vigentes en distintos países latinoamericanos. Esto permite contrastar el diseño formal con su implementación real. Se incluyen instrumentos de justicia administrativa, marcos de cambio climático y lineamientos de gobernanza ecológica.

B). Análisis comparado de experiencias.

Se seleccionan casos emblemáticos de conflictos socioambientales, procesos de justicia climática o fallos judiciales recientes. A través de estos ejemplos se observan los vacíos institucionales, los aciertos y las fallas estructurales en la respuesta estatal.

C). Interpretación crítica desde el enfoque de políticas públicas y Justicia climática:

Se integran los hallazgos para construir una lectura amplia, que no se limite a describir normas, sino que explore interacciones entre actores, capacidades institucionales, transparencia, participación social y resultados concretos.

Este enfoque permite comprender no solo qué dice la ley, sino qué ocurre realmente en el territorio, aproximando la investigación a la experiencia humana y comunitaria.

1. Marco teórico-conceptual

1.1. Concepto y evolución de las políticas públicas ambientales.

Los gobiernos, mediante sus Políticas Públicas, tienen la misión de salvaguardar la subsistencia humana, de la flora y fauna, dotando de recursos humanos, financieros y materiales para que la población viva con las condiciones básicas. Para tal fin los Estados destinan presupuestos en concordancia de la priorización de sectores específicos: salud, alimentación, educación, entre otros (Ávila et al., 2022; Chica-Vélez & Salazar Ortiz, 2021; Cruz-Vargas & Díaz, 2020; citados por Araujo y Aysanoa, 2025, p.2).

Pero entre esos sectores también se puede encontrar las políticas públicas orientadas a la protección y cuidado del medio ambiente, para reducir los efectos que ocasiona el cambio climático y desastres naturales, de esta forma las crisis ambientales podrían minimizarse, generando consigo múltiples beneficios para toda la población. Pero, ¿cómo ha sido la evolución de las políticas públicas ambientales?, al realizar la consulta, es posible observar que es en el año de 1972 en el que internacionalmente existe un gran interés por desarrollar políticas medioambientales; la Organización de las Naciones Unidas (2025), señala que se celebró en Estocolmo, Suecia la primera gran conferencia sobre cuestiones relativas al medio ambiente del 5 al 16 de junio, bajo los auspicios de las Naciones Unidas, conocida como la Conferencia sobre el Medio Humano, o la Conferencia de Estocolmo, su objetivo era forjar una visión común sobre los aspectos básicos de la protección y la mejora del medio humano.

Y es a partir del año de 1990 que se pueden encontrar en mayor medida ejemplos de la implementación de políticas públicas, como mecanismo para incorporar las preocupaciones ambientales en los procedimientos de toma decisión gubernamental, especialmente en países miembros de la Organización para el Cooperación y el Desarrollo Económico (Jacob y Volkery, 2004; Schout y Jordan, 2006, citados por Solorio y Miranda, 2019, p. 52). Estos

antecedentes nos dan las bases para analizar sus primeras proyecciones en el mundo, y con especial atención a los países de América Latina, entre los que se encuentran: México, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Nicaragua, Panamá, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela y Puerto Rico.

Lo que distingue a estos países a diferencia de otros, es que cada uno tiene gran diversidad, comenzando con la amplia variedad de ecosistemas, como los bosques, desiertos, montañas, costas, glaciares y praderas, por lo que es aún mayor la necesidad de protegerlos, para la subsistencia de la humanidad. Por tanto, las autoridades cuentan con las atribuciones inherentes a su encargo, para atender a lo que el mandato constitucional dispone.

1.2. Enfoque de gobernanza ecológica y sustentabilidad.

El enfoque de gobernanza surge entonces de la necesidad de que la autoridad con atribuciones en la materia trabaje en la formulación, diseño e instauración de políticas públicas destinadas a cumplir con el objetivo de proteger al medio ambiente y la población de los cambios que se presentan en el clima. Pero estas políticas públicas tienen que ser evaluadas para constatar su viabilidad y resultados en un periodo determinado. Un ejemplo de ello se ve plasmado en los Planes de Desarrollo de cada uno de los gobiernos, donde se localizan los objetivos, estrategias, ejes y líneas de acción para planificar el trabajo durante un periodo determinado, previendo siempre lo que a nivel internacional se establece y tomando las mejores prácticas y experiencias de otros países. Como lo señala el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2023), la gobernanza ambiental es fundamental para lograr el desarrollo sostenible a nivel nacional, regional y global. Se requieren procesos de toma de decisiones informados, coherentes, unificados e integrales, respaldados por marcos normativos adecuados. Mediante la creación de sistemas de gobernanza sólidos, se pueden proteger el medio ambiente y los derechos humanos, y se puede avanzar en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Éste último, presenta la pauta para que los países cuenten con una herramienta base para planificar conforme a los contextos en que se encuentren, de esta manera en el contenido se establecen 17 ODS: fin de la pobreza, hambre cero, salud y bienestar, educación de calidad, igualdad de género, agua limpia y saneamiento, energía asequible y no contaminante, trabajo decente y crecimiento económico,

industria, innovación e infraestructura, reducción de las desigualdades, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsables, acción por el clima, vida submarina, vida de ecosistemas terrestres, paz, justicia e instituciones sólidas y alianzas para lograr los objetivos.

En el caso particular del ODS número 13, se observa la principal preocupación por los patrones climáticos, aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos, emisiones de gases de efecto invernadero causadas por las actividades humanas. Las metas que señalan los ODS (CEPAL, 2016), son las siguientes:

- Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.
- Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
- Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.
- Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible.
- Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas (pp. 33 y 34).

1.3. Principios de justicia climática y corresponsabilidad estatal.

Los principios que enmarcan el tema son diversos, entre ellos se puede mencionar lo que la norma establece, partiendo de los derechos humanos, se tienen los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad (CPEUM, 2025).

- Universalidad: indica que todas las personas somos merecedoras de que se respete nuestra dignidad humana, viviendo y desarrollándonos en entornos y ambientes saludables.
- Interdependencia e Indivisibilidad: el derecho a un medio ambiente sano se encuentra relacionado directamente con el ejercicio de otros derechos, como el acceso al agua, tener una vivienda digna, salud, etc. El ejercicio de los derechos mencionados en el principio anterior, están vinculados a que se garantice el resto de los derechos; así como la vulneración de un derecho pone también en riesgo los demás derechos.
- Progresividad: para el cumplimiento de ciertos derechos se requiere la toma de medidas a corto, mediano y largo plazo, pero procediendo lo más expedita y eficazmente posible (CNDH, 2018, p.11).

Pero además, existen dos principios retrospectivos de justicia climática, así lo comenta Iñigo, (2019): el principio de responsabilidad el cual sostiene que quienes han causado un perjuicio son responsables del mismo y tienen por ello la obligación de revertirlo o de compensar a sus víctimas (p.625) y el principio del beneficio en donde un agente puede contraer obligaciones de reparación o rectificación de un perjuicio causado por terceros y del que únicamente se habría beneficiado involuntariamente. Así, los beneficiarios de las acciones causantes del cambio climático podrían contraer obligaciones de mitigación y de financiación de la adaptación al cambio climático con independencia de que hubieran participado en dichas acciones o no (p. 630).

De esta forma, los principios de la justicia climática deberán ser contemplados y aplicados en todas las actuaciones de las autoridades encargadas de materializar las políticas públicas en los países. En ese sentido el estado cuenta con la obligación de la corresponsabilidad, asumir que, en el contexto actual, existen diagnósticos que contribuyen a la toma de decisiones en diferentes temas, entre ellos el del cambio climático y el medio ambiente para plasmarlos en la agenda.

2. Gobernanza ecológica: estructura y actores

2.1. Mecanismos institucionales de toma de decisiones.

Para iniciar este subtema es trascendente partir de la definición de Gobernanza, concepto que se enfoca al proceso de gobernación e indaga en el gobierno como actor, pero va más allá e incluye a los sectores sociales. La gobernanza abarca tanto al gobierno como a la gobernabilidad, ya que se requiere de un gobierno eficiente, pero reconoce que, aún en la situación de un gobierno con recursos suficientes, en la realidad contemporánea de mayor complejidad sociopolítica se requiere de la cooperación de los actores sociales (Aguilar 2006, citado en Linares et. al., 2025, p. 139).

Entonces el gobierno velará por desarrollar propuestas que estén alineadas a documentos internacionales y nacionales para la protección del medio ambiente y hacer frente al cambio climático, señala Hincapié (2022), en América Latina existe una gran variedad de formas de implementación de medidas de protección basadas en las delimitaciones que suponen las áreas. En muchas ocasiones, estas se han conseguido por iniciativa social, reivindicando los derechos humanos y derechos de los pueblos, así como la protección de la biodiversidad ecológica y cultural en los territorios. Al respecto, la gobernanza global incide de manera directa en tres ejes principales de acción-intervención, a través de esquemas cooperativos o conflictivos: a) la presión de intereses económicos para la apropiación de bienes minero-energéticos generadores de dinámicas extractivas; b) la promoción, divulgación y respaldo a los derechos humanos como parámetros normativos comunes; y c) el fomento de la gobernanza ambiental que promueva diversos procesos de protección y esquemas de regulación de ecosistemas estratégicos para el planeta (p.1).

2.2. Participación de sociedad civil, academia y sector privado.

El trabajo en conjunto es imprescindible, sobre todo cuando se trata de encontrar soluciones a problemáticas reales que están afectando a la vida de las personas; la sociedad civil mantiene la intervención a través de la gobernanza ecológica en América Latina, es actor fundamental en el impulso y elaboración de políticas públicas medio ambientales, se pueden visualizar organizaciones comunitarias, colectivos ambientalistas, pueblos indígenas,

movimientos juveniles, etc., entre los cuales se percibe actividad permanente en la vigilancia del cumplimiento de la normativa en la materia, defensa de los territorios y la exigencia de la rendición de cuentas ante los Estados.

En cambio, la academia otorga y deja constancia en las investigaciones sobre las evidencias científicas, antecedentes, marcos conceptuales, metodologías y nuevos descubrimientos entorno al trabajo. Por ello el impulso de las Universidades y Centros de Investigación en que cada vez existan más personas interesadas en la investigación y en su caso, otorgar los apoyos necesarios para que puedan concluir con su trabajo, y que al final pueda este retribuir a la sociedad, ofreciendo información clave para el diseño de políticas públicas.

La situación particular del sector privado genera una responsabilidad que ha ido en aumento hacia prácticas más sostenibles en distintos ámbitos, siendo estos en la industria minera, agricultura, energía y la manufactura, sobre todo en países de Latinoamérica, empresas, gobiernos y organizaciones de la sociedad civil.

Sin duda, esta interrelación de actores contribuye en gran medida al impulso e incremento de proyectos de restauración, reforestación, energías renovables, reducción de emisiones, estableciendo una gobernanza ecológica mayormente articulada y orientada al desarrollo sustentable de los países.

2.3. Gobernanza multinivel y cooperación interinstitucional.

Los desafíos del medio ambiente en América Latina están latentes y cobran especial importancia en la medida en que se vuelven más complejos, exigiendo el actuar y la coordinación de los gobiernos, como resultado de ello se crea la Alianza del Pacífico el 28 de abril de 2011, con la firma de un documento llamado "Declaración de Lima" por los Presidentes de Chile, Colombia, México y Perú, mismo que se firmó en la ciudad de Lima, Perú, con el objetivo de aprovechar el potencial de crecimiento verde del comercio, el informe destaca como prioritario el desarrollo de políticas que diversifiquen la economía, reduzcan la dependencia económica de los combustibles fósiles y la extracción de recursos naturales, y promuevan la ecoeficiencia e innovación para un consumo y producción más sostenibles, con mayor valor agregado (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019).

Otro acontecimiento es el impulso del Acuerdo de Escazú, adoptado por 24 países en la ciudad costarricense de Escazú el 4 de marzo de 2018, el principal objetivo es garantizar la implementación plena y efectiva en América Latina y el Caribe de los derechos de acceso a la información ambiental, la participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales y el acceso a la justicia en asuntos ambientales, así como la creación y el fortalecimiento de las capacidades y la cooperación, contribuyendo a la protección del derecho de cada persona, de las generaciones presentes y futuras, a vivir en un medio ambiente sano y al desarrollo sostenible (Gobierno de México, 2021).

En esta cooperación interinstitucional avanzan grandes iniciativas, como las redes de monitoreo de algunos bosques, entre estas destaca el Tratado de Cooperación Amazónica donde los países involucrados son Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Suriname y Venezuela, con el propósito de conjugar los esfuerzos que vienen emprendiendo, tanto en sus respectivos territorios como entre sí mismas, para promover el desarrollo armónico de la Amazonia que permita una distribución equitativa de los beneficios de dicho desarrollo entre las Partes Contratantes, para elevar el nivel de vida de sus pueblos y a fin de lograr la plena incorporación de sus territorios amazónicos a las respectivas economías nacionales (OTCA, 2021).

En América Latina se visibiliza la consolidación de la cooperación entre los gobiernos, lo que resulta esencial para la construcción de políticas públicas ambientales mucho más sostenibles. Sin embargo, existen organizaciones que a nivel internacional tienen gran trascendencia e impacto positivo en la construcción de un mundo con mayor calidad ambiental, entre estas se encuentran:

- MOVIMIENTO LAUDATO SI' (antes, Movimiento Católico Mundial por el Clima).
- WWF
- 350.org
- Climate Foundation
- Greenpeace
- Earth Island Institute
- Rainforest Action Network
- Amigos de la Tierra Internacional
- Global Footprint Network

- Depave
- Earth Day Network
- Natural Resources Defense Council
- Rainforest Alliance
- Earthjustice
- El Proyecto de la Realidad Climática
- Restore The Earth
- C40 Cities Climate Leadership Group
- Comercio Justo Internacional
- Earthworks
- Fondo de Defensa del Medio Ambiente (EDF)
- Conservación Internacional
- Carbon Underground
- Cruz Verde Internacional (GCI)

La autora Piñeros (2025) comenta que estas organizaciones ambientales internacionales lideran el cambio con sus misiones y actividades destacadas. Sin embargo, hay cientos de otras organizaciones que se esfuerzan por generar un impacto positivo en el medio ambiente.

3. Análisis de eficiencia y efectividad en las políticas ambientales latinoamericanas

3.1. Indicadores de desempeño ambiental.

Para entender el cambio climático es necesario conocer la estadística existente, en primer lugar, en América Latina, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático afirma con un 95% de certeza de que la actividad humana es actualmente la causa principal del calentamiento global (Gil, 2019).

Específicamente en América Latina y el Caribe tiene una asimetría fundamental con referencia al cambio climático. En otras palabras, si bien América Latina ha contribuido históricamente al cambio climático en menor medida que otras regiones, de todos modos, resulta particularmente vulnerable a sus efectos y, más aún, estará involucrada de diversas formas en sus posibles soluciones (CEPAL, 2014, p. 11). Partiendo de lo anterior, los países cuentan con políticas ambientales que disminuyen los efectos del cambio climático, a continuación, se presentarán los casos comparativos entre México, Brasil y Colombia, para visibilizar el trabajo que han proyectado:

Tabla 1. Políticas Ambientales

México	Brasil	Colombia
- Programas Nacionales Estratégicos. - Programa Nacional de Restauración Ambiental. - Política ambiental de la "Cuarta Transformación". - Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales. - Programa Frontera 2025. - Política Socioambiental (SEMARNAT, 2020).	- Plan de Acción para la Prevención *y* el Control de la Deforestación en la Amazonia Legal. - Proyecto de Monitoreo Satelital de la Deforestación en la Amazonia Legal. - Sistema en Tiempo Real para la Detección de la Deforestación. - Políticas de agricultura sostenible e iniciativas de seguimiento y trazabilidad de las cadenas de productos básicos. (CPI, 2023). - Política Nacional de Cambio Climático (Marzano, 2022).	- Política para el manejo de suelo de protección en el Distrito Capital. - Política pública para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad. - Política Pública Distrital de Protección y Bienestar Animal. - Política Pública Distrital de Educación Ambiental. - Política de Humedales del Distrito Capital. - Política Pública Distrital de Ruralidad. - Política de Producción Sostenible para Bogotá. - Política Distrital de Salud Ambiental. - Política Pública de Acción Climática. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2025).

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El trabajo comparativo se realizó con base a que estos tres países representan contextos estratégicos y diversos dentro de toda América Latina, ya que concentran las mayores riquezas ambientales del mundo.

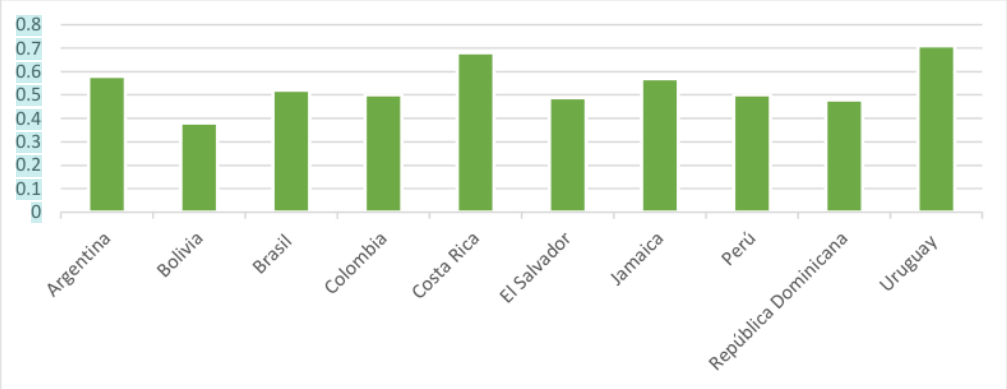
Una vez consultadas algunas de las políticas públicas en materia ambiental, cada uno de los países resalta diferencias conforme a la diversidad y prioridad ecológica, ante los retos que enfrentan, partiendo de México, estas acciones se encuentran estructuradas en programas nacionales y sectoriales, en donde destaca la Política ambiental de la cuarta transformación, en cambio los países de Brasil y Colombia se enfocan en la Amazonia, cuentan con mayor diversidad ecológica, por tanto, el cuidado y compromiso es aún mayor, por ello es que se establecen políticas más específicas.

En México, los Programas Nacionales Estratégicos, buscan la articulación de una ciencia participativa, a partir de colectivos de investigación e incidencia y organizaciones sociales maduras que sumen esfuerzos transdisciplinarios para el desarrollo de estrategias integrales que se orienten a la restauración de los ecosistemas dañados y de la salud humana, así como propuestas para tratar de solucionar, defender y mejorar la salud ambiental de los territorios en las regiones de emergencia sanitaria y ambiental (Ponce-Vélez, Flores-Mondragón, & Gaspar-Ramírez, 2023, pp. 36)

Ahora es importante conocer en el contexto de gobernanza en materia ambiental de América Latina, en el contexto de gobernanza se obtiene el índice de Estado de Derecho, que se encuentra compuesto por los límites al poder gubernamental, ausencia de corrupción, gobierno abierto, derechos fundamentales, orden y seguridad, cumplimiento regulatorio, justicia civil y justicia penal, según los Indicadores de Gobernanza Ambiental para América Latina y el Caribe que aplica el Banco Interamericano de Desarrollo y World Justice Project, es de destacar que estos indicadores se expresan mediante puntuaciones que oscilan entre 0 (cero) y 1 (uno). En este rango, alcanzar un valor cercano a 1 (uno) refleja un nivel alto de gobernanza ambiental, sólido y bien articulado, mientras que aproximarse 0 (cero) revela un escenario más frágil, donde las capacidades institucionales y los mecanismos de gestión ambiental resultan claramente ineficientes. En términos sencillos es como una escala de confianza: cuanto más alto el puntaje, mayor es la fortaleza del sistema; cuanto más bajo, más evidentes son sus debilidades. De lo anterior se obtienen los siguientes resultados: 0.58

Argentina, 0.38 Bolivia, 0.52 Brasil, 0.50 Colombia, 0.68 Costa Rica, 0.49 El Salvador, 0.57 Jamaica, 0.50 Perú, 0.48 República Dominicana, 0.71 Uruguay, (Vizeu P. M., Rojas S. L., Long, S. C., & Ponce, A, 2020, pp. 39 a 48).

Gráfica 1. Indicador de Gobernanza Ambiental en el contexto relativo al índice de Estado de Derecho.



Fuente: elaboración propia, 2025.

Los indicadores reflejan el compromiso que tiene cada país con la gobernanza ambiental, destaca en este informe se trabajó con solo 10 países que integran América Latina, el trabajo realizado por Uruguay destaca en el tema de derechos fundamentales, en segundo y tercer lugar Costa Rica y Argentina también con derechos fundamentales, teniendo en cuenta que la puntuación de 1 es el valor más alto.

4. Desafíos para la justicia climática en la región

Entre los hallazgos sobre el Estado de Derecho Ambiental, Vizeu P. M., Rojas S. L., Long, S. C., & Ponce, A (2020) determinan que fueron los siguientes:

1. Los organismos reguladores enfrentan retos en la aplicación de la ley vinculados a limitaciones en la capacidad de sus recursos humanos y financieros.
2. La coordinación continúa siendo un reto a pesar de que los países cuentan con leyes que definen la autoridad, responsabilidad y mandatos.
3. La región muestra avances en materia de evaluaciones de impacto ambiental, aunque se observa una oportunidad de mejora en la exhaustividad de sus decisiones.

4. En materia de participación ciudadana, la región muestra avances en el acceso a la información, aunque la participación pública continúa siendo un desafío.
5. A pesar de un desempeño general aceptable en materia de libertad de expresión y asociación de la población de los países, los derechos de los defensores ambientales son motivo de preocupación.
6. Una barrera en el acceso a la justica en la región es el acceso limitado a mecanismos de resolución de controversias, ocasionado principalmente por la complejidad de los procedimientos (p. 8).

4.1. Equidad ambiental y acceso a la justicia administrativa ambiental.

La justicia administrativa ambiental, como lo señala Legamy (2021). desempeña un papel fundamental en la protección y garantía del medio ambiente, por encargarse de resolver controversias relacionadas con las acciones u omisiones de las autoridades administrativas que afecten el entorno natural, el equilibrio ecológico y los recursos naturales de un país.

Toda persona tiene el derecho al ejercicio no discriminatorio de los derechos humanos procesales inherentes a la democracia en el contexto ambiental, ya que se encuentra intrínsecamente relacionado con la protección de los derechos humanos sustantivos, particularmente vulnerables al daño ambiental, la conservación y la distribución equitativa de las cargas ambientales y de los beneficios del desarrollo sostenible.

En palabras de Aguilera, (2024), lo que caracteriza al marco regional es que reconoce la existencia de obstáculos al ejercicio de los derechos procesales ambientales relacionados a la discriminación histórica y estructural de determinados titulares de derechos. Se hace visible entonces que los derechos procesales ambientales no son suficientes si el contexto sociopolítico dificulta su ejercicio. Por tanto, se reconocen condiciones de equidad complementarias a los derechos procesales ambientales para garantizar la inclusión democrática en el proceso de toma de decisiones de personas y grupos a los que se les han negado sus derechos ambientales para que no sigan siendo marginalizados (p. 154).

Por lo tanto, la relación entre las condiciones de equidad y los objetivos de distintos instrumentos en la materia: Pacto de San José y Acuerdo de Escazú muestra que los problemas ambientales en América Latina y el Caribe también se consideran en términos de justicia social.

4.2. Brechas tecnológicas y socioeconómicas.

En el entorno de la gobernanza ambiental existe una relación de manera directa con las brechas tecnológicas y socioeconómicas, porque estas brechas determinan quién puede participar, decidir y beneficiarse realmente de las políticas ambientales, pero, a pesar de los avances, las experiencias de gobernanza para el cambio transformativo a favor de la biodiversidad se desarrollan en medio de desafíos, entre ellos nos comenta Catacora et. al. (2022):

- La falta de políticas y visión estratégica que articule el corto, mediano y largo plazo.
- Las limitaciones del sector público por la escasez de recursos, reducido personal o su rotación frecuente, y la débil o inexistente coordinación inter e intrasectorial alrededor de la biodiversidad.
- Insuficientes mecanismos financieros innovadores e integrales.
- Una visión territorial, biocultural y transdisciplinaria de la conservación y uso sostenible de la biodiversidad aún incipiente en varios sectores.
- Reducida generación de oportunidades, participación y visualización de los pueblos indígenas y comunidades locales, mujeres y juventudes en la gestión sostenible de la biodiversidad.
- Necesidad de un mayor fortalecimiento para la participación justa y equitativa en los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos (entre actores transfronterizos y locales) (p.16).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2025), los países en la actualidad acuerdan una ambiciosa agenda ambiental para la región con el fin de fortalecer la resiliencia frente a sequías y la desertificación, al mismo tiempo que generará beneficios sociales y económicos para la región. Es bien conocido que los países que conforman América Latina difieren en la diversidad ambiental, su riqueza es única; sin embargo, otras de sus diferencias marcadas se pueden encontrar en cuestiones y contextos económicos diversos, las brechas tecnológicas, por tanto, para realizar una gobernanza ambiental se requiere de distintos actores, previendo los recursos con los que se cuenten para llevarlos a la práctica y hacerlos realidad.

Conclusiones

El profundizar en la revisión bibliográfica del tema, permitió evidenciar que la gobernanza ecológica en América Latina está en constante evolución, ha avanzado de manera significativa, pero a pesar de ello, enfrenta ciertos retos que limitan su total eficacia, destacando la falta de coordinación entre los gobiernos, brechas de implementación de las políticas públicas, así mismo, la participación desigual entre actores clave, mientras que investigadores y organizaciones de la sociedad civil muestran un desempeño notable, otros sectores avanzan con más dificultad. Esto confirma algo importante: la gobernanza ecológica depende no solo de normas y programas, sino también de recursos, capacidades técnicas y, en gran medida, de la voluntad política para sostenerlas.

Además en cuestión específica de las brechas en materia tecnológica y socioeconómica determinan quiénes pueden adaptarse y realizar una participación plena en la toma de las decisiones del medio ambiente, en ese contexto, los países con mayor recurso logran generar políticas públicas con suficientes sistemas de monitoreo, por ejemplo en el caso de Brasil en relación con la Amazonia; mientras que otros enfrentan serias limitaciones que reducen la capacidad de respuesta ante problemas que lleguen a presentarse.

El análisis también muestra que, aunque América Latina ha dado pasos firmes en materia ambiental, el diseño y la eficiencia de sus políticas aún encuentran obstáculos que impiden consolidar una gobernanza ecológica sólida. La fragmentación institucional, los procesos burocráticos lentos y la escasa coordinación intergubernamental generan un escenario donde la justicia climática se percibe más como un horizonte deseable que como una realidad cotidiana. Y, sin embargo, cuando existen políticas bien diseñadas con metas claras, mecanismos de evaluación y una participación comunitaria auténtica, los resultados cambian dado que los conflictos socioambientales se abordan con mayor sensibilidad, las instituciones actúan con más transparencia y las decisiones públicas muestran un compromiso más profundo con el derecho a un ambiente sano.

Otro aspecto que aparece con fuerza es la necesidad de consolidar la justicia climática como eje transversal. En muchos países todavía persisten grupos históricamente marginados, expuestos a riesgos ambientales y sin oportunidades reales para influir en la agenda pública. En el caso de México, por ejemplo, se ha identificado recomendaciones relevantes: los

Programas Nacionales Estratégicos muestran que es posible integrar de manera sistemática el conocimiento comunitario académico y gubernamental. Además, resulta indispensable que las políticas y programas que sí funcionan tengan continuidad más allá de los cambios de administración, pues interrumpirlo solo genera retrocesos y pérdida de coherencia normativa.

A la luz de todo lo anterior, la hipótesis planteada se sostiene: fortalecer el diseño, la coherencia y la capacidad operativa de las políticas públicas ambientales impacta de manera directa en la mejora de la gobernanza ecológica y en el avance hacia una justicia climática real. En síntesis, la región no parte de cero; lo que falta es afinar los engranajes para que cada norma, cada institución y cada proceso conversen entre sí y se orienten hacia la protección de la vida humana y no humana, en un contexto global que cambia con rapidez y no espera.

Finalmente, es claro que cualquier país latinoamericano podría convertirse en un referente de gobernanza ecológica si logra equilibrar lo que dicen las normas con lo que ocurre en la práctica. La eficacia depende del fortalecimiento de las capacidades operativas, la continuidad institucional y la aplicación de mecanismos reales de rendición de cuentas y transparencia. Avanzar hacia un modelo ambiental más justo y sostenible implica reconocer la complejidad del cambio climático y la necesidad de coordinación entre todos los actores implicados. América Latina, con su inmensa riqueza ecológica, requiere políticas que integren justicia ambiental, innovación tecnológica, cooperación entre países y una visión de largo plazo. Solo con colaboración efectiva será posible construir comunidades más resilientes, proteger la biodiversidad y garantizar condiciones que permitan una vida digna para las generaciones presentes y futuras.

Recomendaciones:

Con sustento en la investigación desarrollada, se recomienda:

1. Fortalecer la evaluación continua en las políticas ambientales.
   No basta diseñar estrategias ambiciosas; se requiere medir con honestidad sus avances, límites y efectos reales en las comunidades más vulnerables. Evaluar no es un trámite, sino una forma de escucha institucional.

2. Impulsar una gobernanza ecológica verdaderamente colaborativa.

Los gobiernos deben abrir espacios donde sociedad civil, pueblos indígenas, academia y sector privado participen desde el diseño hasta la vigilancia de las políticas. La corresponsabilidad se construye con voces diversas, no con decisiones unilaterales.

3. Impulsar una gobernanza ecológica verdaderamente colaborativa.

   Muchos conflictos ambientales se estancan por trámites interminables o por falta de equipos especializados. Invertir en personal capacitado y procesos ágiles puede marcar la diferencia entre prevenir una tragedia o reaccionar demasiado tarde.

4. Integrar los principios de Justicia climática como eje rector.

   La responsabilidad histórica, la reparación y la equidad intergeneracional deben dejar de ser conceptos abstractos para convertirse en criterios obligatorios de decisión pública.

5. Consolidar alianzas regionales y redes de cooperación.

   Iniciativas como el Acuerdo de Escazú o la cooperación amazónica muestran que los retos climáticos no reconocen fronteras. América Latina puede fortalecerse si comparte datos, tecnología, experiencias y estrategias comunes frente a amenazas globales.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Aguilera, M. G. (2024). Los derechos humanos ambientales como justicia ambiental: desarrollos en America Latina y el Caribe. *Revista de Estudios Políticos, 204*, 131-160. doi: https://doi.org/10.18042/cepc/rep.204.04

Araujo S., L. M. & Aysanoa, J. C. (2025). Políticas Públicas frente a la Crisis Ambiental: Una Revisión Sistemática. *Aula Virtual*, *6*(13), e522. https://doi.org/10.5281/zenodo.16985377

Cámara de Diputados LXVI Legislatura. (1917/2025). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* (última reforma DOF 15 de octubre de 2025). https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf

Catacora Vargas, G., Tambutti M., Alvarado V. & Rankovic A. (s. f.). *Enfoques y prácticas de gobernanza en América Latina y el Caribe para el cambio transformativo a favor de la biodiversidad*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f5b08ba9-38ac-4f37-87d6-f8eed3645d93/content

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2014) *The economics of Climate change in Latin America and the Caribbean: Paradoxes and challenges. Overview 2014*. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3e136513-76a4-4dd4-b1d5-a118c4e2a45c/content

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. https://www.cedhnl.org.mx/bs/vih/secciones/planes-y-programas/Agenda-2030-y-los-ODS.pdf

Climate Policy Initiative. (2023). *Políticas ambientales brasileñas y la nueva regulación de la Unión Europea para productos libres de deforestación: oportunidades y desafíos.* https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/brazilian-environmental-policies-

and-the-new-european-union-regulation-for-deforestation-free-products-opportunities-and-challenges/

Comisión Nacional de los Derechos Humanos. (2018). *Los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad de los derechos humanos*. https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-05/34-Principios-universalidad.pdf

Gobierno de México. (2021). *Acuerdo de Escazú: Acciones de implementación en el sector ambiental.* https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/el-acuerdo-de-escazu

Hincapié, S. (2022). Gobernanza ambiental global, derechos humanos y capacidades socioestatales en América Latina. *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*, *(130*), 7-18. DOI: doi.org/10.24241/rcai.2022.130.1.7

Iñigo, G. R. (2019). Dos principios retrospectivos de justicia climática. *Isegoría: Revista de Filosofía Moral y Política, (61*), julio-diciembre, 623-640, ISSN: 1130-2097. https://doi.org/10.3989/isegoria.2019.061.12

Legamy. (2021). *El marco de la justicia administrativa ambiental.* https://legamy.com/publicacion/el-marco-de-la-justicia-administrativa-ambiental

Linares, A., Hernández, M., Gallardo, F. & Parada, P. (2025). Gobernanza Ambiental: Valor Intrínseco de los Recursos Naturales o Camuflaje para la Expansión del Mercado. *Historia Ambiental, Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista De La Solcha*, *15*(1), 136-167. http://halacsolcha.org/index.php/halacv.15n.1(2025) ISSN 2237-2717 https://doi.org/10.32991/2237-2717.2025v15i1.p136-167

Marzano, K. (2022). *La política climática en Brasil*. https://dialogopolitico.org/edicion-especial-2019-politica-y-ambiente/la-politica-climatica-en-brasil

Organización de las Naciones Unidas. (2025). *Medio siglo de acción medioambiental*. https://www.un.org/es/observances/environment-day/background

Organización del Tratado de Cooperación Amazónica. (2021). *Tratado de cooperación amazónica.* https://otca.org/pt/wp-content/uploads/2021/03/TRATADO-DE-COOPERACION-AMAZONICA.pdf

Piñeros R. (2025). *23 organizaciones ambientales que debes conocer*. https://donorbox.org/nonprofit-blog/es/organizaciones-ambientales

Ponce-Vélez, G., Flores-Mondragón, G., & Gaspar-Ramírez, O. (2023). *Programa Nacional Estratégico Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes. Origen y evolución.* En Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Ed.), *Ciencias y Humanidades* (Año 3, Núm. 9 especial, pp. 34-45) CONAHCYT. https://conahcyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1000/47?

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019, 14 de abril). *La Alianza del Pacífico y el medio ambiente: Hacia un modelo de desarrollo sostenible basado en el crecimiento verde.* https://www.unep.org/es/resources/informe-de-politicas/la-alianza-del-pacifico-y-el-medio-ambiente-hacia-un-modelo-de

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2023, 13 de septiembre). *Gobernanza ambiental en América Latina y el Caribe*. https://www.unep.org/gobernanza-ambiental-en-america-latina-y-el-caribe

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2025, 3 de octubre). *Países de América Latina y el Caribe acuerdan una ambiciosa agenda ambiental para la región*. https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/paises-de-america-latina-y-el-caribe-acuerdan-una

Secretaría Distrital de Ambiente. (2023). *Políticas Públicas Ambientales*. Bogotá. https://www.ambientebogota.gov.co/politicas-ambientales

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *La política ambiental de la Cuarta Transformación.* https://www.gob.mx/semarnat/articulos/la-politica-ambiental-de-la-cuarta-transformacion?

Solorio, I., & Miranda, C. (2019). La integración de políticas ambientales y climáticas en México: el camino hacia una agenda de investigación para las ciencias político-administrativas. *Encrucijada: Revista Electrónica del Centro de Estudios en Administración Pública*, *(32)*, 50–74. https://doi.org/10.22201/fcpys.20071949e.2019.32.68960

Vizeu P. M., Rojas S. L., Long, S. C., & Ponce, A. (2020). *Indicadores de gobernanza ambiental para América Latina y el Caribe*. En E. Caudillo, E. Frerichs, A. M. Fuentes, K. González, & J.A. Morales (Eds.). https://doi.org/10.18235/0002398

Capítulo 2. Gobernanza ecológica y digitalización de las políticas públicas: innovación institucional para la sostenibilidad y la transparencia ambiental.

Dra. María de la Luz Guevara Calderón[1]

Resumen

La creciente crisis ambiental ha obligado a los gobiernos a replantear la manera en que protegen un derecho tan esencial como el acceso a un medio ambiente sano. En este contexto la gobernanza ecológica surge como un modelo que busca integrar a instituciones, comunidades y ciudadanos en la toma de decisiones, reconociendo que la sostenibilidad no puede depender únicamente de la voluntad gubernamental. La digitalización de las políticas públicas que apenas hace unos años parecía un horizonte lejano hoy se convierte en una herramienta capaz de transformar esta gobernanza: permite monitorear fenómenos ambientales en tiempo real, abrir información antes inaccesible y fortalecer la transparencia que tanta falta hace en América Latina.

Sin embargo, esta transición no está exenta de tensiones. Persiste una brecha digital que deja a muchos fuera de la conversación; hay temores legítimos sobre el uso ético de la inteligencia artificial, y los marcos normativos suelen avanzar más lento que la tecnología. El estudio analiza estos desafíos a partir del caso de México, España y Brasil, utilizando métodos cualitativos, análisis documental y una comparación crítica para reconocer avances, vacíos y oportunidades reales de mejora.

Los hallazgos muestran que la digitalización puede impulsar una gobernanza ecológica más justa y eficiente, pero solo cuando se acompaña de innovación institucional, reglas claras y un compromiso genuino con la inclusión. En síntesis, la tecnología abre puertas, pero es la

[1] Doctora en Derecho]. [Docente de carrera y de posgrado] en [Universidad Autónoma de Tamaulipas], [México]. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4599-9263 ; Scopus: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59667916300 ; correo electrónico: [mlguevara@uat.edu.mx]

voluntad política y la participación social lo que realmente define si esas puertas conducen a un futuro sostenible.

*Anote a continuación 3 o 4 palabras clave.

Palabras clave: gobernanza ecológica, digitalización, políticas públicas ambientales, transparencia, sostenibilidad.

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

Introducción

El gobierno tiene la atribución de garantizar en el ámbito de sus competencias que las personas gocen de un medio ambiente sano, este considerado como un bien público, su protección consiste en la toma de decisiones que abarca la adopción de mejores prácticas, programas y políticas públicas que establezcan las principales acciones de gestión de los recursos naturales, para ello es importante el cumplimiento de la legislación en la materia, tanto a nivel internacional como nacional.

Los objetivos principales del documento, es conocer la gobernanza ecológica en América Latina y la eficacia de la transición a políticas públicas digitalizadas que generen innovación para la sostenibilidad y la transparencia ambiental, sustentado en los métodos cualitativo y de análisis.

Ante el aumento de la crisis ambiental, se impulsa la necesidad de adoptar modelos de gobernanza que integren la participación de toda la sociedad e instituciones fortaleciendo la toma de decisiones, así surge la gobernanza ecológica como respuesta de las acciones implementadas entre gobiernos, comunidades y organizaciones. Por ello, la digitalización, moldea la forma en que se gestionan las políticas ambientales al incluir el monitoreo de fenómenos que afectan el clima en tiempo real y promueve la transparencia.

A pesar de esto, también existen diversos retos a los que se enfrentan, tales como los éticos, desigualdades y la actualización del marco normativo que garantice el uso responsable, inclusivo y sostenible, se verá cómo algunos países de América Latina han establecido políticas públicas alineadas a Programas internacionales y nacionales que contribuyen al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

Planteamiento del problema

En el contexto global de crisis climática, la gobernanza ecológica se ha convertido en un eje fundamental para la protección del medio ambiente y para la gestión sostenible de los recursos naturales. Sin embargo, en América Latina persisten deficiencias estructurales que limitan la eficacia de las políticas ambientales, entre ellas la falta de transparencia, la baja coordinación interinstitucional, la limitada participación ciudadana y la insuficiente capacidad normativa para responder al rápido avance tecnológico.

La digitalización de las políticas públicas ofrece oportunidades significativas para mejorar la eficiencia administrativa, fortalecer la rendición de cuentas, ampliar el acceso a la información y optimizar el monitoreo ambiental mediante datos en tiempo real, plataformas de datos abiertos, sistemas geoespaciales e inteligencia artificial. No obstante, su implementación enfrenta desafíos como las brechas tecnológicas, la desigualdad en el acceso digital, los riesgos éticos de la inteligencia artificial, la protección de datos, la contaminación digital y la resistencia institucional al cambio.

Aunque países como México, España y Brasil han desarrollado avances importantes en políticas digitalizadas y sistemas de transparencia, aún no existe una evaluación integral que permita determinar hasta qué punto la digitalización genera innovación institucional real, contribuye a la sostenibilidad y fortalece la gobernanza ecológica. Surge entonces el problema central: ¿Cómo puede la digitalización de las políticas públicas convertirse efectivamente en un mecanismo de innovación institucional que mejore la sostenibilidad y la transparencia ambiental en América Latina ante los retos actuales de equidad tecnológica, ética, participación social y marco normativo?

Objetivo general

Analizar como la digitalización de las políticas públicas contribuye a fortalecer la gobernanza ecológica mediante la innovación institucional orientada a la sostenibilidad y la transparencia ambiental, a partir del estudio de los casos de México, España y Brasil, identificando sus avances, limitaciones y oportunidades de mejora.

Hipótesis

La digitalización de las políticas públicas ambientales fortalece la gobernanza ecológica al mejorar la transparencia, la participación ciudadana y la eficiencia administrativa, siempre que exista un marco normativo adecuado, mecanismos de protección de datos, capacitación institucional y estrategias que reduzcan la brecha tecnológica. En ausencia de estas condiciones, la digitalización genera desigualdades, riesgos éticos y limitaciones que impiden su contribución efectiva a la sostenibilidad.

Metodología

La investigación se desarrollará mediante un enfoque cualitativo, apoyado en análisis documental y comparado, con las siguientes etapas:

a) Método cualitativo

Se empleará un análisis conceptual, normativo y contextual de la gobernanza ecológica y la digitalización, revisando teorías, principios y directrices de organismos internacionales (OCDE, ONU, UNESCO, UICN, Acuerdo de Escazú).

b) Análisis documental

Se sistematizará información proveniente de:

- ✓ Legislación y políticas públicas nacionales de México, España y Brasil.
- ✓ Documentos técnicos, diagnósticos y reportes institucionales.
- ✓ Artículos científicos y literatura especializada en gobernanza, tecnología y sostenibilidad.
- ✓ Plataformas digitales oficiales relacionadas con datos abiertos, monitoreo ambiental e inteligencia artificial.

c) Método comparado

Se compararán los avances, políticas, herramientas digitales, fortalezas y retos de los tres países seleccionados. El análisis comparado permitirá identificar:

- ✓ Estrategias institucionales digitales exitosas.
- ✓ Vacíos o limitaciones en participación, transparencia y eficiencia.
- ✓ Buenas prácticas replicables en América Latina.

d) Análisis crítico descriptivo

Se realizará la integración analítica de los hallazgos para evaluar si la digitalización efectivamente genera innovación institucional y contribuye al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

1. Marco conceptual y normativo

1.1. Gobernanza ecológica

Se partirá de forma inicial con la definición de la gobernanza, la cual es una palabra que se ha venido utilizando como un sinónimo de gobierno, la Real Academia Española, la define como la forma de gobernar, especialmente si es eficaz y adecuada a los fines que se persiguen. (RAE, 2024). Aunque en la teoría tiene diversos conceptos, es bien conocido que la gobernanza abarca contextos de gobernabilidad.

En la actualidad, es trascendental que las autoridades respondan de manera positiva a los requerimientos sociales que evolucionan conforme pasan los años, y la atención al medio ambiente es uno de ellos, la ecología por tanto es la ciencia que se encarga del estudio de la relación entre las personas y su entorno, ante esta particularidad, la gestión pública enfrenta grandes retos para la solución de problemas específicos, demostrando así la capacidad de respuesta.

La gobernanza ecológica es entonces el conjunto de procesos, mecanismos y organizaciones a través de los cuales los actores políticos y sociales influyen en las acciones y resultados medioambientales. Esto incluye a actores como el Estado, comunidades, empresas y organizaciones de la sociedad civil (Moreno, 2013 citado por Montoya y Rojas, 2016, p. 311). Partiendo de este concepto, se visualiza que, a través de esta gobernanza, los estados

tienen la obligación de estructurar programas de cooperación regional que tengan por objeto implementar todas aquellas medidas de adaptación y mitigación de problemas relacionados con el cambio climático, detrimento de la biodiversidad, acceso a recursos naturales, entre otros, solo mediante esta cooperación podrá concretarse en las políticas, programas y planes a implementarse.

En este sentido, la gobernanza se rige bajo ciertos principios que al final va a demostrar que lo realizado tenga éxito o no, estos principios como en toda materia, son la base fundamental en el actuar de las autoridades, a continuación, el Consejo Económico y Social (2018) los precisa:

- Competencia: Para llevar a cabo sus funciones con eficacia, las instituciones deben tener conocimientos especializados, recursos e instrumentos suficientes para ejecutar adecuadamente los mandatos que tienen encomendados.
- Formulación de políticas sólidas: Para que den los resultados previstos, las políticas públicas deben ser coherentes entre sí y tener una motivación real y bien fundada, plenamente acorde con los hechos, la razón y el sentido común.
- Colaboración: Para resolver los problemas de interés común, las instituciones de todos los niveles de gobierno y de todos los sectores deben trabajar juntas y en colaboración con las instancias no estatales con el mismo fin, propósito y efecto.
- Integridad: Para servir al interés público, los funcionarios deben desempeñar sus funciones oficiales con honradez y equidad y con arreglo a principios morales sólidos.
- Transparencia: Para asegurar la rendición de cuentas y posibilitar el escrutinio público, las instituciones deben realizar su labor de manera abierta y franca y facilitar el acceso a la información, a reserva únicamente de las excepciones limitadas y concretas establecidas por ley.
- Supervisión independiente: Para mantener la confianza en las estructuras de gobierno, los organismos de supervisión deben actuar con arreglo a consideraciones estrictamente profesionales, de manera independiente y sin dejarse influir por terceros
- Inclusividad, no dejar a nadie atrás: A fin de velar por que todos los seres humanos puedan realizar su potencial con dignidad e igualdad, las políticas públicas deben tener en cuenta las necesidades y aspiraciones de todos los segmentos de la sociedad,

incluidos los más pobres y los más vulnerables, y los que son objeto de discriminación.

- No discriminación: A fin de respetar, proteger y promover los derechos humanos y las libertades fundamentales de todas las personas, se debe garantizar un acceso a la función pública en condiciones generales de igualdad, sin distinción alguna de raza, color, sexo, idioma, religión, opinión política o de cualquier otra índole, origen nacional o social, posición económica, nacimiento, discapacidad o cualquier otra condición.
- Participación: Para que el Estado sea eficaz, todos los grupos políticos relevantes deben intervenir activamente en los asuntos que les conciernan directamente y tener la oportunidad de influir en las políticas.
- Subsidiariedad: Para promover administraciones que respondan a las necesidades y aspiraciones de todas las personas, las autoridades centrales deben realizar únicamente las tareas que no se puedan llevar a cabo con eficacia a un nivel más intermedio o local.
- Equidad entre generaciones: A fin de promover la prosperidad y la calidad de vida de todos, las instituciones deben adoptar medidas administrativas que concilien las necesidades a corto plazo de la generación actual y las necesidades a más largo plazo de las generaciones futuras (pp. 1-3).

Estos principios de gobernanza son los específicos para el desarrollo sostenible, sin embargo, la gobernanza ecológica se encuentra estrechamente relacionada al ser un componente clave para este desarrollo.

1.2. Transparencia y rendición de cuentas en la política ambiental

En todos los ámbitos se deben generar las condiciones para cumplir con la obligación de transparentar y rendir cuentas, estos principios enmarcan la buena gobernanza ecológica y ambiental, al respecto, la Declaración Mundial de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) acerca del Estado de Derecho en materia ambiental (2016) establece entre estos, el respeto a los derechos humanos; medidas para asegurar el cumplimiento efectivo del orden público ambiental; reglas eficaces sobre el acceso equitativo a la información, la participación pública en la toma de decisiones y el acceso a la justicia

ambiental; la auditoría ambiental y la elaboración de informes, junto con otros mecanismos eficaces de rendición de cuentas, transparencia, ética, integridad y lucha contra la corrupción (pp. 2-3). En su conjunto conforman las principales directrices para que las personas tengan acceso a conocer el actuar de organismos e instituciones que trabajan entorno a ello, garantizando así la toma de decisiones, contribuyendo a la obtención de la confianza de las personas, respondiendo a la gestión responsable de los recursos naturales.

La transparencia en políticas ambientales simboliza una característica trascendente en el aseguramiento de acciones que realiza la autoridad al dar respuesta al interés público, la información que trascienda de impactos, riesgos, decisiones se deben comunicar de manera clara y oportuna, manteniendo la vinculación y confianza para la comprensión de las políticas públicas que se implementan. Además, permite sostener diálogos equitativos entre las propias instituciones u organismos especializados.

En ese contexto, la rendición de cuentas se suma con la responsabilidad de dar a conocer los resultados que arroja la implementación de las políticas, programas o acciones; aquí la participación de la sociedad se pueden realizar propuestas de mejora y actualizaciones, en todo o en parte de esta.

1.3. Marco jurídico e institucional en América Latina

La gobernanza ecológica en América Latina es una prioridad actual ante el aumento de la presión sobre ecosistemas, el cambio climático y el desarrollo sostenible, para ello cada uno de los países debe responder a través de su marco jurídico que integre los principios del medio ambiente, los compromisos que se toman a nivel internacional y mecanismos de transparencia, rendición de cuentas y la participación ciudadana, lo que mejora al aplicarse tal y como se establece en la norma, solo mediante esto, se amplía la protección del reconocimiento a un medio ambiente sano y el llevar a cabo políticas alineadas a los objetivos de desarrollo sostenible y el acuerdo de París.

Los países latinoamericanos se caracterizan por incorporar modelos internacionales, particularmente a partir del Acuerdo de Escazú (2021), que es el primer documentos del medio ambiente entorno a la región y tiene por objeto garantizar el derecho al acceso a la información, la participación pública y la justicia ambiental, así mismo ha contribuido a reformas que se orientan al fortalecimiento de las capacidades de los Estados para dar a

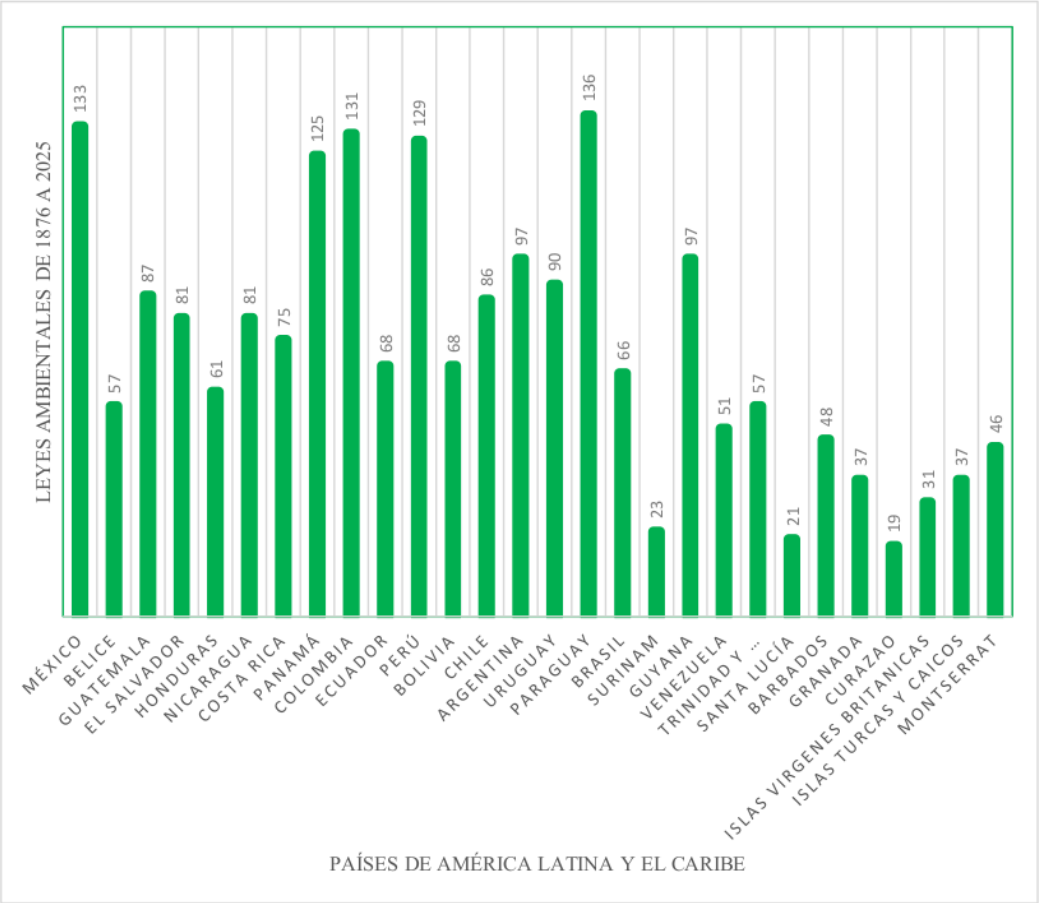
conocer datos importantes, mejorar la participación social en la toma de decisiones y la protección de personas defensoras del medio ambiente, de igual forma promueve en las instituciones que se encargan de la protección del medio ambiente, la incorporación de herramientas tecnológicas que faciliten la toma de decisiones, monitoreo de impactos y rendición de cuentas pública.

Un tema por destacar es la digitalización de las políticas públicas, que viene a modernizar el quehacer en la materia, existen claros ejemplos como las plataformas o sistemas de gobierno digital, sistemas de datos abiertos, tecnologías de información geoespacial y herramientas de inteligencia artificial que se aplican directamente a la gestión ambiental.

Lo anterior, permite avanzar hacia una mejor eficiencia administrativa, facilitar el monitoreo y fortalecer la coordinación entre las instituciones, por lo que es posible ver países como México, Brasil, Colombia y Chile, que cuentan con observatorios climáticos y portales de transparencia, lo que favorece el transitar hacia una gobernanza accesible y cercana a todas las personas, basada en evidencia.

Entonces la relación entre gobernanza ecológica y la transformación digital, genera procesos innovadores que cambian la forma de planificación, implementación y evaluación de los Estados, además la armonización de la normativa, instauración de unidades especializadas, capacitación de funcionarios públicos y personal administrativo, así mismo, los mecanismos de participación digital. A continuación, en la Gráfica 1, se observa la cantidad de legislación ambiental generada desde el año de 1876 hasta el 2025 en países de América Latina y el Caribe, a saber (país: número de leyes ambientales): México: 133, Belice: 57, Guatemala: 87, El Salvador: 81, Honduras: 61, Nicaragua: 81, Costa Rica: 75, Panamá: 125, Colombia: 131, Ecuador: 68, Perú: 129, Bolivia: 68, Chile: 86, Argentina: 97, Uruguay: 90, Paraguay: 136, Brasil: 66, Surinam: 23, Guyana: 97, Venezuela: 51, Trinidad y Tobago: 57. Santa Lucía: 21, Barbados: 48, Granada: 37, Curazao: 19, Islas Vírgenes Británicas: 31, Islas Turcas y Caicos: 37 y Montserrat: 46, lo anterior con información del Monitor Legislativo [En línea], emitida por el Observatorio Parlamentario de Cambio Climático y Transición Justa (2025).

Gráfica1. Legislación Ambiental vigente en América Latina y el Caribe desde 1876 hasta 2025:



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Los países que han legislado mayormente son: Paraguay, México, Colombia, Perú y Panamá en los temas derecho ambiental marco, ecosistemas, biodiversidad y áreas protegidas, agricultura, silvicultura, ganadería y sistema alimentario, gestión de desastres, salud, agua, vivienda e infraestructura, minería, residuos y economía circular y energía.

2. Digitalización e innovación tecnológica en la gestión ambiental

2.1. Herramientas digitales para monitoreo y control ambiental

La digitalización trae consigo múltiples beneficios para toda la población en cualquier ámbito que se pueda imaginar, sin embargo, para el medio ambiente, ha traído grandes ventajas, conforme lo menciona SAP Concur (2024):

- Reducción del uso de recursos naturales.
- Mitigación de emisiones de carbono.
- Gestión eficiente de recursos.
- Conservación de la biodiversidad.
- Promoción de la agricultura sostenible.
- Reducción del desperdicio de alimentos.
- Proceso de digitalización que hacen a las empresas más sostenibles.
- Oficina sin papel.
- Teletrabajo y reuniones virtuales.
- Eficiencia energética en instalaciones.
- Gestión de la cadena de suministro.
- Gestión de residuos.
- Monitoreo ambiental.

A pesar de estas ventajas algunos autores opinan que las tecnologías digitales no siempre tienen un impacto positivo en la sostenibilidad. Por ejemplo, la contaminación digital representa, aproximadamente, el 4% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, cifra que supera el porcentaje de las emisiones ocasionadas por la industria de la aviación (Anderson y Caimi citados por Binder y Wade, 2025), pero ante estos retos, los países se encuentran buscando las formas de mejorar en cada uno de los contextos en los que las herramientas tecnológicas sean de aporte positivo y sobre todo de protección al medio ambiente.

Por su parte Cortés y Lemus (2023), comentan que, en contraposición a lo anterior, se reconoce que la recopilación de datos y procesamiento digital es una forma eficaz en la que las organizaciones pueden tomar acciones para reducir la contaminación. A mayor cantidad de información disponible para la toma de decisiones, se pueden desarrollar acciones que permitan lograr la neutralidad del carbono, mejorar la gestión desde la perspectiva ambiental en las organizaciones y, por supuesto, desarrollar acciones hacía la eficiencia energética.

Ahora bien, con la llegada de la Inteligencia Artificial se abren nuevas posibilidades de consolidar la tarea de la protección al medio ambiente en el diseño de propuestas de políticas públicas, generando con ello una mayor y eficaz prontitud en su creación, implementación y evaluación.

Para Ikusi (2025), la inteligencia artificial está transformando la forma en que las empresas monitorizan y gestionan su impacto ambiental. A través de sistemas avanzados de análisis de datos, las organizaciones pueden ahora implementar soluciones que permiten:

- Maximizar la eficiencia en el uso de recursos
- Identificar y reducir las fuentes de emisiones
- Implementar medidas preventivas basadas en datos
- Optimizar procesos para reducir el impacto ambiental

Además, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2025) al referirse al programa para el medio ambiente, sostiene que, al aprovechar la tecnología digital de manera responsable, es posible abordar varios desafíos ambientales, mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático y garantizar el bienestar del planeta y de las generaciones futuras.

2.2. Plataformas de datos abiertos y participación ciudadana

A lo largo del documento se ha estado hablando sobre la transparencia y la rendición de cuentas, estas dos actividades cumplen con el objetivo de acercar a la población a conocer los datos para que puedan consultar y en su caso analizar la información generada sobre los recursos ambientales, emisiones, uso de suelo y el cumplimiento normativo, estableciéndose para tal efecto el uso de plataformas o sistemas.

Chávez G. y Mantuano G. (2024), señalan que, al involucrar a todas las partes interesadas, se fomenta la colaboración y se fortalece la legitimidad de las políticas y acciones gubernamentales (p. 270).

Es bien sabido que la participación ciudadana puede intervenir de diferentes maneras, tales como la vigilancia de problemas con el medio ambiente, uso de indicadores para la formulación de propuestas, investigaciones, todo con el fin de incidir en la toma de decisiones, pero para que tenga un impacto considerable, la participación ciudadana necesita

de herramientas de visualización que sean accesibles, capacitación digital, existen muchas personas que no pueden acceder a estos datos precisamente por la falta de conocimiento de cómo se pueden consultar.

3. Impacto de la transformación digital en la gobernanza ecológica

3.1. Eficiencia y eficacia administrativa

La digitalización mejora la eficacia y eficiencia administrativa, tomando en cuenta que son procesos mucho más rápidos con menos costos, se cumplen con las metas desarrolladas para la gobernanza ecológica, a lo largo de estos años, las Organizaciones Internacionales puntualizan que el gobierno digital y buenas prácticas, aumentan la capacidad para el diseño de políticas basadas en evidencias.

Guevara (2025), aporta que la tecnología y el medio ambiente tienen una relación compleja, esto se debe a que la tecnología puede dañar y beneficiar al medio ambiente, dependiendo de cómo se use. Por un lado, los avances tecnológicos nos han permitido acceder a más recursos y mejorar nuestra calidad de vida. Por otro lado, también ha provocado la degradación ambiental debido a la contaminación, el consumo excesivo de recursos y el cambio climático. La clave para comprender esta relación es reconocer el impacto de la tecnología en el medio ambiente, vista como una herramienta que se puede utilizar tanto para buenos como para malos propósitos.

Siempre van a existir esos riesgos y desafíos, más los que se vayan sumando conforme avanza la tecnología y en específico la digitalización de las políticas públicas.

3.2. Riesgos éticos y desafíos de equidad tecnológica

Como en toda materia, estos riesgos y desafíos van a presentarse, si bien la digitalización de las políticas públicas ambientales ofrece oportunidades trascendentes en la mejora de los procesos de monitoreo, evaluación y participación, a su vez presenta riesgos que deben ser considerados como una parte integral de la gobernanza ecológica.

En el caso de la Inteligencia Artificial, la UNESCO (2025), precisa diez principios básicos de la IA basados en derechos humanos:

1. Proporcionalidad e inocuidad.
2. Seguridad y protección.
3. Derecho a la intimidad y protección de datos.
4. Gobernanza y colaboración adaptativas y de múltiples partes interesadas.
5. Responsabilidad y rendición de cuentas.
6. Transparencia y explicabilidad.
7. Supervisión y decisión humanas.
8. Sostenibilidad.
9. Sensibilización y educación.
10. Equidad y no discriminación.

En resumen, estos principios respaldan el marco esencial que sirve de orientación en el desarrollo y el uso de las tecnologías en la sociedad, la base de esta integración va a permitir el equilibrio de la innovación en la protección de derechos para asegurar sistemas que sean más seguros, transparentes y equitativos. De esta forma, promoverán una gobernanza participativa y la supervisión humana, lo que reforzará la confianza de las personas,

3.3. Casos destacados: México, España y Brasil

Los países con casos concretos que destacan a nivel mundial son México, España y Brasil, quienes cuentan con políticas públicas digitalizadas y sistemas de rendición de cuentas y transparencia bien delimitados, los cuales son líderes en algunos de los siguientes sectores:

Señalan los autores Ortiz et. al. (2014), que en México, la lucha por un modelo de desarrollo ambiental y socialmente más sustentable debe forzosamente incluir un proyecto de desarrollo tecnológico que reformule la manera en que la tecnología se diseña, crea, disemina, adopta e integra a largo plazo en la sociedad; un modelo que contribuya a la reducción de la pobreza y vulnerabilidad de la población en las áreas rurales, olvidadas por el modelo tecnológico actual a pesar de tener las más agudas carencias en necesidades básicas y las ecotecnologías buscan hacer eso en el País (p. 7). Este país incorpora objetivos ambientales en sus documentos de política de compras públicas y establece metas cuantitativas para la contratación pública verde con el fin de hacerlos operativos y monitorear el progreso en la materia. En comparación, 24 de los 35 países de la OCDE (69%) con datos disponibles definen metas cuantitativas, mientras que 11 (31%) no las tienen (OECD, 2025) .

En el caso de España, es posible observar que los sectores que se abarcan son mucho mayores que otros países y uno de los principales problemas u obstáculos para su desarrollo es la resistencia al cambio, el Observatorio de la Digitalización del Sector Agroalimentario Español (2024), resalta que la capacitación es además otro factor clave que limita la adopción de la transformación digital. Implementar tecnologías avanzadas requiere un nivel de conocimientos y habilidades que no todas las personas del sector agrícola poseen. Aunque existen iniciativas para promover la formación digital en el sector, la brecha entre las competencias actuales y las exigidas por las nuevas tecnologías sigue siendo significativa (p. 5). Expresa el Comité Técnico del Congreso Nacional del Medio Ambiente (2025), que digitalizar no es simplemente "acumular más tecnología". Digitalizar implica progreso porque descarga labores manuales en procesos automáticos, eliminando trabajos repetitivos y errores humanos y liberando nuevas formas de pensar que permitan avanzar a las organizaciones dentro del ecosistema y, en muchos casos, aumentar su productividad y rentabilidad (p.5).

Por su parte, Brasil, actualmente cuenta con el Plan de transformación ecológica, el cual tiene por objetivo, establecer el conjunto de medidas genera impactos significativos en la reducción de las emisiones y el crecimiento económico; según datos del Gobierno de Brasil (2024), el plan impulsa el PIB con un crecimiento adicional del 0.4% adicional. En ese sentido la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2025) establece que el país propone la creación de una infraestructura digital pública global para acelerar la acción frente al cambio climático.

Tabla 1. Países que destacan en la Digitalización e innovación tecnológica en la gestión ambiental.

País	**Sector**
México	Energía, agua, manejo de residuos, alimentación y vivienda.
España	Agrícola, energía, movilidad, renovación urbana, desarrollo rural, biodiversidad, agua, calidad ambiental, residuos, economía y sociedad.
Brasil	Bioeconomía, industria verde y transición energética.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De esta forma, los tres países coinciden en que la sostenibilidad tecnológica necesita una combinación con equilibrio de la inclusión social, fortalecimiento de las capacidades a través de la capacitación, adopción cultural del cambio y la implementación de políticas públicas. Todos estos elementos no pueden omitirse o dejar pasar, debido a que se corren graves riesgos de desigualdades o el desarrollo de manera fragmentada.

4. Propuesta de modelo de gobernanza ecológica digital

4.1. Integración de tecnologías sostenibles en la política pública

Todo proceso de transición hacia la gobernanza ambiental exige el plantear a la tecnología como un componente estratégico para el diseño de implementación de las políticas pública, bajo ese contexto la sostenibilidad tecnológica podrá convertirse en el eje central donde se aborden los principales problemas que puedan presentarse. Esta incorporación de herramientas digitales posibilita la toma de decisiones, la participación ciudadana y la transparencia.

La CEPAL (2025), indica que la correcta confluencia de las políticas públicas y la tecnología avanzada representa una oportunidad única para que los Gobiernos promuevan un desarrollo inclusivo, sostenible y orientado al futuro (p.7). Se vuelve fundamental que los gobiernos sumen esfuerzos para el fortalecimiento de las capacidades técnicas y operativas, donde se asegure que las herramientas tecnológicas promuevan también una gestión ambiental justa y eficiente.

4.2. Implicaciones para el cumplimiento de los ODS y PRONACES

Las implicaciones para el cumplimiento de los ODS, consisten en que la gobernanza digital viene a incrementar el cumplimiento de los mismos, aportar datos para su planificación, el seguimiento, la transparencia y rendición de cuentas. Estos ODS se adoptaron el 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años (ONU, 2025).

Conforme al aporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2025) indica que todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) pueden verse afectados positiva o negativamente por la tecnología digital: Alrededor de 103 de las 169 metas de los ODS pueden verse directamente influenciadas por una combinación de siete tecnologías digitales. Estos incluyen acceso digital, Internet rápido, nube, Internet de las cosas, inteligencia artificial, realidad extendida y blockchain, el contexto de la política digital es vital. Si bien las tecnologías digitales prometen catalizar y acelerar el progreso de los ODS, solo son efectivas en un contexto político más amplio. Establecer un entorno propicio y los incentivos adecuados será vital para establecer una dirección hacia formas de vida y trabajo más ecológicas, y para dar forma al desarrollo tecnológico hacia resultados positivos para el planeta. La labor del Programa consiste en evaluar las condiciones y las tendencias ambientales a nivel mundial, regional y nacional; elaborar instrumentos ambientales internacionales y nacionales; y fortalecer las instituciones para la gestión racional del medio ambiente (ONU y Estado de Derecho, 2025).

Por su parte, los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES), organizarán los esfuerzos de investigación sobre problemáticas nacionales concretas que, por su importancia y gravedad, requieren de una atención urgente y de una solución integral, profunda y amplia. Irán del planteamiento del problema o el reto a la articulación de capacidades científico-técnicas y la colaboración con otros actores sociales, tanto del sector público como del privado, para establecer proyectos con metas de corto, mediano y largo plazo, que conduzcan a la solución de algún problema en cuestión (Gobierno de México, 2019).

La relación entre los ODS y PRONACES, en palabras de López et. al. (2024), el origen de los PRONACES, el cuál es la Agenda 2030, en donde se observa que estos forman parte de los ODS (Agenda 2030). Además, los PRONACES todos están enfocados en el ámbito nacional, esto es algo normal, sin embargo, es importante que estos programas puedan conectarse con otros países o regiones ya sea para un mejor desarrollo o para beneficiar a otras sociedades que lo requieran (p. 1884).

A través de esta perspectiva, es que se requiere de acciones inmediatas, las herramientas digitales son la vía para impulsar la aplicación de los ODS y PRONACES en la gobernanza, mismas que van a permitir el alcance de los objetivos.

Conclusiones

La digitalización de las políticas públicas constituye un elemento clave para fortalecer la gobernanza ecológica, al permitir monitoreo ambiental en tiempo real, decisiones basadas en evidencia y una mayor transparencia en la gestión estatal. Los casos de México, España y Brasil muestran avances significativos en datos abiertos, sistemas geoespaciales e inteligencia artificial aplicada al ambiente.

La innovación institucional derivada de la digitalización depende de factores normativos, éticos y de equidad tecnológica. En ausencia de marcos regulatorios robustos, supervisión independiente y mecanismos de protección de datos, las herramientas digitales pueden generar riesgos para la privacidad, desigualdad en acceso y falta de legitimidad.

La participación ciudadana se fortalece cuando existen plataformas accesibles, capacitación digital y datos abiertos confiables. Sin embargo, la brecha tecnológica sigue siendo un obstáculo en América Latina, lo que confirma que la digitalización por sí sola no garantiza inclusión.

La eficiencia administrativa mejora sustancialmente con la transformación digital, pero su impacto depende del grado de coordinación interinstitucional y de la capacidad de los gobiernos para integrar tecnologías emergentes con procesos de toma de decisiones transparentes y responsables.

Los compromisos internacionales y nacionales deben contener acciones coordinadas que logren el impulso del desarrollo sostenible desde una perspectiva integral, a través de este equilibrio, entre la innovación tecnológica, responsabilidad pública y participación ciudadana es posible lograr la consolidación de sociedades más justas, resilientes comprometidas con la protección del medio ambiente.

La hipótesis se confirma parcialmente dado que la digitalización sí fortalece la gobernanza ecológica, pero únicamente cuando se acompaña de normativas claras, políticas de equidad digital, ética en el uso de inteligencia artificial y mecanismos sólidos de transparencia y participación. En su ausencia, los beneficios se diluyen y pueden profundizarse desigualdades o riesgos ambientales.

Finalmente, la digitalización representa una oportunidad estratégica para avanzar hacia la sostenibilidad ambiental, pero requiere innovación institucional continua, inversión pública, educación digital y compromiso político para garantizar una gobernanza ecológica inclusiva, eficaz y basada en evidencia.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Binder J. & Wade M. (2025). *Tecnologías digitales para proteger el planeta*. Instituto para el Futuro de la Educación, Tecnológico de Monterrey (SSIRES). https://ssires.tec.mx/es/noticia/tecnologias-digitales-para-proteger-el-planeta

Chávez G. & Mantuano G. (2024). Participación ciudadana como premisa de transparencia en el ciclo de formulación de políticas públicas. Aportes de los paradigmas gobierno abierto y gobernanza. *593 Digital Publisher CEIT*, *9*(4), 268-285, https://doi.org/10.33386/593dp.2024.4.2519

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2025). *Guía para el establecimiento de un marco de gobernanza de gobierno digital para países de América Latina y el Caribe*. https://mexico.un.org/sites/default/files/2025-09/S2500170_es.pdf

Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas. (2018). *Principios de gobernanza eficaz para el desarrollo sostenible*. (Documentos Oficiales, 2018 Suplemento núm. 24). https://publicadministration.desa.un.org/sites/default/files/cepa-sessions/Principles_of_effective_governance_spanish.pdf

Comité Técnico del Congreso Nacional del Medio Ambiente. (2025). *Estudio del estado del arte de la digitalización de la cadena de valor del residuo, CT-37 "Transformación digital de la cadena de valor del residuo"*. https://www.conama.org/conama/download/files/conama2024/STs%202024/ST-37_Transformaci%C3%B3n%20Digital.pdf

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2025). *Brasil propone la creación de una infraestructura digital pública global para acelerar la acción frente al cambio climático*. https://cop30.br/es/noticias-de-la-cop30/brasil-propone-la-creacion-de-una-infraestructura-digital-publica-global-para-acelerar-la-accion-frente-al-cambio-climatico

Cortés, H. & Lemus, L. (2023). Transformación Digital en la gestión ambiental para la sustentabilidad. Libro digital *Transformación Digital: Experiencias colectivas*. Editorial Universidad Nacional de Colombia https://bookdown.org/edicioneditorial_nal/transformaciondigital/cap08.html

Gobierno de Brasil. (2024). *El Plan de Transformación Ecológica impulsa el PIB con un crecimiento adicional del 0,4% anual.* https://www.gov.br/secom/es/ultimas-noticias/2024/10/el-plan-de-transformacion-ecologica-impulsa-el-pib-con-un-crecimiento-adicional-del-0-4-anual

Gobierno de México. (2019). *Los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES).* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/448752/Programas_Nacionales_Estrat_gicos.pdf

Guevara, D. (2025). *Conoce la relación entre la tecnología y el medio ambiente: ¿nos está ayudando a crear un futuro sostenible?* https://www.greentecher.com/relacion-entre-la-tecnologia-y-el-medio-ambiente/?srsltid=AfmBOoqHUp_HHPiTn82DmRVejAkFXV10rvsB8oJu6Kvw6azZlOPr69KF

Ikusi Velatia. (2025). *Revolución sostenible: Cómo la IA está redefiniendo la gestión ambiental empresarial.* https://www.ikusi.com/es/blog/revolucion-sostenible-como-la-ia-esta-redefiniendo-la-gestion-ambiental-empresarial/

López, J., Berdón, V. & Girmaldo C. (2024). Relación entre los Programas Nacional Estratégicos de Conahcyt y los Objetivos del Desarrollo Sostenible: Análisis Utilizando Atlas.Ti. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, ISSN 2707-2207, ISSN 2707-2215 (en línea), 8(3). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

Montoya, E. & Rojas, R. (2016). Elementos sobre la gobernanza y la gobernanza ambiental. *Gestión y Ambiente*, *19*(2), 302–317. https://doi.org/10.15446/ga.v19n2.58768

Observatorio de la Digitalización del Sector Agroalimentario Español (2024). *La Transformación Digital en la Agricultura Española*. https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/desarrollo-rural/temas/innovacion/digitalizacion/dtt-6-transformacion-digital-agricultura-espanola-ministerio.pdf

Observatorio Parlamentario de Cambio Climático y Transición Justa. (2025). *Monitor Legislativo.* https://opcc.cepal.org/es/monitor/legislacion-ambiental

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (2025). *Panorama del Gobierno 2025*. https://www.oecd.org/en/publications/government-at-a-glance-2025_0efd0bcd-en.html

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2025). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2025). *Ética de la inteligencia artificial*. https://www.unesco.org/es/artificial-intelligence/recommendation-ethics

Organización de las Naciones Unidas y Estado de Derecho (ONU y Estado de Derecho). (2025). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.* https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2025). *Ética de la inteligencia artificial*. https://www.unesco.org/es/artificial-intelligence/recommendation-ethics

Ortiz, J., Masera, O. & Fuentes, A. (2014). *La ecotecnología en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/La-Ecotecnolog--a-en-M--xico-ENE-2015-BR.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2025). *Digitalización para la sostenibilidad*. https://www.unep.org/es/topics/digital-transformations/digitalizacion-para-la-sostenibilidad

Real Academia Española (RAE). (2024). *Gobernanza*. En *Diccionario de la lengua española* (23.ª ed.). https://dle.rae.es/gobernanza

SAP Concur. (2024, 15 de mayo). *Ventajas de la digitalización para el medio ambiente*. https://www.concur.com.mx/blog/article/ventajas-de-la-digitalizacion-para-el-medio-ambiente?utm_source=

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Acuerdo de Escazú*: *Acciones de implementación en el sector ambiental*. https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/el-acuerdo-de-escazu

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2016). *Declaración Mundial de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) acerca del Estado de Derecho en materia ambiental.* https://accesopanam.org/wp-

content/uploads/2022/01/Declaracio%CC%81n-Mundial-de-la-UICN-acerca-del-Estado-de-Derecho-en-materia-ambiental-1.pdf

Capítulo 3. Breves apuntes históricos de la legislación del agua en México.

*Escriba a continuación los nombres completos,
sin abreviaturas, de los autores del capítulo y sus metadatos en nota al pie:

Dragustinovis Perales, Humberto Rubén [1]

Resumen

El capítulo tiene por objetivo exponer, desde una perspectiva histórico-jurídica, el proceso de configuración normativa de la legislación del agua en México, con el propósito de identificar las bases institucionales y legales que han regulado su acceso, control y aprovechamiento. A partir de un análisis que abarca el México independiente, el periodo porfirista y el siglo XX, se examina la transición del recurso hídrico desde un régimen de administración predominantemente local, sustentado en las facultades de ayuntamientos y entidades federativas, hacia un esquema de creciente centralización federal.

*Anote a continuación 3 o 4 palabras clave.

Palabras clave: legislación del agua, evolución normativa, administración hídrica, centralización estatal, dominio nacional.

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

1. Genesis legal del agua en México.

La continuidad del orden colonial y las primeras bases legislativas en torno al uso del agua.

En el México independiente del siglo XIX, el acceso, control y uso del agua no fue un tema central en la legislación federal, la gestión y administración del recurso hídrico estuvo

[1] Doctor en Derecho. Profesor de Carrera en la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2238-9737 ; ID's SCOPUS: 57212659023 Correo: hdragustinovis@docentes.uat.edu.mx]

delegado a los gobiernos estatales con base en el artículo 50, fracción XVII de la Constitución Federal de 1824, que otorgaba la facultad de establecer reglamentos para la regulación de aguas en presas, ante la disposición de las entidades federativas, se otorgó la potestad a los ayuntamientos para otorgar concesiones y derechos dentro de su circunscripción, fungiendo como las instituciones basicas en la administración del agua (Topete, 2022).

Durante las primeras décadas del México independiente, todas las solicitudes de arrendamiento, uso o aprovechamiento del agua se gestionaban inicialmente ante el ayuntamiento, que fungía como la autoridad competente en la administración local, la forma de gestión coincide con lo documentado en los estudios históricos, que señalan que desde el inicio del México independiente y hasta finales del siglo XIX la regulación y asignación del agua estuvo en manos de los ayuntamientos y las entidades federativas (Aboites et al., 2000; Palerm, 2004, citados en Jacobo-Marín, 2025).

La política fiscal incidió en la aprobación de la primera legislación federal en los asuntos del agua con el objetivo de fortalecer el ingreso de recursos a la hacienda pública (Bárcenas, 2023). Estas contribuciones fueron estipuladas en el decreto del 12 de septiembre de 1857 por parte del presidente Ignacio Comonfort, que establecía como contribuciones, rentas y bienes de los estados “los productos de los arrendamientos y venta de aguas”. Tal decreto, significó la regulación del recurso hídrico con la tendencia a favorecer las necesidades del uso privado y comercial en el país (Cárdenas, 1982).

De igual manera, la Constitución de 1857, en su artículo 72, hizo mención respecto a la facultad que tenía el Congreso de la Unión para dictar leyes sobre vías generales de comunicación, esta disposición incluía los asuntos del agua debido a que los ríos y lagos eran considerados como vías de comunicación, ya que gran parte de las solicitudes para la autorización del uso de sus aguas estaban relacionadas con la navegación para el tráfico de mercancías (Constitución Política de la República Mexicana, 1857, Art. 72), como fue estipulado en el Tratado de Paz, Amistad y Límites entre México y Estados Unidos del 2 de febrero de 1848, que a través de su artículo VII quedó acordado que el Río Bravo constituía una zona navegable de acceso libre, común de los buques y ciudadanos de ambos países, además de ser una ruta exenta de cualquier cobro o impuesto por efectos de tráfico de mercancías y personas (México y Estados Unidos, 1848, Art. VII). La Constitución de 1857

consideraba los cuerpos de agua, como ríos y lagos, principalmente por su función de rutas de transporte y comercio, delegando su regulación al Congreso de la Unión bajo la categoría de vías generales de comunicación.

Para finales del siglo XIX, el tema del agua no sólo estuvo involucrado con la política fiscal y las comunicaciones, comenzó a ser tratado desde la óptica del derecho civil. De esta manera, podemos identificar una segunda legislación sobre esta materia en el Código Civil para la Ciudad de México aprobado el 13 de diciembre de 1870 en donde se especificó en sus artículos 800 a 802 que los bienes de propiedad pública serían divididos en bienes de uso común y bienes propios (Suprema Corte de Justicia de la Nación, s.f.). Dentro de los primeros, se trataba de los bienes a los que tenía acceso la población del país, incluso quienes radicaban en la república mexicana en condición de extranjeros. Se incluía a los ríos de forma general, sin importar que fueran navegables, su cauce, las desembocaduras, los esteros, así como los lagos y lagunas que no pertenecieran a propiedades particulades, además de los puentes, canales y toda obra construida para dar cauce al recurso hídrico (Fontes, 2004).

En cuanto a los bienes privados, los artículos 893 a 901 estipulaban que los dueños de heredades confinantes a las riberas de los ríos podían hacer uso del agua que llegara a su propiedad en los periodos de crecida o por efecto de las corrientes de agua, y de igual manera, se menciona que los dueños de las heredades confinantes con las lagunas o estanques no podían adquirir el terreno descubierto por la disminución natural de las aguas, ni perdían su propiedad en caso de inundación con crecientes extraordinarias, siempre y cuando el dueño reclamara su propiedad en un período no mayor a dos años (Suprema Corte de Justicia de la Nación., s.f.). De este modo, el Código Civil de 1870 no solo reguló los cuerpos de agua como vías de comunicación y bienes de uso común, sino que también estableció límites y derechos precisos sobre las aguas que afectaban propiedades privadas de forma extraordinaria, con relación a figuras del derecho civil como la accesión (la forma en que la propiedad se extiende a lo que se une a ella), el aluvión y el desvío de sus causes.

Aunque el agua de los ríos y lagos se clasificaba como propiedad pública y de uso común (Artículos 800 a 802), el Código Civil de 1870 estableció restricciones rigurosas para el uso particular, garantizando la función pública y económica del recurso, las restricciones se detallaron en los Artículos 1067 y 1068, que prohibían de manera explícita el manejo del

agua que pudiera perjudicar la navegación o el riego público. De igual manera, se vetaba la realización de obras por parte de particulares cuando estas acciones impidieran el paso de barcos, balsas u otros medios de transporte fluvial, o cuando afectaran el cauce del río (Suprema Corte de Justicia de la Nación, s.f). De esta manera, la legislación de 1870 reafirmó la primacía del Estado sobre las aguas de dominio público: los propietarios con derechos de uso no podían imponerse a las obras realizadas por el gobierno, debido a que estas correspondían a las demandas y necesidades de la población o de los sectores económicos en materia de abastecimiento, navegación o infraestructura.

La legislación del agua en la política porfirista.

Durante el porfiriato se modificó sustancialmente el tema de la propiedad y el uso de los bienes públicos en los que se incluía el agua, esto como parte de la política de puertas abiertas al extranjero que, a través de excepciones de impuestos y facilidades en el aprovechamiento de los recursos naturales, incentivaba la inversión y la inyección de capitales de compañías principalmente europeas. Como parte de esta agenda política, se llevó a cabo la publicación del Código de Minas el 22 de noviembre de 1884 que otorgaba como propiedad de los dueños de los predios los recursos del subsuelo, entre ellos los brotes de agua, declarando este recurso en su artículo 10 como de *"exclusiva propiedad del dueño del suelo"* (Código de Minas, 1884).

Ante este ordenamiento, no se requería algún tipo de solicitud o adjudicación especial en atención a ninguna instancia municipal, estatal o del gobierno federal, brindándose total libertad de aprovechamiento del recurso hídrico, la política iba dirigida en mayor medida para impulsar el sector minero, que fungía como una de las actividades productivas de mayor importancia desde la época colonial. Aunque la tierra, por el aprovechamiento y explotación de plata, oro, cobre y otros metales, así como de minerales como plomo, zinc, azufre, sulfato, entre otros, era el elemento más redituable y de mayores ganancias para las compañías extranjeras, el agua constituía la base de los procesos de extracción, procesamiento de minerales y manejo de residuos en la actividad industrial (Cárdenas, 2013), siendo la minería uno de los sectores de mayor requerimiento de agua.

Con la Ley de Minas del 4 de junio de 1892 se mantuvo la disposición de la propiedad del agua a través de su artículo 9 que establecía:

"todas las aguas que se extraigan hasta la superficie en virtud de los trabajos subterráneos de las minas pertenecen a los dueños de estas y deberán de observarse las prescripciones de las leyes comunes en cuanto al derecho de los propietarios de los terrenos por donde se dé curso a las mismas aguas" (Ley de Minas, 1892).

Con ello, la regulación del agua estuvo inclinada a la plena disposición de las compañías mineras, lo que tuvo efectos significativos en las facilidades que otorgó el gobierno a las empresas estadounidenses e inglesas para la extracción y explotación del petróleo mexicano en las primeras décadas del siglo XX, que operaron en la llamada faja de oro que correspondía a la región huasteca en donde la ciudad y puerto de Tampico tuvo una participación importante al fungir como centro productivo, administrativo y comercial petrolero más importante del país. La legislación fue modificada hasta el gobierno de Lázaro Cárdenas con el objetivo de recuperar los recursos del subsuelo, dando lugar a la expropiación petrolera en 1938 (Checa & Hernández, 2016).

Tras la publicación de la Ley sobre Vías Generales de Comunicación del 5 de junio de 1888, correspondió al ejecutivo federal la vigilancia y policía de los ríos, mares territoriales, lagunas y esteros, por ser considerados vías generales de comunicación en el país. La regulación del agua como vía de comunicación estableció ciertos requisitos para el uso gratuito y doméstico por parte de las poblaciones ribereñas. Uno de ellos fue la comprobación de títulos legítimos o en prescripción civil de más de 10 años, mientras que el otorgamiento de nuevos derechos y concesiones para el aprovechamiento de aguas de ríos, lagos y canales quedó a disposición de la Secretaría de Fomento, los derechos eran otorgados siempre y cuando no fuera vulnerado el curso de los ríos, ni afectara el uso y abastecimiento del recurso natural a quienes vivieran río abajo, ya fuera por razones de contaminación, residuos tóxicos o de cualquier otra índole (Ley sobre Vías Generales de Comunicación, 1888).

Debido al desarrollo de los sectores industriales y de servicios en el porfiriato, así como de la agricultura y la ganadería en los terrenos de las haciendas y ranchos en el país, se requirió del otorgamiento de concesiones de agua a propietarios y empresarios nacionales y extranjeros. En 1894 el Congreso de la Unión autorizó al ejecutivo federal la aprobación de concesiones, no obstante, en el artículo 1 del decreto, se estipulaba que antes de cualquier

otorgamiento de derechos, la solicitud debía ser publicada en el periódico oficial de la Federación y del Estado (Decreto de Concesiones de Aguas, 1894).

El solicitante debía presentar planos, perfiles y memorias descriptivas para la completa inteligencia de las obras como parte de los proyectos, estos documentos tenían que ser entregados debidamente firmados por parte de un ingeniero como inspector de los trabajos de trazo y construcción de todas las obras, además de establecer un depósito en títulos de la Deuda Pública dar fe del cumplimiento de las obligaciones que se acordaran por los concesionarios. No obstante, en los momentos que se suscitaba alguna inconformidad en la documentación con respecto a alguna falsificación o mal manejo, los tribunales eran los encargados de dar resolución a los casos para poder obtener la aprobación de la Secretaría de Fomento (Decreto de Concesiones de Aguas, 1894).

El otorgamiento de una concesión brindó a los propietarios y empresarios el derecho a solicitar al gobierno federal franquicias y exenciones fiscales, como por ejemplo el pago sobre los derechos de importación por única vez de maquinaria, instrumentos y herramientas para realizar sus operaciones para el aprovechamiento del agua, así como exenciones de impuestos por un periodo de cinco años para la realización de obras reconocidas y autorizadas en la concesión como la creación de presas, canales, tomas de agua e instalación de bombas, dragado, creación de diques, escolleras, instalaciones de depósitos, muelles, entre muchas otras cosas según las necesidades de los empresarios. Asimismo, tenían el derecho de ocupar de forma gratuita los terrenos baldíos (Ley de Ocupación de Terrenos Baldíos, 1894), así como también expropiar, si fuera necesario, las propiedades de particulares colindantes con las riberas de los ríos. Todo esto con la condición de que las obras se efectuaran como se proponía en los planes de trabajo de los proyectos (López, B., 2023).

La legislación con respecto al tema de la propiedad y el uso del agua estuvo orientada a la creación de condiciones fiscales favorables que facilitaran las actividades de las empresas extranjeras, aun cuando afectaban los derechos de la población mexicana. El favorecimiento de los grandes proyectos empresariales, desde la óptica del gobierno federal, favorecía al país con la introducción de capitales y avances tecnológicos que impulsaban el desarrollo económico del país. Ante este panorama, comenzaron a suscitarse los conflictos entre la federación y los estados, ya que las entidades federativas que anteriormente tenían la facultad

de ejercer el dominio de las aguas comenzaban a percibir la centralización con relación a la gestión y administración del recurso hídrico por parte del Estado nacional (Aboités, 1998).

Con el propósito de dejar en claro las facultades del gobierno federal, el Congreso de la Unión aprobó el 18 de diciembre de 1902 la Ley sobre el régimen y clasificación de los bienes inmuebles federales. Con esta nueva reglamentación se establecieron los bienes que pertenecían a la federación siendo clasificados en bienes de la Hacienda Federal y bienes de dominio público entre los que se encontraban los ríos, esteros, lagos y lagunas que por su profundidad y extensión reunieran las condiciones para utilizarse en la navegación y flotación.

Cabe mencionar que, a pesar de la puesta en marcha de la ley de clasificación de los bienes federales, continuaron los problemas sobre las aguas de jurisdicción federal debido a la confusión y ambigüedad que existía sobre este tema. Por ello, en plena crisis del porfiriato, en 1910 fue publicada la Ley de Aguas, que correspondía a la última legislación porfirista sobre el recurso hídrico, pero también la primera que lo regulaba alejándose de su carácter de vía de comunicación, dejando de ser la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas la responsable de la conservación de los ríos. En principio se dejó en claro que era un bien que pertenecía a la nación y de jurisdicción federal, por lo que se establecía como obligación de los particulares obtener una concesión para su uso.

Con base en esta reglamentación, los empresarios e industriales, así como los grandes propietarios de haciendas y ranchos se vieron obligados a renovar sus concesiones que habían sido otorgadas a partir de 1888. En algunos casos, hubo resistencia por parte de las autoridades estatales, de los ayuntamientos y del propio pueblo, en especial por propietarios privados que habían sido beneficiados al no considerar las servidumbres dentro de las leyes (Aboites, 1998).

Sin embargo, además de estos conflictos, continuaron existiendo confusiones para el uso del agua, hubo algunos propietarios que continuaron operando según las disposiciones de la Ley de Minas (1892), en apropiación de los recursos del subsuelo. La institución encargada de dar resolución a estos eventos pasó a ser la Secretaría de Fomento Colonización e Industria, de tal modo se estableció que, de acuerdo con las nuevas leyes, tanto veneros, manantiales y ojos de agua, pertenecían al dueño del fundo donde nacía y brotaba el recurso hídrico, razón

por la que comenzaron a ser pozos y norias para abastecerse del bien nacional (Aboites, 1998), asimismo, se estipuló que en caso de que las aguas salieran del predio entraban a un cause público que sería jurisdicción de la federación.

Con la caída del porfiriato y el inicio del proceso revolucionario, fue desconocida toda ley en beneficio de terratenientes, hacendados, empresarios e industriales, el descontento político, social y económico se hizo presente siendo enarbolado por dirigentes que encabezaron diversos movimientos con demandas que estuvieron basadas en el despojo de la propiedad y la explotación de los trabajadores. El lema "tierra y libertad" del movimiento exigía la restitución de las propiedades a los pueblos que habían sido despojados, los principios estuvieron implícitos en el Plan de Ayala (1911) en el que se expresaba que los "terrenos, montes y aguas que hayan usurpado los hacendados, científicos o caciques a la sombra de la tiranía y de la justicia venal" debían ser devueltos a los verdaderos titulares, quienes tenían el derecho a defender con las armas. Asimismo, se planteaba que los pueblos carentes de tierras para la agricultura o demás actividades productivas, se les dotaría junto con el recurso del agua, siendo bienes expropiados de los hacendados, con el propósito de que pudieran crear ejidos, fundos legales y campos de sembradura o labor. Sin embargo, fue hasta la constitución de 1917, cuando finalizó la lucha armada, que se establecieron las nuevas bases sobre el derecho al agua y a la tierra.

Legislación del agua en el siglo XX.

Con el objetivo de establecer un régimen de propiedad pública, el Congreso Constituyente emanado de la revolución estableció las nuevas bases jurídicas para regir el país, brindándole suma importancia al tema de las tierras y aguas que se vieron reflejados con la proclamación de la Constitución Política Mexicana del 5 de febrero de 1917. Una de las normativas de mayor importancia del derecho al agua se encuentra precisamente en el párrafo quinto del artículo 27 donde se estableció que "la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originalmente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada" (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917).

Con esta normatividad, ocasionó el debilitamiento del dominio y manejo del gobierno estatal de los ayuntamientos sobre el agua y se proclamó el predominio del interés público por

encima de los particulares. La trascendencia de este artículo también radicó en el derecho de restitución de las propiedades al estipular que las tierras, bosques y aguas que habían sido despojadas a los pueblos, congregaciones y tribus, así como a los demás tipos de corporaciones de población, les serían devueltas, y en caso de que no fuera posible comprobar su titularidad, podría ser asignadas en calidad de dotación, el capitulado constitucional, fue sumamente valioso, porque reconoció la propiedad a los pueblos indígenas ya que el término congregación y tribu refería a este tipo de comunidades, debido a que en aquella época no existía el concepto de "pueblos indígenas".

Con la Constitución de 1917, el Estado mexicano revolucionario reconoció como antecedente de la nueva legislación a las Leyes de Indias porque no establecían diferencia entre tierras y aguas. De esta manera, al igual que el derecho colonial, el derecho posrevolucionario tuvo como concepto jurídico para la accesión de la propiedad las tierras y aguas como elementos indisolubles. Con estas disposiciones se resolvió el problema de la concentración de tierras en pocos propietarios, como se había agudizado en el porfiriato, ya que para el gobierno era necesario aprovechar y trabajar esas tierras consideradas ociosas, con el objetivo de activar la agricultura y la ganadería por parte de los sectores campesinos, constituyendo así nuevas unidades económicas que fueron la base institucional para la creación de los ejidos y el mejoramiento de la economía.

Con el tema de la restitución y la dotación de tierras, se generó una vía de acceso al agua por parte de los pueblos distinta a la de los particulares quienes requerían de la aprobación de concesiones. Así los derechos de los pueblos para el aprovechamiento del agua estaban exentos de la facultad petitoria de gracia o mercedes que correspondía a los particulares. La facultad para administrar las aguas por parte de los pueblos estuvo sujeta a los criterios por parte del Estado. Se estableció la creación de un Comité Particular Administrativo como principal instancia para nombrar un Comisario o Juez de Aguas quien llevaría a cabo el régimen del recurso dentro y fuera del pueblo.

El papel del comisario representaba ciertas tareas: atender las defensas de los derechos del pueblo; el cumplimiento de sus obligaciones en cuanto a mantener su propiedad en forma legal; y verificar que las reparticiones se realizaran en condiciones que las aguas pudieran ser aprovechadas por los pueblos, para el acceso y atención de sus necesidades, desde luego,

sujetándose a las reglamentaciones de la Comisión Nacional Agraria (Diario Oficial de la Federación, 1933). Con lo anterior, podemos observar que la Constitución de 1917 otorgó a los pueblos la facultad de administrar sus aguas bajo la figura de un comisariado como el modelo de gestión y administración de la época colonial.

A partir de los años veinte, el Estado mexicano priorizó la gestión de los recursos hídricos federales con un enfoque preponderante en la agricultura, la política se materializó en la Ley sobre Irrigación de Aguas de 1926, que articuló los usos del agua en torno a la irrigación, el abasto y la electricidad. Para ejecutar esta visión, se estableció la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), organismo dependiente de la Secretaría de Agricultura y Fomento, encargado de construir obras y expedir concesiones. La Ley de 1926 confirió el carácter de utilidad pública a la irrigación de parcelas privadas bajo jurisdicción federal. Como contraparte, se impuso a los dueños de dichas tierras la responsabilidad de construir y mantener las obras hidráulicas dictadas por el Ejecutivo para garantizar el servicio.

Tanto la Ley de Irrigación como la Ley de Aguas de Propiedad Nacional de 1929 establecieron que el uso y aprovechamiento de las aguas nacionales era libre, siempre que se realizara con medios manuales y sin desviar el flujo natural del cauce, las exenciones de uso incluían el aprovechamiento para abrevaderos (dar de beber al ganado), baños y lavaderos, supeditadas únicamente a las normas de policía y a los reglamentos administrativos vigentes.

Adicionalmente, se dispuso que los propietarios de terrenos podían apropiarse libremente del agua localizada en el subsuelo de sus fincas, siempre que lo hicieran mediante la construcción de pozos o galerías. No obstante, esta facultad estaba condicionada a que dichas obras no interfirieran ni perjudicaran las aguas declaradas de propiedad nacional o las propiedades privadas vecinas. En situaciones donde se presentará una afectación a cualquiera de estos recursos, la Secretaría de Agricultura y Fomento estaba facultada para suspender cualquier tipo de aprovechamiento del recurso federal (Ley de Aguas de Propiedad Nacional, 1929).

El derecho al uso de aguas subterráneas incitó a los particulares a realizar actividades de venta del recurso hídrico, aunque esta acción estuviera prohibida por los reglamentos federales, ya que el agua era de acceso público, lo que se debía a la alta demanda de agua por desabasto que existía en el país, y como los gobiernos locales no tenían jurisdicción, la poca

vigilancia del uso y aprovechamiento del recurso hídrico por parte de la federación, hacía sencillo ignorar las disposiciones del Estado por los particulares.

Por otra parte, en muchos casos las autoridades de los ayuntamientos solicitaron el acceso al agua de otras comunidades con el argumento de utilidad pública como era el riego de terrenos en zonas urbanas, el lavado de atarjeas y el aprovechamiento de la energía hidroeléctrica para el alumbrado público. Debido a esta situación el gobierno federal promovió reformas en 1934 a la Ley de Aguas promovidas por el presidente Abelardo L. Rodríguez con la finalidad de que los ayuntamientos tuvieran suficientes recursos hídricos para satisfacer las necesidades de los habitantes, así como evitar que se vieran obligados a pagar por el vital líquido (Lanz, 1982).

Cabe apuntar que en la década de 1930 el gobierno federal comenzó a plantearse la cuestión del agua potable. El Banco Nacional Hipotecario Urbano y de Obras Públicas (BNHUOP) fue establecido en 1933 con el mandato principal de financiar la construcción de infraestructura urbana. Sus prioridades se centraron en sistemas de agua potable y alcantarillado, aunque también contemplaba el desarrollo de mercados y rastros.

Al igual que otras entidades fundadas antes de 1935, las responsabilidades del BNHUOP se expandieron significativamente con el inicio del régimen cardenista. El presidente Lázaro Cárdenas, en su segundo informe de gobierno en septiembre de 1936, anunció una inversión sustancial en este sector, la decisión se fundamentó en su convicción de que el crecimiento demográfico del país debía ser apoyado por la mejora de las condiciones de vida de los ciudadanos, lo cual implicaba directamente la expansión de los servicios de higiene y salud pública.

De este modo, para el gobierno de Lázaro Cárdenas el abastecimiento de agua potable se destaca como uno de los principales servicios públicos del país. A partir de 1935, se inició un vasto programa de inversiones en esta materia. Se autorizó la partida de 1,500,000 pesos al BNHUOP para obras de agua potable en poblaciones de agua potable carentes de recursos. Al año siguiente la partida se amplió un 25% iniciándose obras en más de 100 ciudades del país entre 1935 y 1939, de tal modo que los créditos del BNHUOP pasaron en ese periodo de 7 millones a 31.5 millones de pesos (Aboites, 1998).

Durante el gobierno de Manuel Ávila Camacho, se estableció el decreto del 13 de enero de 1942 en el que se reformaba la Ley de Aguas de Propiedad Nacional de 1934 con el propósito de modificar la regulación relativa al otorgamiento de concesiones para el uso del agua con fines de generación de energía eléctrica. Asimismo, en 1952 lleva a cabo otra modificación en donde se declaraba que la propiedad nacional no se perdía por la construcción de obras artificiales como el encausamiento de corrientes o desecación de vasos. Es decir, todas las obras en materia hídrica que mejoraban el aprovechamiento del agua tendrían beneficio nacional y por lo tanto no cambiaba el régimen jurídico del recurso (Ortíz, R., 2008). Un aspecto importante de esta reforma fue la creación de la Procuraduría de Aguas, que tenía como principal objetivo defender los derechos de los campesinos en los casos en que se presentaran conflictos por el uso del agua.

La Ley de Riegos, promulgada en 1946, marcó un punto de inflexión al derogar la Ley de Aguas Federales de 1926, la nueva normativa elevó a rango legal la existencia de los distritos nacionales de riego y amplió el marco regulatorio para las obras de irrigación en el país.

Dos años después, en 1948, se complementó este marco con la emisión de la Ley Federal de Ingeniería Sanitaria. Dicha legislación declaró la utilidad pública de la planeación, diseño y ejecución de la infraestructura para agua potable en toda la República. Al institucionalizar estas regulaciones (Ortíz, R., 2008), la federación impulsó decididamente la ampliación de la cobertura de agua potable y alcantarillado en las áreas urbanas de todo el territorio nacional.

Es preciso recordar que todavía para finales de la década de 1940 el agua del subsuelo tenía un uso libre para los propietarios de los terrenos, otorgándoles todo tipo de facilidades para llevar a cabo el acceso y aprovechamiento del recurso nacional. No obstante, el 1947 se llevó a cabo una Ley Reglamentaria al Párrafo Quinto del artículo 27 de la CPEUM que consistió en una importante modificación consignando la obligación ineludible de los particulares de notificar siempre a la autoridad acerca de cualquier explotación de recursos que estuvieran realizando, lo que se hacía con el objetivo de que la autoridad pudiera prevenir o establecer vedas (prohibiciones temporales o permanentes) sobre dichos recursos.

De manera paralela, la legislación facultaba la determinación de normas prohibitivas para el aprovechamiento del agua en las zonas declaradas en veda e imponía las sanciones

correspondientes por el incumplimiento de dichas restricciones, el conjunto de reglas fue crucial porque sentó las bases para la regulación de las aguas del subsuelo, un recurso que la Constitución de la época no había declarado explícitamente como propiedad de la Nación en su totalidad.

Cabe decir que la ley reglamentaria del mismo artículo 27 CPEUM, expedida en 1956, sólo tuvo una pequeña modificación, la referente a establecer como de interés público el afloramiento o alumbramiento de agua en estado de vapor, con el propósito de establecer una reserva del recurso, para la generación de fuerza motriz y energía eléctrica para el sector público (Birrichaga, 2009), tarea en beneficio de la Comisión Federal de Electricidad.

Para 1971, las normas y principios normativos incluidos en la Ley de Aguas de Propiedad Nacional de 1934; en la Ley General de Ingeniería Sanitaria de 1947 y en la Ley Reglamentaria del artículo 27 de la CPEUM, fueron integrados en la nueva Ley Federal de Aguas pretendiendo establecer las bases para llevar a cabo un uso más racional y eficiente del vital líquido, la legislación, propició el incremento de las tierras dotadas con infraestructura de riego; estableció sanciones para los acaparamientos y la especulación de tierras y aguas limitando las concesiones a superficies máximas de 20 hectáreas; y estableció como modalidad de título de concesión la figura de la asignación destinada exclusivamente al otorgamiento de derechos de agua (Ortiz.R., 2008). Asimismo, propició la coordinación con las autoridades estatales y municipales para el mejoramiento continuo de agua potable y alcantarillado, además de declarar el subsuelo dentro de la consideración de aguas nacionales, esto a pesar de que la propia constitución otorgaba la posibilidad de apropiación a los dueños de los terrenos.

La Ley Federal de Aguas fue abrogada en 1992 por la Ley de Aguas Nacionales que tuvo como principal propósito redefinir el marco normativo en temas de gestión, vigilancia, control, coordinación, concentración y financiamiento relacionada al manejo y aprovechamiento del agua. Se buscó eliminar las prácticas burocráticas para facilitar los trámites de concesiones y asignaciones del recurso nacional de tal modo que se llevó a cabo la creación del Registro Público de Derechos del Agua. Se permitió las transmisiones de derechos y cambios de uso del agua, además de establecer nuevos esquemas de

financiamiento que, a través de las concesiones y contratos, permitieran llevar a cabo servicios de infraestructura pública federal.

Por último, el 29 de abril del 2004 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación las reformas y derogación de la Ley de Aguas Nacionales con modificaciones sustanciales en 114 artículos y 66 adicionados. Con esta reforma se pretendió resolver la crisis de gobernabilidad de agua en el país, la descentralización efectiva del sector, la atención a los daños ambientales vinculados con el agua y el mejoramiento en el marco de concesiones y asignaciones del recurso hídrico (Diario Oficial de la Federación, 2004).

En conjunto, el recorrido histórico muestra un tránsito desde la administración local del agua, heredera de prácticas coloniales y sostenida por ayuntamientos y estados, hacia un modelo de centralización federal que, primero, justificó su intervención por razones fiscales y de comunicación, y después consolidó un régimen nacional basado en el dominio originario de la Nación, la concesión como técnica de aprovechamiento y el desarrollo de infraestructura hidráulica, el proceso histórico constituye el antecedente inmediato del problema contemporáneo de la delimitación, puesto que solo a partir de la construcción jurídica del agua como bien nacional y de interés público se vuelve indispensable precisar, con criterios técnicos y procedimientos administrativos, los límites del dominio público hidráulico y su relación con la propiedad privada.

Fundamentos jurídicos de la delimitación de zona federal en cauces de aguas nacionales y su régimen constitucional de la propiedad pública y privada en materia de agua.

Los fundamentos jurídicos de la delimitación de la zona federal en los cauces de aguas nacionales se encuentran en un entramado normativo que va desde la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) hasta la legislación reglamentaria, la jurisprudencia de la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN) y la normativa técnica emitida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). El marco jurídico configura la forma en que se articula el dominio público hidráulico, las limitaciones a la propiedad privada y los procedimientos administrativos y técnicos para definir espacialmente la zona federal.

El artículo 27 de la CPEUM establece que la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originariamente a la Nación, lo que

implica que el Estado es el titular originario de dichos recursos y posee la facultad de transmitir el dominio de estos bienes a los particulares. La transmisión da lugar a la formación de la propiedad privada, la cual se configura a partir de un acto de voluntad estatal que reconoce y transfiere dominio a personas físicas o morales, dentro del marco constitucional y legal vigente (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2025).

No obstante, Jorge Adame Goddard (2025) sostiene que la propiedad originaria atribuida a la Nación no constituye un verdadero derecho de propiedad en sentido civil. Según el autor, ello obedece a que, a diferencia del propietario civil, que cuenta con mecanismos jurídicos específicos, como la acción reivindicatoria para recuperar un bien en caso de pérdida de la posesión, el Estado carece de un recurso equivalente en el ámbito del derecho internacional para reclamar territorios que haya perdido, parcial o totalmente. Por ello, el derecho internacional no reconoce a los Estados una propiedad como tal sobre su territorio, sino más bien una soberanía o dominio político. La reflexión se respalda con la realidad histórica: al momento de promulgarse la CPEUM de 1917, una parte considerable del territorio nacional ya se encontraba en manos de particulares con derechos de propiedad reconocidos; suponer que todas esas tierras volvieron a manos de la Nación con la entrada en vigor de la Constitución, para luego ser nuevamente transferidas a quienes ya las poseían legalmente, resultaría ilógico.

El artículo 27 de la CPEUM establece, además, que la Nación es la que determina la modalidad de la propiedad privada acorde con el interés público, ya que "tiene en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público", así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación. El objetivo es hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

En consecuencia, la autoridad debe dictar las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, con el fin de ejecutar obras públicas y planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; preservar y restaurar el equilibrio ecológico; fraccionar los latifundios; disponer, en los términos de la ley

reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; desarrollar la pequeña propiedad rural; fomentar la agricultura, la ganadería, la silvicultura y las demás actividades económicas en el medio rural; y evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad.

Por lo tanto, la base constitucional para emprender acciones y aplicar medidas relacionadas con la utilización de la tierra se describe en el artículo 27 de la CPEUM. Teniendo en cuenta que tales acciones pueden conducir a la reducción o restricción de ciertos derechos reales intrínsecamente relacionados con la propiedad —el jus utendi, jus fruendi y jus abutendi—, es imperativo que una legislación positiva delimite los alcances de la autoridad, a fin de garantizar el cumplimiento riguroso de la ley y proteger a la población contra una gobernanza arbitraria. La sola existencia de dicho marco legislativo no excluye la posibilidad de transgresiones, ya que siempre habrá personas que puedan malinterpretar o manipular las disposiciones legales; sin embargo, en esos casos existe un recurso legal que culmina en el juicio de amparo (Rendón, 2012).

El Artículo 27 constitucional confiere a la Nación la potestad permanente de establecer las limitaciones o "modalidades" que sean necesarias sobre la propiedad privada en función del interés público.

La disposición legal faculta al Estado a intervenir en el marco jurídico que rige la propiedad particular cuando el bienestar colectivo así lo exija. De forma complementaria, este mismo artículo dota a la Nación de la capacidad de regular el aprovechamiento de todos los elementos naturales susceptibles de ser apropiados. El objetivo de esta regulación es triple: garantizar la distribución equitativa de la riqueza nacional, asegurar la conservación del equilibrio ecológico y promover el desarrollo sustentable tanto en áreas rurales como urbanas.

Para Góngora Pimentel (2008), la propiedad del agua como bien originario de la Nación representa un compromiso estatal que aún no se ha concretado plenamente, en el sentido de que requiere ajustes en la normatividad constitucional para lograr su efectiva regulación. En materia de aguas nacionales, el artículo 27 de la CPEUM destaca el dominio originario de la Nación sobre las aguas, al establecer que las aguas dentro del territorio nacional pertenecen originariamente a la Nación. El énfasis en el beneficio social limita el ejercicio del derecho

de los particulares sobre los terrenos colindantes a cuerpos de agua, subordinándolo al interés colectivo y a la preservación ambiental.

El reconocimiento del derecho humano al agua y al saneamiento se encuentra en el artículo 4 de la CPEUM, en el párrafo adicionado en 2012, el cual impone al Estado la obligación de garantizar el acceso equitativo y sustentable al recurso hídrico, reforzando su carácter de bien de interés público. El mandato constitucional establece que todo individuo posee el derecho fundamental de acceder, disponer y sanear el agua necesaria para el consumo personal y doméstico. Este suministro debe cumplir con criterios de suficiencia, salubridad, aceptabilidad y asequibilidad.

La Carta Magna subraya que es obligación del Estado garantizar este derecho. Asimismo, la legislación secundaria deberá definir los fundamentos, mecanismos de apoyo y lineamientos para un uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos. Para lograr estos objetivos, la ley también deberá articular la participación coordinada de los tres órdenes de gobierno (Federación, entidades federativas y municipios) junto con la colaboración activa de la ciudadanía (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2025).

La Nación tiene dominio sobre los recursos naturales, lo que incluye la plataforma continental, los minerales en mantos o yacimientos, las piedras preciosas, la sal de gema, el petróleo, los carburos de hidrógeno y el espacio aéreo en términos del derecho internacional. Su explotación por parte de particulares o empresas solo puede llevarse a cabo mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal, conforme a las leyes reglamentarias. En ciertos casos específicos, como los minerales radiactivos o el litio, no se permiten concesiones, reservándose la actividad exclusivamente al Estado.

Es crucial destacar el contenido del Artículo 14 de la Constitución, cuyo segundo párrafo fue diseñado específicamente para salvaguardar el derecho a la propiedad. Este precepto fundamental establece que ninguna persona puede ser despojada de su libertad, propiedades, posesiones o derechos, a menos que dicho acto se realice a través de un juicio llevado a cabo ante los tribunales competentes y previamente establecidos por la ley.

Para que dicho juicio sea válido, es obligatorio que se respeten las formalidades esenciales del procedimiento (garantía de audiencia) y que la sentencia se emita en estricto apego a las

leyes promulgadas con anterioridad al acto que se juzga (principio de legalidad) (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2025).

A partir de lo anterior, puede sostenerse que, si bien el artículo 27 se enfoca en la propiedad de la tierra y los bienes inmuebles, el artículo 14 reconoce el derecho de propiedad en términos generales, sin establecer distinciones en cuanto a su alcance (Brito & Mireles, 2023).

En términos generales, el artículo 42 de la CPEUM establece que el territorio nacional comprende no solo las entidades federativas, sino también las islas, arrecifes y cayos situados en los mares adyacentes, así como la plataforma continental, los zócalos submarinos y las aguas del mar territorial (Góngora Pimentel, 2008). El contexto territorial refuerza la idea de que las aguas, superficiales y marinas, forman parte de un dominio estatal articulado, dentro del cual se inscribe la delimitación de cauces y zonas federales.

Referencias

Aboites Aguilar, L. (1998). El agua de la nación: Una historia política de México (1888-1946). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS).

Adame Goddard, J. (2025). La propiedad privada en la Constitución mexicana I. El respeto a la propiedad. *Revista De Derecho Privado*, *12*(26), 3–29. https://doi.org/10.22201/iij.24487902e.2024.26.20129

Birrichaga, D. (2009). Legislación en torno al agua, siglos XIX y XX. En Comisión Nacional del Agua, *Semblanza histórica del agua en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Brito Melgarejo, R., & Mireles Romero, L. J. (2023). El derecho de propiedad (1917-1957). Análisis constitucional y jurisprudencial. *Ius Inkarri*, *12*(14), 117–148. https://doi.org/10.59885/iusinkarri.2023.v12n14.05

Cárdenas, J. (2013). La minería en México: despojo a la nación. *Cuestiones Constitucionales. Revista Mexicana de Derecho Constitucional*, *1*(28). https://doi.org/10.1016/S1405-9193(13)71275-7

Checa A. M., & Hernández F. R. (2016). Introducción. En M. Checa-Artasu y R. Hernández-Franyuti (Eds.), *El petróleo en México y sus impactos sobre el territorio* (pp. 7–15). https://martinchecaartasu.com/wp-content/uploads/2020/06/EL-PETROLEO-EN-M%C3%89XICO-Y-SUS-IMPACTOS-SOBRE-EL-TERRITORIO.pdf

Código de Minas de la República Mexicana (1884). Recuperado de la Universidad de Guanajuato (UGTO): https://blogs.ugto.mx/rea/wp-content/uploads/sites/71/2023/06/El-Codigo-de-Mineria.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Estadísticas del Agua en México, edición 2019. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM_2019.pdf

Congreso Constituyente. (1917). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum/CPEUM_orig_05feb1917.pdf

Ley de Ocupación de Terrenos Baldíos (1894). Memoria Política de México. Diario Oficial de la Federación. https://www.memoriapoliticademexico.org/Textos/5RepDictadura/1894DSO.html

Congreso de la Unión. (1902). *Ley sobre el régimen y clasificación de los bienes inmuebles federales*. Diario Oficial de la Federación. Congreso de la Unión. (1902). Recuperada de la Biblioteca Digital de la UANL: http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080042593_C/1080046984_T34/1080046984_212.pdf

Congreso de la Unión. (1917). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf

Congreso de la Unión. (1931). *Código Penal Federal*. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPF.pdf

Congreso de la Unión. (2020). *Ley de Aguas Nacionales*. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf

Congreso de la Unión. (2020). *Ley General de Bienes Nacionales*. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGBN.pdf

Constitución Política de la República Mexicana de 1857. (1857). *Diario Oficial de la Federación*. https://archivos.juridicas.unam.mx/www/legislacion/federal/historicos/1857.pdf

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (2025). *Diario Oficial de la Federación*. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf

Decreto de Concesiones de Aguas, (1894). Decreto que autoriza al Ejecutivo para hacer concesiones a particulares y compañías para el mejor aprovechamiento de las aguas de jurisdicción federal en riegos y como potencia aplicable a diversas industrias. http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080042593_C/1080047364_T24/1080047364_24.pdf

Decreto No. 72 del 13 de noviembre de 1828. En *Colección de Leyes y Decretos del Estado de Tamaulipas (1825–1857)*. Archivo General e Histórico del Estado de Tamaulipas.

51
Diario Oficial de la Federación (2004). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN_ref01_29abr04.pdf

Fontes de G. Z., O. (2004). Régimen jurídico del agua. En O. Fontes de G. Z. (Ed.), *Derecho ambiental y de los recursos naturales* (pp. 37-142). Instituto Nacional de Ecología (INE).

Góngora Pimentel, G. D. (2008). Tesis y jurisprudencia en materia de aguas. En E. O. Rabasa & C. B. Arriaga García (Coords.), Agua: aspectos constitucionales (pp. 53–81).

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas. https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2598/7.pdf

Jacobo, D. M. (2025). *Política hídrica y acumulación histórica de derechos de agua: análisis crítico del caso mexicano*. Revista Campo da História, 10(1), 1–30. https://doi.org/10.55906/rcdhv10n1-023

Lanz, J. T. (1982). *Legislación de aguas en México (Estudio histórico legislativo de 1521 a 1981)* (Vol. 1). Consejo Editorial del Gobierno del Estado de Tabasco.

Ley de Aguas Nacionales. (2023). *Diario Oficial de la Federación*. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf

Ley General de Bienes Nacionales (LGBN). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/763263/Ley_General_de_Bienes_Nacionales.pdf

Ley Minera de los Estados Unidos Mexicanos (1892). Memoria Política de México. https://www.memoriapoliticademexico.org/Textos/5RepDictadura/1892LMI.html

Ley sobre Ocupación y Enajenación de Terrenos Baldíos, (1894). Memoria Política de México. http://www.memoriapoliticademexico.org/Textos/5RepDictadura/1894DSO.html

Ley sobre Vías Generales de Comunicación (Ley de 1888). http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080007360/1080007360_15.pdf

López B., F. (2023). *Agua y pueblos indígenas. Entre la espiritualidad, el derecho humano y el mercado*. El Colegio de San Luis.

México y Estados Unidos de América. (1848). *Tratado de Paz, Amistad, Límites y Arreglo Definitivo entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América* (Tratado de Guadalupe Hidalgo). Secretaría de Relaciones Exteriores. http://www.cila.gob.mx/tyc/1848.pdf

Ortíz, G. A. (2008). Evolución y perspectivas del marco jurídico del agua en México: Nuevos retos y oportunidades para la gestión integrada del recurso hídrico. En E. O. Rabasa & C.

Arriaga García (Coords.), Agua: Aspectos constitucionales. Universidad Nacional Autónoma de México.

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RLAN). PDF(CONAGUA). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/763245/Reglamento_de_la_Ley_de_Aguas_Nacionales.pdf

Rendón H. B., T. (2012). *La propiedad privada ante el interés público: caso del cerro de "La Bufa" de Guanajuato. Ciencia Jurídica*, *1*(1), 173–190. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4216848

Suprema Corte de Justicia de la Nación. (2022). *Tesis: 1a./J. 148/2022 (11a.). Acciones reivindicatorias y de prescripción adquisitiva. Son improcedentes cuando su objeto es un bien de dominio público*. Gaceta del Semanario Judicial de la Federación, Libro 20, Tomo I, 497. https://sjf2.scjn.gob.mx/detalle/tesis/2025557

Suprema Corte de Justicia de la Nación. (s,f). *Código Civil del Distrito Federal y Territorio de la Baja California* (Código Civil de 1870). https://legislacion.scjn.gob.mx/Buscador/Paginas/wfArticuladoFast.aspx?q=CDMddE+Bke8KMN205Fd+Cn/v5UhXhOLWDHEC0cEybdqOfgCeQxcJDNWcpjex6zkhczfil4LoLzzHt8te0K/XDQ==

Suprema Corte de Justicia de la Nación. Segunda Sala. (2007). Tesis 2a./J. 41/2007. VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN. SUS ZONAS FEDERALES NO PUEDEN SER OBJETO DE POSESIÓN POR EL SOLO TRANSCURSO DEL TIEMPO, DADA SU NATURALEZA DE BIENES DE DOMINIO PÚBLICO INALIENABLE E IMPRESCRIPTIBLE. *Semanario Judicial de la Federación y su Gaceta, Novena Época, Tomo XXV*, 1118. Registro digital: 172605. Recuperada de https://sjf.scjn.gob.mx

Topete, O. P. (2022). Un panorama sobre la legislación entorno a las aguas: Continuidades coloniales, normativas locales y el inicio de la centralización federal. En M. Pastrana Flores, *Usos y conflictos por el agua en el valle de Etla, Oaxaca, 1880-1930*. Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto de Investigaciones Históricas.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Capítulo 4. Sustentabilidad en las universidades. Aportaciones para una construcción participativa

Trinidad Esmeralda Vilchis Pérez[1]

Resumen

La implementación de políticas de sustentabilidad en las universidades es una alternativa que permite transitar hacia modelos educativos con acciones integrales para favorecer la construcción de un pensamiento ambiental crítico y complejo en las nuevas generaciones; sin embargo, las inercias del sistema económico actual influyen en la organización universitaria y enfocan la sustentabilidad en la gestión ambiental, dejando de lado el resto de las funciones sustantivas. Este trabajo identificó la importancia de consolidar el concepto de sustentabilidad desde sus raíces teórico-filosóficas para generar un proceso de transformación profunda que tienda a la interdisciplina y la acción social frente a la problemática ambiental.

Palabras clave: políticas, gestión ambiental, educación, desarrollo sustentable, México

Abstract

Implementing sustainability policies in universities offers an alternative that promotes educational models with comprehensive actions to develop critical and complex environmental thinking in new generations. However, the inertia of the current economic system influences how universities are organized and tends to focus sustainability primarily on environmental management, neglecting other essential functions. This work highlights the importance of solidifying the concept of sustainability from its theoretical and philosophical roots to foster a deep transformation that emphasizes interdisciplinarity and social action in addressing environmental challenges.

Keywords: policies, environmental management, education, sustainable development, México

Introducción

En la actualidad, la búsqueda de alternativas para alcanzar la sustentabilidad es uno de los grandes retos de las universidades del mundo. Desde mediados del siglo XX se evidenció la importancia de incluir los temas ambientales en la formación profesional, sin embargo, aún no se consolidan los cambios para transitar hacia modelos educativos donde la

[1] Dra. en Ciencias Ambientales. Investigadora por México en el Instituto de Ecología, A.C. en México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4394-5277; correo electrónico: trinidad.vilchis@inecol.mx

sustentabilidad se inserte de manera sustancial en la política universitaria (Martínez-Fernández y González-Gaudiano, 2015; Shaw et al., 2019).

La necesidad de construir un pensamiento crítico en las nuevas generaciones tiene antecedente en reuniones internacionales como la Conferencia de Talloires (Shriberg y Tallent, 2003), el primer espacio donde se reunieron los rectores de distintas universidades para establecer compromisos y convertirse en ejemplo de gestión ambiental a través de la implementación de una política que involucrara todas las funciones sustantivas (gestión, docencia, investigación y extensión).

En México, estas iniciativas se consolidaron en las Instituciones de Educación Superior (IES) a través de propuestas de políticas de sustentabilidad, creación de redes y elaboración de programas educativos enfocados en medio ambiente; la visión implicaba una concepción integral de las acciones sustentables, sin embargo, con el tiempo la tendencia decantó hacia el formación ambiental, dejando de lado aspectos sociales, culturales y económicos (Bravo, 2022).

Por otra parte, el debate entre sustentabilidad y desarrollo sostenible, así como la polisemia de estos términos surgida de su interpretación en diferentes contextos, se convirtieron paulatinamente en obstáculos que dificultaron la creación de un modelo de planificación estratégica unificado para la implementación de políticas de sustentabilidad en instituciones educativas (Amaro, 2018; Aleixo, 2018; Leal-Filho et al., 2021).

Ante corrientes de pensamiento diversas y en ocasiones contrapuestas, para las Instituciones de Educación Superior (IES) ha sido complicado definir el campo en el que se insertan sus iniciativas para atender la problemática ambiental. Si bien se espera que los universitarios se conviertan en actores que protagonicen la discusión conceptual de la sustentabilidad y ofrezcan alternativas de solución para los problemas socio-ambientales (Nava-Bringas et al., 2023), la falta de claridad en el concepto y en las dimensiones operacionales y políticas que implica, así como la tendencia academicista que no involucra elementos de gestión institucional, ralentizan la implementación de estrategias para la integración de las funciones sustantivas que permitan perfilar un camino claro hacia la sustentabilidad. (González-Gaudiano et al., 2015; Amaro, 2018; Cagatay y Rado, 2020; Basheer et al., 2025).

Otras dificultades se muestran en estudios como el de Shriberg y Tallent (2003), Ruiz et al. (2019) y Jiménez-Martínez (2021), quienes encontraron que la falta de coordinación entre la alta dirección, la administración y la academia, repercute negativamente en los esfuerzos de los interesados en desarrollar acciones sustentables. De acuerdo con los autores, las situaciones recurrentes son la falta de comprensión por parte de las autoridades, la burocracia y el tema financiero que invariablemente se muestra como una limitante. Aunado a estos factores, se encuentra la falta de un sistema de evaluación coordinado que permita a las IES valorar estrategias integrales para el éxito. De esta manera, aunque muchas universidades realizan acciones para denominarse como *sustentables*, pocas de ellas tienen una visión de largo plazo (González-Gaudiano et al., 2015; Oliveira et al., 2024).

De acuerdo con la encuesta aplicada por la University Leaders for a Sustainable Future (USLF) en 2001, una de las prácticas predominantes en los campus es el reciclaje, que se consideró una acción poco sustantiva frente a otras que podrían involucrar a diversos sectores y generar un impacto más profundo. Actualmente, existen iniciativas que permiten visualizar el manejo de residuos de forma integral, como el Programa Basura Cero Estratégico (BaCE), que implementa sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos en las instituciones desde una visión holística: logístico-operativa, socio-educativa e institucional ; estos ámbitos se relacionan con las funciones sustantivas universitarias, por lo que el programa puede contribuir a consolidar políticas de sustentabilidad (Armijo, 2022).

Considerando lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar el estado de la sustentabilidad en universidades que adoptaron el Programa BaCE y sus propuestas de acción frente a los retos que implica integrar la sustentabilidad en la Educación Superior.

De acuerdo con Shriberg y Tallent (2003) y Nava-Bringas et al., (2023) hacen falta datos que contribuyan a diseñar un enfoque coordinado de la evaluación de las iniciativas para la sustentabilidad en las IES. Con esta aportación se espera proporcionar evidencia empírica de las acciones que se realizan en las universidades y los factores que las limitan. De esta manera, se generan insumos para el diseño de estrategias fundamentadas y de sistemas de evaluación coordinados que pueden convertirse en precedentes para la consolidación de las políticas de sustentabilidad en los campus.

Referentes teóricos

En los últimos años el término sustentabilidad parece aplicable a toda intención de disminuir el impacto de las actividades antropogénicas en el ambiente. Sin embargo, tiene fundamentos que lo constituyen como un concepto con características propias, resultado de un proceso largo y complejo con profundas raíces históricas, sociales y culturales (Kopnina, 2014; González-Gaudiano et al., 2015).

A partir del surgimiento del concepto *desarrollo sostenible* enunciado en el Informe Brundtland (1987), los especialistas buscaron alternativas para reflejar en una definición diferente el pensamiento crítico y filosófico que se había gestado en Latinoamérica durante las décadas anteriores proponiendo a la *sustentabilidad* como un concepto surgido desde una posición ética para armonizar la racionalidad y posicionar horizontalmente al ser humano junto a todas las formas de vida (González Gaudiano, 2012; Rivera-Hernández et al., 2017). La sustentabilidad busca un modo de producción fundado en la capacidad de carga de la naturaleza y en componentes culturales que impulsen el respeto a la diversidad, en contraposición al desarrollo sostenible basado en las leyes del mercado, que lo convierten en una falacia productivista que promueve la competencia, donde una visión de cuidado ambiental no tiene cabida. Promover la sustentabilidad implica asumir una postura distinta frente al consumo y desarrollar una ética que fomente el respeto a la otredad y a las diferencias entre los pueblos (Kopnina, 2014; Carrizosa, 2023; Montes de Oca y Naessens, 2023).

El debate entre desarrollo sostenible y sustentabilidad continúa, sin que sean claras las definiciones, delimitaciones e implicaciones operacionales de ambas propuestas, lo que deja abierta la posibilidad de utilizar indistintamente ambos términos, situación que ocurre frecuentemente en las IES (González-Gaudiano et al., 2015; Reyes et al., 2023).

La sustentabilidad en las universidades se expresa de diversas formas, algunos autores las han clasificado de acuerdo a su madurez en el manejo operativo de la sustentabilidad (Gutiérrez, 2010), las dimensiones que abarcan (Cantú-Martínez, 2013; de Suasnábar *et al.,* 2018) o las líneas de investigación que abordan (Jiménez-Martínez, 2021). En estas clasificaciones los estadios más complejos son aquellos en los que la sustentabilidad se encuentra presente en todas las funciones sustantivas.

Algunas limitantes que enfrentan los campus se encuentran en las interpretaciones erróneas (Leal-Filho, 2000), la falta de recursos (Aleixo, 2018; Arias-Valle y Marimon, 2025) y la carencia de una estructura que permita el trabajo interdisciplinario para desarrollar aprendizajes integradores y cooperativos (Tasdemir et al., 2020; Nogueiro et al., 2025; Leal-Filho et al., 2025). Posturas más radicales afirman que los avances formales como la creación de departamentos especializados, no cristalizan en la práctica porque se enfrentan a inercias sociales, económicas y académicas fuertemente influenciadas por el concepto desarrollista predominante. Esto se observa en el diseño curricular de programas enfocados en satisfacer el mercado que impide la visión integradora y globalizada de la crisis ambiental; en la resistencia a romper con la visión compartimentada del saber y en la banalización de la sustentabilidad diluida dentro del concepto de responsabilidad social (González-Gaudiano et al., 2015).

Las IES mexicanas no escapan a estas limitantes, las políticas de sustentabilidad se enfocan en lo ambiental y en la generación de conocimiento para remediar los efectos del capitalismo, pero no se cuestionan la estructura ni se proponen cambios de fondo. Por ello, es necesario que en las IES se identifique el concepto de sustentabilidad y se integre en políticas firmes que permeen en todos los aspectos de la vida universitaria y formen parte del núcleo duro de la agenda institucional. El papel de las autoridades es esencial para diseñar estructuras organizacionales que promuevan la visión holística de la problemática ambiental e impulsen el trabajo colegiado (Jiménez-Martínez, 2021).

Materiales y métodos

Tipo y diseño del estudio

El estudio tuvo un enfoque mixto, se aplicó el método cualitativo para los textos escritos a través de análisis de contenido basado en el modelo deductivo-inductivo de Mayring (2000) y el método cuantitativo se aplicó en el procesamiento y análisis de las respuestas de opción múltiple para obtener patrones y frecuencias en Ms-Excel versión 2019 a fin de calcular su contribución por rubro. Se considera una investigación de diseño transversal descriptivo debido a su interacción en un tiempo definido en busca de características de la sustentabilidad en las IES. La investigación se realizó durante el periodo septiembre 2024 a mayo 2025.

Población y muestra

La muestra de estudio la constituyeron tres IES, la Facultad de Contaduría y Administración (FCA), el Instituto Internacional de Estudios Políticos Avanzados (IIEPA) de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), y la Universidad Marista de San Luis Potosí (UMSLP), las cuales adoptaron en 2024 el Programa Basura Cero Estratégico. Todas se localizan en México, las dos primeras en la ciudad de Acapulco dentro de la zona urbana y son instituciones públicas; la tercera se encuentra en San Luis Potosí capital, también considerada zona urbana y su sostenimiento es privado.

La población estuvo constituida por toda la comunidad escolar que conforma las IES, y la muestra se conformó con los Equipos Centrales Basura Cero (ECB0), grupos integrados por representantes de los diversos sectores de la organización (Tabla 1). Dentro de sus funciones se encuentran la administración del programa y la coordinación de las acciones con el respaldo de las autoridades y el apoyo de la comunidad escolar. Su visión respecto a la sustentabilidad es importante porque son equipos que ejercen un fuerte liderazgo; proporcionarles información y la oportunidad de construir propuestas de mejora puede permitirles compartir nuevas ideas con los sectores en los que tienen influencia.

Tabla 1. *Población y muestra*

Institución	Población	Miembros del ECB0
Facultad de Contaduría y Administración (FCA)-UAGro.	2,627	30
Instituto Internacional de Estudios Políticos Avanzados (IIEPA)-UAGro.	263	26
Universidad Marista de San Luis Potosí (UMSLP).	1,217	15

Fuente: Elaboración propia.

Esta actividad forma parte del diagnóstico a partir del cual el ECB0 adquiere elementos para fortalecer la sustentabilidad universitaria a través de la ruta de implementación.

El muestreo fue no probabilístico ya que la selección de los participantes se realizó bajo criterios jerárquicos o de autoridad, considerando la influencia que tienen las personas del ECB0 en el resto de la población, por lo que constituye un muestreo deliberado o por juicio. Debido a lo anterior la muestra no se considera representativa sino significativa.

Procedimiento para la recolección y análisis de datos

La investigación se realizó en tres etapas: 1) Diagnóstico y análisis de los planes de sustentabilidad de las instituciones; 2) diseño, validación, aplicación y análisis del instrumento para la recolección de datos; 3) capacitación y elaboración de propuestas.

Etapa 1. Diagnóstico y análisis de los planes de sustentabilidad de las instituciones

Se solicitó a las IES los planes de sustentabilidad vigentes en su institución para analizarlos y determinar sus características. Esta revisión permitió elaborar un diagnóstico que reveló las fortalezas y las áreas de oportunidad hacia dónde podrían dirigirse las mejoras.

Etapa 2. Diseño, validación, aplicación y análisis del instrumento para la recolección de datos

Como instrumento se diseñó un cuestionario, para indagar sobre las ideas de sustentabilidad, acciones de gestión ambiental, integración de la sustentabilidad en el currículo e identificación de las políticas de sustentabilidad. Para su construcción se tomaron referentes teóricos de autores que han abordado este tema desde diferentes criterios con la finalidad de acceder a una visión amplia del problema (Leal-Filho, 2000; Gutiérrez y Martínez, 2010; Cantú-Martínez, 2013; González *et al*., 2015; Suasnábar *et al*., 2018; Jiménez-Martínez, 2021).

El cuestionario se sometió a validación de cinco expertos en sustentabilidad universitaria y posteriormente se realizó una prueba piloto con dos ECB0 de instituciones que también implementan el Programa BaCE, pero que no participaron en este estudio. Esta prueba fue útil para verificar la comprensión de las preguntas, calcular el tiempo adecuado de aplicación y verificar la pertinencia del procesamiento de los datos. Se realizaron ajustes, principalmente en la redacción de las preguntas, se sometió el instrumento a una segunda revisión y posteriormente se procedió a realizar la aplicación en una de las reuniones semanales con los ECB0 de cada institución.

El cuestionario se integró en cuatro secciones con preguntas abiertas, de jerarquización y de opción múltiple; este diseño permitió acceder a ideas expresadas en el discurso, conocer la atención que se otorga a algunas actividades de gestión ambiental y recopilar información sobre el currículo y las políticas de sustentabilidad (Tabla 2).

Tabla 2. *Diseño del cuestionario*

Sección	Ejes de análisis	Tipo de reactivo
a) Sustentabilidad	Concepto con el que identifican la sustentabilidad	Opción múltiple.
	Ideas y opiniones sobre la sustentabilidad.	Preguntas abiertas.
b) Gestión ambiental	Área que debería atenderse de forma prioritaria.	Opción múltiple.
	Relación de las actividades de gestión ambiental con la sustentabilidad.	Preguntas abiertas.
c) Sustentabilidad en el currículo	Presencia de asignaturas que aborden la sustentabilidad.	Opción múltiple.
	Forma en que se integra la sustentabilidad al currículo (disciplinar, interdisciplinar o transdisciplinar).	Preguntas abiertas.
d) Políticas de sustentabilidad	Identificación de políticas de sustentabilidad.	
	Incorporación de la sustentabilidad en la normativa institucional.	Opción múltiple.
	Conocimiento de la política de sustentabilidad por la comunidad escolar.	Preguntas abiertas.

	Compromiso de la alta dirección en la implementación de la sustentabilidad. Obstáculos que enfrenta la universidad para implementar la sustentabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las preguntas abiertas se procesaron a través de las etapas que señala Mayring (2000) para el análisis de contenido: a) preanálisis, para la identificación de las primeras temáticas con las que puede iniciarse el trabajo; b) definición de unidades de análisis, se separan y caracterizan segmentos de contenido; c) elaboración de reglas de análisis, se establecen los criterios para elaborar los códigos que permitirán agrupar los contenidos que tienen relación y definir las características que los incluyen o excluyen; d) elaboración de códigos, se estructuran claves alfanuméricas para distinguir las características de los contenidos; e) definición de categorías, se puede realizar convirtiendo cada código en una categoría que agrupe la información o reuniendo varios códigos en una sola categoría si su contenido guarda relación suficiente, decisión que se toma después de un análisis exhaustivo; y para concluir f) síntesis final, se conforma con las reflexiones que surgen del análisis de las categorías contrastadas con la fundamentación teórica y la realidad.

Las respuestas de los reactivos de opción múltiple se registraron en tablas de frecuencia y se obtuvieron contribuciones por rubro.

Etapa 3. Capacitación y construcción de propuestas

A partir de los resultados del cuestionario se consideró pertinente una capacitación que ampliara la visión de la sustentabilidad en las IES participantes para generar propuestas desde sus propias experiencias, por lo que se estructuró un Taller con enfoque en la sustentabilidad universitaria con una duración de 6 horas a realizarse en tres días. En el primer día se abordaron teóricamente temas como la sustentabilidad, el impacto de las universidades en el medio ambiente, funciones sustantivas de la universidad, así como sus obstáculos y oportunidades. El segundo día estuvo dedicado a la elaboración de propuestas para mejorar la integración de la sustentabilidad en su institución, para ello, se revisó el programa o iniciativa de sustentabilidad existente y se aplicaron los conocimientos de la sesión anterior. Durante el tercer día se socializó la propuesta y se plantearon estrategias para hacerla llegar a la Dirección o Rectoría. Este taller se llevó a cabo en cada institución, donde participaron todos los miembros del ECB0 de cada campus.

Consideraciones éticas

Para dar cumplimiento a los criterios éticos de la Declaración "Helsinki II" relacionados con la investigación en seres humanos, se informó a los participantes acerca del objetivo del estudio, su metodología, así como el uso que se daría a los datos. Al responder el cuestionario aceptaron que la información fuera utilizada para fines de investigación, respetando siempre el anonimato y garantizando la confidencialidad. Para validar el estudio y agradecer la participación de los ECB0 se les dieron a conocer los resultados oportunamente.

Resultados

De acuerdo con el procedimiento metodológico desarrollado en este estudio, el análisis aborda una revisión de los planes relacionados a la sustentabilidad de las instituciones, así como el desarrollo de propuestas para mejorar la sustentabilidad en cada campus universitario.

Estatus en la adopción de programas para la sustentabilidad universitaria

Planes de sustentabilidad institucional

Con la finalidad de mantener la calidad de sus servicios y promover la ética universitaria, la FCA como institución pública cuenta desde 2017 con el Distintivo de Responsabilidad Social Universitaria que otorga la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración. Este distintivo evalúa seis ejes: autodiagnóstico, educativo, generación y aplicación del conocimiento, organizacional, ambiental y social.

Estos rubros solicitan evidencias y establecen compromisos en los ámbitos de la ética, transparencia y rendición de cuentas, respeto a los derechos humanos, cultura de responsabilidad y respeto a las normas, participación ciudadana y sustentabilidad. Dentro de los compromisos que adquirieron en el plan de mejora se encuentran: transversalizar el eje "medio ambiente" en los contenidos de los programas, capacitar y concientizar a los actores involucrados, realizar conferencias para fomentar en el alumnado una cultura de cuidado ambiental, incorporación de actividades en las secuencias didácticas que destaquen la importancia de la sustentabilidad, mayor producción de investigación vinculada a este tema.

En el IIEPA, no se cuenta con un programa adicional enfocado en sustentabilidad o responsabilidad social.

La institución privada UMSLP tiene un programa denominado Plan Integral de Responsabilidad Social vigente desde 2023. En su elaboración se involucraron la alta Dirección y la Comisión de Responsabilidad Social. Los cuatro rubros que lo integran son: acción social, bienestar y salud, gestión ambiental y sustentabilidad y gobernanza con responsabilidad social. El plan de gestión ambiental y sustentabilidad se basa principalmente en dos líneas: 1) reducir residuos y disminuir consumo de recursos; y 2) capacitar y concientizar a la comunidad universitaria sobre la importancia de la gestión ambiental. Las actividades consisten en realizar campañas, impartir talleres y pláticas de concientización, estrategias de reducción de consumo de recursos y operación del vivero universitario.

Percepción y aspectos clave sobre la sustentabilidad.

En la primera sección, la mayoría de los participantes de las tres instituciones se identificó con el concepto de sustentabilidad: FCA, 62%; IIEPA, 73%, UMSLP, 60%; sin embargo, la diferencia no es radical, el concepto de desarrollo sostenible también fue elegido por una cantidad considerable de la población: FCA, 38%; IIEPA, 27%, UMSLP, 40%.

El análisis de contenido que se realizó con las respuestas a la pregunta abierta sobre este tema permitió identificar diez categorías: gestión ambiental, desarrollo sostenible, enfoque económico, enfoque social. enfoque normativo, equilibrio humano-planeta, enfoque antropocéntrico, características, consecuencias, otras expresiones. En la FCA, la mayoría relacionó a la sustentabilidad con la gestión del agua, los residuos y la energía como una forma de disminuir los impactos ambientales. Así mismo, predominó el discurso del desarrollo sostenible acerca de satisfacer necesidades sin comprometer el futuro; también destacó el enfoque antropocéntrico en el que se considera que hay que cuidar el planeta en beneficio de la humanidad.

> *Utilizar los recursos naturales para satisfacer nuestra necesidad siempre cuidando que nuestras acciones no perjudiquen nuestro futuro* (E-13-FCA).

En el IIEPA fueron más frecuentes las expresiones orientadas a la búsqueda del equilibrio entre el ser humano y la naturaleza, en segundo lugar, destacan las que tienen que ver con el desarrollo sostenible y en tercer lugar las que identificaron a la sustentabilidad con acciones de gestión ambiental. También hubo una proporción importante de respuestas redundantes, confusas y sin relación con la pregunta.

> *Generando una nueva visión de este espacio que habitamos y deberíamos amar, cuidar y proteger* (E-15-IIEPA).

En la UMSLP, predominaron las ideas correspondientes al desarrollo sostenible, seguidas de las que sugieren que para lograrla deben involucrarse la sociedad de manera activa. Se identificó también el aspecto económico como un factor que puede potenciar o limitar su implementación.

> *México realmente necesita de más organización para estas cosas. Porque, aunque existan muchas organizaciones dispuestas a prestar ayuda, no se podrá si TODOS no se unen* (E-4-UMSLP).

> *El sistema capitalista es una limitante con aliados como las leyes y el ego* (E-5-UMSLP).

En opinión de los encuestados, las áreas que deberían atenderse de forma prioritaria deberían ser el recurso hídrico (FCA, 40%; IIEPA, 62%; UMSLP, 60%) y el manejo de residuos (FCA, 36%; IIEPA, 27%; UMSLP, 27%).

En las tres instituciones la mayoría de los participantes consideraron una mayor atención hacia aspectos que implican la gestión ambiental como es el cuidado del recurso hídrico y energético, el manejo adecuado de los residuos, la conservación de las áreas verdes y promover la movilidad responsable, de esta manera su universidad cumplirá con lo necesario para ser sustentable (FCA, 93%; IIEPA, 100%; UMSLP, 87%). En la FCA las opiniones apoyaban las acciones encaminadas hacia prácticas sustentables en la universidad, pero también consideraban la educación ambiental como un factor clave.

> *Considero que la educación en sustentabilidad es necesaria y no solamente la acción de llevarlo a cabo* (E-29-FCA).

En lo que se refiere a la presencia de la sustentabilidad en el currículo, se indagó si se incluyen asignaturas relacionadas con la sustentabilidad o el cuidado del medio ambiente dentro de los programas de estudio. En las tres instituciones la mayoría respondió que sí (FCA, 55%; IIEPA, 65%; UMSLP, 80%), aunque en la FCA y el IIEPA, una cantidad considerable de encuestados opinó que no es así (45% y 35%, respectivamente).

Al indagar si las asignaturas que abordan la sustentabilidad se relacionan con otras para trabajar proyectos interdisciplinarios, en la FCA la mayoría respondió que no (65%), mientras que en el IIEPA (68%) y la UMSLP (69%), la respuesta fue afirmativa.

Por otra parte, la opinión acerca de la integración de la sustentabilidad en todos los aspectos de la vida universitaria más allá de cursarse en las asignaturas estuvo dividida. En la FCA 59% respondió que sí, aunque 41% no estuvo de acuerdo; en el IIEPA, se obtuvieron 54% de respuestas afirmativas y 46% negativas; en la UMSLP el resultado fue inverso, 60% respondió que no y 40% que sí.

También se cuestionó sobre la ejecución de proyectos relacionados con la sustentabilidad que contribuyeran a resolver problemas en la comunidad circundante, a lo que la mayoría en la FCA y la UMSLP respondió negativamente (63% y 67%), mientras que en el IIEPA la opinión predominante fue positiva (68%). Por lo tanto, se considera oportuno conocer los proyectos que se llevan a cabo en la institución. También es importante señalar que durante el análisis de contenido se identificaron seis categorías: reciclaje, limpieza, reforestación, investigación, vinculación y docencia.

En la FCA, mencionaron actividades de reforestación, reciclaje, limpieza de las calles y proyectos de investigación.

> *Proyectos de investigación para efectos SECIHTI* (E-3-FCA)

En el IIEPA fue donde se obtuvo mayor cantidad de respuestas, se hizo referencia a las actividades del Programa Basura Cero Estratégico y las labores de limpieza que se realizaron después del paso del huracán Otis; también se identificó el cuidado de las áreas verdes, participación en campañas de acopio de PET y tapas para hacer donaciones; investigaciones y tesis relacionadas con el tema de sustentabilidad, así como la asignatura de desarrollo sostenible.

> *Dentro de la preparatoria 27 se le pidió al alumnado realizar un proyecto de alto impacto que ayudase o contribuyese al cuidado de un área o comunidad afectada por el huracán Otis* (E-16-11EPA)

Por su parte, en la UMSLP se manifestó que la universidad desarrolla proyectos en pro de la comunidad a través del servicio social y se considera el cuidado del medio ambiente dentro de las estrategias de aprendizaje; refirieron que tienen un vivero en el que cultivan plantas y un departamento que se encarga del reciclaje de residuos electrónicos.

> *Aprendizaje sobre el cuidado del medio ambiente y su uso de manera responsable* (E-7-UMSLP).

En cuanto a la realización de foros donde se discutan retos o problemáticas ambientales de manera interdisciplinaria, la mayoría opinó en las tres instituciones que no se llevan a cabo (FCA, 63%; IIEPA, 58%; UMSLP, 87%), aunque en la FCA y en el IIEPA también una cantidad importante de los encuestados consideró que sí se desarrollan (37% y 42%, respectivamente).

Dentro del ámbito de política ambiental, se indagó acerca de la existencia de una política de compras en la que se considerara el comercio justo y la compra de materiales que pudieran ser reciclables, reutilizables o que incorporaran elementos reciclados. En las tres instituciones la mayoría manifestó no saber (FCA, 58%; IIEPA, 46%; UMSLP, 87%), aunque en la FCA y en el IIEPA, también hubo una proporción importante que opinó que dicha política no existe (29% y 42%, respectivamente). Algo similar ocurrió al preguntar si existe una política de sustentabilidad con objetivos generales y principios de acción bien definidos, la mayoría no lo sabe (FCA, 54%; IIEPA, 38%; UMSLP, 80%), pero otra parte significativa en la FCA y el IIEPA, opinó que no existe (25% y 35%, respectivamente).

Respecto a la existencia de un código o reglamento de comportamiento sustentable, en la FCA, 66% no sabe, 24% dice que no y 10% opina que sí; en el IIEPA, 35% desconoce, 38% considera que no existe y 27% que sí; y en la UMSLP, 27% no sabe, 53% dice que no existe y 20% afirma que sí lo tienen. En lo que corresponde a la existencia de algún medio para comunicar la política de sustentabilidad a todos los miembros de la institución, en la FCA la mayoría desconoce (54%), aunque una proporción importante opinó que no existe (32%), el resto manifestó que si hay (14%); en el IIEPA, 31% desconoce, 27% dice que no existe y la mayoría (42%) afirma que sí lo tienen; en la UMSLP la opinión se divide en partes iguales entre los que no saben (47%) y los que dicen que sí lo tienen (47%), únicamente 6% opinó que no existe. Al indagar sobre procesos de control, seguimiento y evaluación para las acciones de sustentabilidad las tres escuelas manifestaron en su mayoría que desconocen si existen (FCA, 54%; IIEPA, 58%; UMSLP, 53%), aunque también hay representación importante de los que opinan que no los hay (FCA, 32%; IIEPA, 27%; UMSLP, 34%) y solo una mínima parte refiere que sí se desarrollan (FCA, 18%; IIEPA, 15%; UMSLP, 13%).

Al pedirles identificar el nivel de compromiso que tiene la alta dirección para la implementación de la sustentabilidad, en la FCA la mayoría consideró que es medio (60%) y en el IIEPA se valoró como alto (72%) al igual que en la UMSLP (60%).

Por último, se solicitó a los encuestados mencionar los obstáculos que enfrenta su universidad para alcanzar la sustentabilidad. El análisis de contenido permitió identificar ocho categorías: difusión, factores sociales, aspectos administrativos, demanda de tiempo y esfuerzo, factores académicos, actitudes, factores económicos y valores.

En la FCA, los obstáculos se relacionaron en su mayoría con factores sociales como la falta de educación, cultura y hábitos en los estudiantes, así como la ausencia de sanciones para quienes no cumplan con lo que se indica; también destacó la carencia de organización y

seguimiento en los programas, así como la ausencia de valores como la responsabilidad, la colaboración y la concientización, necesarios para llevarlos a cabo.

> *Los hábitos de los estudiantes, la educación de los estudiantes, la responsabilidad de los estudiantes* (E-15-FCA).

Para el IIEPA y la UMSLP, entre los mayores obstáculos se encuentran las actitudes que tienen los miembros de la comunidad, como la poca participación, no mostrar ganas o entusiasmo, falta de interés y colaboración; se mencionó frecuentemente la falta de información y difusión, lo que deriva en desconocimiento que no permite el alcance de los objetivos.

> *Falta de compromiso, falta de información, apatía, falta de recurso económico* (E-10-UMSLP).

> *La falta de visibilización y conocimiento por parte de la comunidad ya que no todos sabemos estas medidas, por ende, no se cumplen los objetivos* (E-14-IIEPA).

Socialización y propuestas

Posterior al Taller de Sustentabilidad en las Universidades, el segundo y tercer día de la capacitación estuvieron dedicados a la elaboración y socialización de las propuestas para mejorar las acciones de sustentabilidad, en las que los participantes consideraron los conocimientos adquiridos durante el primer día en el taller, el contenido de los planes de responsabilidad social en el caso de las instituciones que lo tenían y las experiencias de la vida escolar cotidiana. Como producto se obtuvo una propuesta inicial para mostrarla a las autoridades de cada institución. A continuación, se resumen las ideas principales que se expresaron en las mismas.

Las propuestas tuvieron como líneas estratégicas las funciones sustantivas de la universidad enfocadas al ámbito de la sustentabilidad: gestión, docencia, investigación y extensión.

En la línea estratégica de gestión, las instituciones de estudio coincidieron en reforzar las acciones dirigidas a la conservación del recurso hídrico y energético mediante dispositivos de captación de agua de lluvia y sustitución de focos por lámparas LED; también mencionaron la implementación del Programa BaCE como la alternativa para mejorar la gestión de sus residuos; se incluyeron igualmente campañas para la conservación y reforestación de áreas verdes.

Dentro de la línea de docencia, las tres propuestas consideraron necesaria la capacitación del personal académico en materia de sustentabilidad para brindarles herramientas que les permitan vincular los contenidos de sus asignaturas con este tema, asimismo, identificaron la necesidad de incorporar asignaturas que incluyan a la sustentabilidad. En el caso de la FCA se consideró únicamente este aspecto disciplinar, sin embargo, en la UMSLP, se abordó la interdisciplina a través de la estructuración de proyectos conjuntos entre diversas asignaturas

y en el IIEPA se tuvo la idea de trascender a la transdisciplina al incluir actividades de aprendizaje-servicio que tuvieran un impacto en la comunidad.

En el campo de investigación se planteó revisar el tipo y cantidad de trabajos relacionados con la sustentabilidad que se han realizado. El IIEPA y la UMSLP propusieron crear una nueva línea de investigación enfocada en temas de sustentabilidad y en la FCA como ya existe un cuerpo académico que los aborda, las actividades se encaminarían a solicitar la difusión de los estudios que ya existen y fomentar una mayor participación para la realización de nuevos proyectos. En el IIEPA se consideró importante promover la publicación de artículos científicos para incentivar la participación de los docentes y estudiantes y en la UMSLP se manifestó la necesidad de crear equipos interdisciplinarios que permitan abordar las problemáticas relacionadas con la sustentabilidad de forma más amplia e integral.

Para atender la función sustantiva de extensión, las instituciones coincidieron en que era necesario establecer alianzas con asociaciones civiles, empresas y dependencias gubernamentales para el desarrollo de proyectos comunitarios dirigidos a la conservación ambiental. En el IIEPA además incluyeron la posibilidad de incorporarse en redes universitarias de sustentabilidad y en la UMSLP plantearon la firma de acuerdos para prácticas profesionales, servicio social y servicio becario con instituciones que trabajen en temas de sustentabilidad.

Discusión

El objetivo de estudio fue analizar el estatus de la sustentabilidad en universidades que adoptaron el Programa BaCE y sus propuestas de acción frente a los retos que implica integrar la sustentabilidad en la Educación Superior. Los antecedentes de las instituciones en estudio mostraron que sus estrategias para incorporar la sustentabilidad se centran en la gestión ambiental integrada en Programas de Responsabilidad Social, no tienen programas que abarquen todos los ámbitos de la vida universitaria. Si bien en estos programas se contemplan actividades de capacitación e incorporación de temas ambientales en el currículo, las acciones aún son incipientes y se circunscriben a la realización de campañas y a la integración de asignaturas que aborden el tema.

Este hallazgo refuerza las afirmaciones de los autores que han identificado la tendencia a diluir la sustentabilidad en el concepto de responsabilidad social, lo que tiende a abordar únicamente el aspecto ambiental y a favorecer el carácter clientelar en la educación enfocado en construir una imagen que permita atraer mayor cantidad de alumnos y satisfacer las necesidades de mano de obra en el mercado, no la formación básica de personas que sean capaces de construir un sistema económico y social basado en principios sustentables (USLF, 2001; Bravo, 2022; Martínez-Fernández y González-Gaudiano, 2015).

Las ideas sobre la sustentabilidad fueron heterogéneas y con tendencias distintas en cada institución. Aunque en la pregunta cerrada la mayoría se identificó con el concepto de sustentabilidad, en las respuestas a la pregunta abierta se observó que cada institución decanta en algún rubro: gestión ambiental, equilibrio entre hombre y naturaleza o como sinónimo de desarrollo sostenible. Esta evidencia muestra que la diversidad de concepciones sobre la

sustentabilidad persiste y lo que apoya las ideas de González-Gaudiano et al., (2015), Jiménez-Martínez (2021) y Reyes et al. (2023), quienes afirman que esta falta de homologación es uno de los factores que impiden la implementación de sistemas de evaluación eficientes para conocer, comparar y evaluar los avances de las IES y diseñar estrategias de largo alcance.

Por otra parte, entender como sinónimos la sustentabilidad y el desarrollo sostenible, refuerzan las afirmaciones de los autores que consideran que la sustentabilidad aún no se integra en las IES como un concepto con características propias, por lo tanto, la construcción de políticas se sujeta a la interpretación y no a los fines de transformación social que ésta persigue (Kopnina, 2014; Rivera-Hernández et al., 2017; Carrizosa, 2023; Montes de Oca y Naessens, 2023).

Si bien se identificó que una proporción importante de los encuestados en todas las instituciones consideró que trabajar únicamente en el *enverdecimiento del campus* es suficiente para catalogar a la universidad como sustentable, además la mayoría desconoce si existen políticas de sustentabilidad que contemplen compras responsables, reglamento de conducta sustentable, difusión de información a la comunidad y métodos de control, seguimiento y evaluación para las acciones de sustentabilidad. Valoraron en un nivel medio y alto el compromiso que tiene la alta dirección para la implementación de la sustentabilidad en sus universidades, sin embargo, los datos anteriores demuestran que aún no se integra a la gestión institucional y que hace falta establecer canales de comunicación y coordinación entre las diferentes áreas organizacionales (Shaw et al., 2019). El dato es importante porque indica que es necesario trabajar con la alta dirección antes de implementar nuevas propuestas de sustentabilidad para disminuir el riesgo de desaliento en los participantes si no se les brinda apoyo o no observan resultados (Shriberg y Tallent, 2003; Ruiz et al., 2019; Oliveira et al., 2024).

Otro aspecto que requiere un compromiso firme de la alta dirección es la sustentabilidad en el currículo, ya que no se encuentra presente de forma interdisciplinaria ni transdisciplinaria, se circunscribe a la presencia de algunas asignaturas que abordan temas relacionados con el medio ambiente. Existen algunos indicios que reflejan intenciones de impactar en el contexto, pero se quedan en acciones remediales (campañas, reforestación, donaciones) y no en una co-construcción de soluciones en las que se establezca un diálogo con la comunidad. Lo anterior evidencia que el conocimiento sigue concibiéndose de forma fragmentada y que esta ruptura no permite un trabajo colegiado desde donde se construyan aprendizajes significativos para proponer soluciones a través de la investigación y la incidencia (González-Gaudiano et al., 2015; Tasdemir et al., 2020; Cagatay y Rado, 2020; Basheer et al., 2025; Nogueiro et al., 2025; Leal-Filho et al., 2025).

Estas condiciones podrían limitar la capacidad de las instituciones para formar profesionistas e investigadores que comprendan las dimensiones operacionales de la sustentabilidad y la importancia de integrarse a la gestión institucional en cualquier ámbito en el que se desarrollen (Amaro, 2018; Aleixo, 2018; Leal-Filho et al., 2021; Nava-Bringas *et al*., 2023).

A diferencia de los resultados que obtuvo Leal-Filho (2000), en esta investigación los obstáculos para integrar la sustentabilidad en las universidades que identifican los miembros de la comunidad no se relacionaron con ideas falsas sino con actitudes negativas y ausencia de valores como la responsabilidad y la conciencia, así como falta de educación, cultura y hábitos; también se consideraron obstáculos los programas inconsistentes y desorganizados y la falta de recursos económicos (Arias-Valle y Marimon, 2025). Es posible que la diferencia en los resultados radique en el tipo de población con la que se trabajó, en el primer caso con directivos y en el segundo con miembros de la comunidad que integran los ECB0. Este panorama ilustra la diversidad de puntos de vista desde los cuales pueden identificarse los obstáculos para incorporar la sustentabilidad e invita a la reflexión sobre la necesidad de construir alternativas que cuenten con el compromiso institucional para romper resistencias, consultar y validar la opinión colectiva, así como trabajar en transformaciones profundas que construyan puentes entre el trabajo universitario y la realidad circundante (Jiménez-Martínez, 2021).

Considerando la clasificación de Gutiérrez y Martínez (2010) respecto a la madurez en el manejo operativo de la sustentabilidad y la de Cantú-Martínez (2013) y Suasnábar et al. (2018) relacionada con las dimensiones que comprende una universidad sustentable, los resultados indican que las universidades de estudio se encuentran en una madurez incipiente y dentro de la dimensión integral, desde donde se realizan algunas actividades de docencia e investigación pero con poca presencia administrativa o curricular para atender la sustentabilidad.

La fortaleza de este estudio radica en la evidencia empírica que permitió caracterizar las acciones de las universidades en torno a la sustentabilidad y las áreas de oportunidad en las que es necesario trabajar para trascender el plano de la gestión y lograr el fortalecimiento de políticas públicas que consoliden su incorporación en todas las funciones sustantivas. Sin embargo, esta aportación se limitó a tres instituciones mexicanas, por lo que es necesario desarrollar otras investigaciones de este tipo en diversos contextos para homologar criterios y obtener resultados aplicables al diseño de estrategias dirigidas a evaluar el avance de las universidades en materia de sustentabilidad.

Conclusiones

En la presente investigación se identificó el estado de la sustentabilidad en las instituciones de estudio y se mostraron propuestas para su integración y mejora. Se hizo evidente que es necesario homologar y consolidar el concepto de sustentabilidad desde sus raíces teórico-filosóficas para que permee no como un acto mecánico, sino como un proceso de transformación profunda presente en el currículo, en la formación de valores y en el surgimiento de actitudes que tiendan a la acción y la transformación social frente a la problemática ambiental.

Las propuestas que realizaron los ECB0 dan cuenta del poder que ejercen la información y el conocimiento. Después de la capacitación fueron capaces de ampliar su visión para incorporar la sustentabilidad no solo en la gestión, sino también en la docencia, la investigación y la extensión. Estas reflexiones establecen las bases para promover cambios

de fondo al socializar y negociar las iniciativas con la alta dirección, mostrando los resultados de un trabajo colegiado basado en el diálogo y el análisis de datos.

Aunque las iniciativas son incipientes y hace falta valorar su efectividad en la práctica, la implementación del Programa Basura Cero Estratégico basado en los principios de sustentabilidad y economía social y solidaria, puede contribuir positivamente como referente replicable en otras áreas de gestión para permear la sustentabilidad en todas las funciones sustantivas universitarias.

Referencias

Aleixo, AM., Leal, S. & Miranda, U. (2018). Conceptualization of sustainable higher education institutions, roles, barriers, and challenges for sustainability: An exploratory study in Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1664-1673. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.010

Amaro, N. (2017). Lessons learned for decision-makers during a 5-year research period on sustainability issues at Galileo University of Guatemala. Leal Filho (ed.), *Handbook of Sustainability Science and Research*, World Sustainability Series, Springer , Cham, 3-23. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63007-6_1

Arias-Valle, M. B., y Marimon, F. (2025). Educación superior y sostenibilidad. El desafío del financiamiento en Argentina. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, (16), A-005. https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202502.A005

Armijo, C. (2022). El Programa Basura Cero y la estrategia transdisciplinaria de investigación y resolución en la problemática nacional de los residuos sólidos urbanos. *La Escoba, Boletín de opciones para dejar de hacer basura*, 4, 3-8. https://secihti.mx/la-escoba-4/

Basheer, N., Ahmed, V., Bahroun, Z. & Anane, Ch. (2025). Sustainability assessment in higher education institutions: exploring indicators, stakeholder perceptions, and implementation challenges. *Discover Sustainability* 6 (252). https://doi.org/10.1007/s43621-025-01116-w

Bravo, MT. (2022). Trayectoria de la institucionalización de la educación ambiental en la educación superior en México. *REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental* 39(2), 93-115. https://doi.org/10.14295/remea.v39i2.14164

Cantú-Martínez, P. (2013) Conciencia y construcción social de la sustentabilidad. *Ciencia UANL*, 16 (62), 36-44. http://eprints.uanl.mx/3288/1/6Sustentabilidad.pdf

Carrizosa, J. (2023). Universidad, sustentabilidad y complejidad. En J. Peña, H. Cortés y A. Beira (Eds.). *Reflexiones y experiencias en educación superior y sustentabilidad: avanzando hacia una educación superior para la sustentabilidad* (20-33). Centro de Pensamiento para la Estructuración de la Sustentabilidad en la Educación Superior; Universidad de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84166

González-Gaudiano, E., Meira-Cartea, P. y Martínez-Fernández, C. (2015). Sustentabilidad y Universidad: retos, ritos y posibles rutas. *Revista de la Educación Superior,* 44 (175), 69-93. https://doi.org/10.1016/j.resu.2015.09.002

Gutiérrez, B. y Martínez, M. (2010). El plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior. Escenarios posibles. *Revista de la Educación Superior*, 39 (154), 111-132. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-27602010000200006&lng=es&nrm=iso

Jiménez-Martínez, NM. (2021). La sustentabilidad universitaria en México: avances y desafíos. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, *4*, e152. https://doi.org/10.46380/rias.vol4.e152

Kopnina, H. (2014). Revisiting Education for Sustainable Development (ESD): Examining Anthropocentric Bias through the Transition of Environmental Education to ESD. *Sustainable Development*, (22), 73-83. https://doi.org/10.1002/sd.529

Leal-Filho, W. (2000). Dealing with misconceptions on the concept of sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 1 (1), 9-19. https://doi.org/10.1108/1467630010307066

Leal-Filho, W., Amaro, N., Ávila, LV., Brandli, L., Damke, LI., Vasconcelos, C., Hernández-Diaz, PM., Frankenberger, F., Fritzen, B., Velázquez, L. y Salvia, A. (2021). Mapping sustainability initiatives in higher education institutions in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128093. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128093.

Leal-Filho, W., Sigahi, TFAC, Anholon, R., Gasparetto, B., Schmidt-Ross, I., Hensel-Börner, S., Franco, D., Treacy, T. y Londero, L. (2025). Promoting sustainable development via stakeholder engagement in higher education. Environmental Scencei Europe, 37 (64). https://doi.org/10.1186/s12302-025-01101-0

Martínez-Fernández, Cynthia y González-Gaudiano, Enrique (2015). Las políticas para la sustentabilidad de las Instituciones de Educación Superior en México: entre el debate y la acción. *Revista de la Educación Superior*, 44 (174), 61-74. https://doi.org/10.1016/j.resu.2015.06.002

Mayring, P. (2000) Qualitative content analysis. *Forum qualitative social research*, 1(2). https://www.researchgate.net/publication/215666096_Qualitative_Content_Analysis

Microsoft Corporation. (2019). Microsoft Excel. Retrieved from https://office.microsoft.com/excel

Montes de Oca Hernández, Acela y Naessens, Hilda (2023). Planteamientos crítico-conceptuales sobre la sustentabilidad. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (33), 45-63. https://doi.org/10.17141/letrasverdes.33.2023.5523

Nava-Bringas, M., Piñar-Álvarez, MA. y Wojtarowski-Leal, A. (2023). Política de sustentabilidad en universidades mexicanas. *Inter disciplina* 11 (31), 227-246. https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2023.31.86086

Nogueiro, T., Saraiva, M., Chaleta, E. (2025). Global Trends in Sustainability Policies in Higher Education. In: Machado, C.F., Davim, J.P. (eds) *Management in Higher Education for Sustainability. Management and Industrial Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84963-3_4

Oliveira, L., Oliveira, U. y Aprigliano, V. (2025). Integrating sustainability into quality assessment for higher education institutions. *Journal of Cleaner Production*, (486), 144466. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144466

Reyes, M., Ibañéz, M. y London, S. (2023). Desarrollo Sostenible: discusiones sobre su definición y debates actuales. *Revista de Economía del Caribe*, (31) 1. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21062023000100070&lng=en&tlng=es.

Rivera-Hernández, J., Alcántara-Salinas, G., Blanco-Orozco, N., Pascal Houbron, E. y Pérez-Sato, J. (2017). ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. Revista Posgrado y Sociedad Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado,15 (1), 57-67. https://doi.org/10.22458/rpys.v15i1.1825

Ruiz, V., Lawthom, R., Prowse, A. Randles, S. & Tzoulas, K. (2019). Implications of vertical policy integration for sustainable development implementation in higher education institutions. *Journal of Cleaner Production*, 235, 733-740. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.022

Shaw, R., Horan, W., Moles , R. y O'Regan, B. (2019). Mapping of sustainability policies and initiatives in higher education institutes. *Environmental Science & Policy,* 99, 80 – 88. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.015

Shriberg, M. y Tallent, H. (2003). Beyond principles: implementing the Talloires Declaration. *Greening of the Campus V: Connecting to Place*, *3*(3), 203-212. https://www.researchgate.net/publication/253987058_BEYOND_PRINCIPLES_IMPLEMENTING_THE_TALLOIRES_DECLARATION

Suasnábar, C,, del Valle, D., Didriksson, A. y Korsunsky, L. (2018). Introducción. En C. Suasnábar, D. del Valle, A. Didriksson y L. Korsunsky (Coord.), *Balance y desafíos hacia la CRES 2018* (17-28). Instituto de Estudios y Capacitación de la Federación Nacional de Docentes Universitarios (IEC-CONADU); Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO); Universidad Nacional de las Artes (UNA); Universidad Nacional de las Artes. https://doi.org/10.2307/j.ctvt6rkhr.3

Tasdemir, C. y Gazo, R. (2020). Integrating sustainability into higher education curriculum through a transdisciplinary perspective. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121759. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121759

Capítulo 5. Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión hídrica urbana: evaluación técnico-social y recomendaciones de autogestión alineadas con el ProNacEs Agua.

Mariana Martínez-Castrejón[1]
Hilda J. Arellano-Wences[2]
Ricardo Herrera-Navarrete[3]

Resumen

El presente trabajo analiza tres soluciones basadas en la naturaleza -sistemas de captación de agua de lluvia, humedales artificiales y celdas de combustible microbianas- como articuladoras de la sostenibilidad del ciclo hidrosocial en el contexto de Sur Global. A partir de una revisión de la revisión integradora de la literatura publicada en Scopus de 2019 a 2025 se identificaron sus aportes al abasto, tratamiento y valorización del agua residual. Este análisis permite concluir con la formulación de recomendaciones y pautas de autogestión hídrica situadas y coherentes con la visión transformadora del ProNacEs Agua.

Palabras clave: Autogestión doméstica del agua, beneficios sociotecnológicos, justicia socioambiental, soluciones basadas en la naturaleza

1. Introducción

[1] [Doctora en Ciencias Ambientales]. [Profesor Investigador] en [SECIHTI-UAGro], [México]. ORCID: [https://orcid.org/0000-0002-1224-7479] ; Scopus: [https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57280745300] ; correo electrónico: [marianamartinez@uagro.mx]
[2] [Doctora en Ciencias Ambientales]. [Profesor Investigador] en [Universidad Autónoma de Guerrero], [México]. ORCID: [https://orcid.org/0000-0001-7308-7731] ; Scopus: [https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57215662519]
[3] [Doctor en Ciencias Ambientales]. [Profesor Investigador] en [SECIHTI-UAGro], [México]. ORCID: [https://orcid.org/0000-0002-9175-4486] ; Scopus: [https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57226607238]

En la actualidad, la sociedad enfrenta retos hídricos en todas las urbes del mundo. Estos retos se relacionan con la escasez del agua en la naturaleza, afectando el suministro potable. Además, el incremento poblacional en las ciudades incrementa la producción de agua residual y el agotamiento de los acuíferos (Gleason y Casiano, 2021). Lateralmente, debido al cambio climático sumado a la densidad poblacional incremental, la impermeabilización y el cambio de uso del suelo urbano y el deterioro e insuficiencia de la infraestructura hídrica, las ciudades se enfrentan a inundaciones intraurbanas en cada temporada de pluvial. Esta problemática se vive más intensamente en las ciudades del Sur Global en donde al panorama anterior se suman inundaciones extremas, sequías, deslizamientos de tierra, olas de calor y pérdida de biodiversidad (Romero-Duque et al., 2020). En el trabajo de Izah et al. (2024) se señala que se requieren aproximadamente 114 000 millones de dólares para garantizar una gestión eficiente del ciclo urbano del agua y satisfacer las necesidades sociales en esta región.

México forma parte del Sur Global compartiendo la acuciante crisis hídrica que lo caracteriza en donde las soluciones centralizadas de abastecimiento hídrico y de manejo del agua residual han alcanzado sus umbrales máximos de eficiencia vulnerando el ciclo hidrosocial urbano. En esta región, los cambios administrativos locales son fundamentales para mitigar los efectos que provoca la ineficiencia de la infraestructura y mejorar la capacidad de las urbes para satisfacer las necesidades ciudadanas (Izah et al., 2024).

Bajo el lente analítico del ciclo hidrosocial, resulta indispensable integrar las dimensiones tecnológica, social y ecológica en las políticas públicas orientadas hacia la gestión hídrica. Este enfoque internacionalmente validado se sustenta en los postulados de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 emitidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). En México, los esfuerzos por incorporar esta visión sustentable y sistémica se reflejan en los Programas Nacionales Estratégicos (ProNacEs), iniciativa prioritaria del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías -ahora Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)- (Fuentes-Penna et al., 2023).

La política pública de los ProNacEs se propone atender problemas nacionales que, por su urgencia y complejidad, requieren del involucramiento de las instituciones de educación superior, los centros de investigación, las instituciones del sector público en todos los niveles, las organizaciones civiles, las empresas y los ciudadanos. El objetivo final de

cada programa -10 en total (Agentes tóxicos y procesos contaminantes, Salud, Agua, Seguridad humana, Cultura, Sistemas socio-ecológicos, Educación, Soberanía alimentaria, Energía y cambio climático y Vivienda)- es proponer soluciones integrales, amplias y profundas a partir de la investigación aplicada que fomente la soberanía nacional y la protección del medioambiente (SECIHTI, 2025a).

Particularmente, el ProNacEs Agua busca gestionar soluciones sostenibles para le gestión hídrica que se fortalezcan trasversalmente con la participación de la comunidad, la comunidad científica, las autoridades y las empresas privadas con el propósito de fomentar el bien común y la justicia ambiental retomando los saberes populares, el conocimiento de frontera y las prácticas institucionales (SECIHTI, 2025b).

El propósito del ProNacEs Agua se percibe ampliamente alineado al concepto de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Este concepto, internacionalmente validado y enfocado en la gestión sostenible y la protección de los ecosistemas terrestres, de agua dulce, costeros y marinos, naturales o modificados, busca retomar el conocimiento ancestral en propuestas tecnicocientíficas que se beneficien de los procesos naturales o los imiten para mejorar la gestión hídrica y fortalecer la resiliencia socioambiental (World Water Assessment Programme, 2018).

Entre las SbN más reconocidas se encuentran los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALLs) y los humedales artificiales (HA). Ambas, importantes contributivas a la gestión sostenible del agua a escala urbana y doméstica. Es importante resaltar la importancia de la implementación de las SbN a microescala, i.e., en una edificación independiente que puede inclusive ser unifamiliar. La independencia de la red municipal para el abasto hídrico -a partir de los SCALLs- y para el tratamiento y recirculación del agua residual -aportaciones de los HA- fortalece el abasto porque se sustenta en la autogestión y la resiliencia ante afectaciones en la red colectiva de la ciudad. Un caso menos popular de SbN, pero con gran potencial, son las celdas de combustible microbianas (CCM). Estos sistemas bioelectroquímicos aprovechan el metabolismo de microorganismos electroquímicamente activos para dar tratamiento al agua residual y producir electricidad -bioelectricidad-, operando de forma completamente autónoma o acoplados a otras SbN para incrementar la eficiencia del tratamiento del agua residual o la producción de energía. Su implementación más factible es a microescala insitu (Capodaglio et al., 2021, Martínez-Castrejón et al., 2022).

La implementación de las SbN a nivel doméstico supone un nodo estratégico que conjunta innovación, apropiación y resiliencia beneficiando directamente al ciudadano común, lo independiza y empodera al tiempo que reduce la presión ejercida sobre las redes municipales y plantea soluciones estructurales para el autoabasto y la autogestión del agua residual sobre la base de la conciencia ambiental, que en escenarios adversos ante fenómenos hidrometeorológicos exacerbados por el cambio climático, son altamente valoradas (Montesinos-Pedro et al., 2025). A pesar de que las SbN han probado su eficacia en diversos ámbitos y escalas, existe una brecha importante en su estudio, particularmente se percibe el poco análisis comparativo sociotecnológico a nivel doméstico, la débil integración entre la evaluación técnica y los procesos sociales de adopción, uso y apropiación, la falta de estudios que conecten las SbN con agendas nacionales como el ProNacEs Agua y la carencia de pautas de autogestión situadas en el contexto del Sur Global. El análisis de las tres SbN mencionadas en conjunto fortalecen la gestión holística del agua doméstica porque integra un paquete ecotecnológico que gestiona el abasto de agua potable con los SCALLs y el tratamiento del agua residual gris y negra a través de los humedales artificiales y las CCM respectivamente.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es explorar la contribución de tres SbN a escala doméstica a la sostenibilidad del ciclo hidrosocial partiendo de una evaluación sociotecnológica que permita formular las pautas de autogestión hídrica situadas y en concordancia con la visión transformadora del ProNacEs Agua.

2. Marco teórico

2.1. El ciclo hidrosocial y la gestión hídrica urbana

Desde el origen del concepto, el ciclo urbano del agua se ha valorado desde una perspectiva tecnocéntrica tomando forma en el molde de los conocimientos y avances técnico-científicos y configurando las ciudades de infraestructura gris -grandes obras centralizadas gestionadas y operadas por el Estado-. Sin embargo, este paradigma de funcionamiento urbano se vislumbra por caer dada la transformación de las necesidades de las urbes y la creciente conciencia hídrica en la que el agua ha pasado de ser simplemente un recurso por explotar a ser concebido como catalizador del bienestar humano y un eje sociopolítico (Popartan et al., 2023).

Desde la interdisciplinariedad, pero particularmente en las entrañas de las ciencias sociales, se ha gestado el concepto de ciclo hidrosocial en el que la gobernanza tiene un rol protagónico dadas sus facultades para atender las necesidades sociales desde la perspectiva del ciudadano. Además, el concepto sienta las bases para la construcción de una agenda de gestión hídrica urbana que reconoce e incluye la valoración de la sociedad por el recurso hídrico en la naturaleza y procura su empoderamiento en el abasto, uso, tratamiento y recirculación al tiempo que lo separa de la red municipal y fortalece su resiliencia ante disfunciones de esta. Esta inclusión conceptual pero materializable resulta más adecuada para atender los acuciantes retos hídricos actuales en los que la sostenibilidad de las soluciones es imperativa.

La gestión del ciclo hidrosocial requiere de la atención de todos los actores involucrados y de la recuperación de los imaginarios colectivos y saberes ancestrales en torno al agua desde la colectividad situada como los cimientos para las soluciones técnico-científica.

El Sur Global se presenta como una región de alta desigualdad en el acceso al agua y al saneamiento. Es en esta región en la que la escasez toma un matiz crítico debido a las disparidades estructurales que propician una hidrohegemonía indolente para el grueso de la población. En este contexto el agua es percibida por quienes ostentan el poder de decisiones, como un recurso económico priorizando la ganancia que puede generar su gestión sobre la distribución equitativa entre la población (Thommandru et al., 2025). Para el Sur Global las SbN presentan una alta relevancia. Cuando son empleadas a microescala limitan la dependencia civil a la infraestructura urbana.

2.2. Soluciones basadas en la naturaleza en el ámbito urbano

De acuerdo con el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018 emitido por la ONU:

> *"Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) están inspiradas y respaldadas por la naturaleza y el uso o imitación de los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua… Una SbN utiliza los servicios del ecosistema para contribuir a un resultado de gestión del agua. Una SbN puede implicar la conservación o rehabilitación de ecosistemas naturales y/o la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales. Se pueden*

aplicar a microescala (por ejemplo, un inodoro seco) o macroescala (por ejemplo, el paisaje).” (World Water Assessment Programme, 2018, p. 25).

Las SbN en las urbes son reconocidas como estrategias alternativas o complementarias a la infraestructura gris capaces de atender los retos hidrosociales. Los retos referidos incluyen manejo de inundaciones, abasto hídrico a partir de la escorrentía urbana y la precipitación pluvial, almacenaje del agua para usos posteriores y tratamiento o pretratamiento del agua residual en una amplia diversidad de efluentes urbanos (Qi et al., 2020; Santos, 2025). Las condiciones de aplicación de las SbN son diversas y dependen de las necesidades particulares de los beneficiarios. En el Sur Global, las SbN son particularmente relevantes en donde las estrategias de gestión hídrica deben ser lo más autosuficientes posible (Castelo et al., 2023). En la región se han estudiado casos de implementación individuales y de paquetes de SbN también llamados ecotecnológicos (Martínez-Castrejón et al., 2022a)

2.2.1. Autogestión hídrica y soberanía: marco conceptual para el análisis socio-técnico

Las SbN son estrategias de gestión hídrica en las que la participación ciudadana tiene un rol predominante. En general, en los últimos cincuenta años, la sociedad ha experimentado la necesidad de ser escuchada por el Estado y ha exigido participar en la generación de políticas públicas y en la toma de decisiones, particularmente en el ámbito de la sostenibilidad (Kiss et al., 2022). Esta tendencia, en México se refleja en el ProNacEs Agua, particularmente en el eje 2: Autogestión comunitaria del ciclo socio-natural del agua y el Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (ProNaII) Fortalecimiento y articulación de sujetos colectivos para la defensa y gestión del agua en el territorio (SECIHTI, 2025b). Esta perspectiva es particularmente significativa en las ciudades, territorios marcados por la exclusión social, la gobernanza neoliberal y la ideología del crecimiento, características incompatibles con la justicia ambiental e hídrica (Arango-Quiroga & Kuhl, 2023).

Las SbN articuladas a partir del ProNacEs Agua y el ProNaII mencionado ostentan el potencial de reducir las inequidades estructurales que presentan las urbes mexicanas dado que permiten nuevos ensamblajes sociotécnicos a microescala, propiciando la independencia total o parcial de la infraestructura municipal y transformándose hacia la resiliencia hidrosocial. Lo anterior, debido a que para ProNacEs Agua es indispensable la articulación

de los saberes ancestrales, locales y científicos para alcanzar la apropiación social de la tecnología.

2.2.2. Sistemas de captación de agua de lluvia a microescala doméstica urbana

El agua pluvial es considerada una fuente alternativa para el abasto en las ciudades de origen ancestral adjudicado a los Mayas y a otras culturas antiguas (Oropeza-García et al., 2025). La cosecha de agua de lluvia es llevada a cabo a través de tecnología pasiva y de bajo impacto denominada SCALLs. Estos sistemas generalmente conformados por una superficie de captación, un sistema de conducción, un proceso de filtrado y de tratamiento y un método de almacenamiento se destinan a la recogida de agua precipitada sobre techados, suelos o arroyos vehiculares (Martínez-Castrejón et al., 2022, Suprapti et al., 2025). Los SCALLs domésticos son ampliamente reconocidos por sus aportaciones en la restauración del ciclo hidrológico en el entorno urbano limitando la demanda de agua potable de las fuentes naturales, contribuyendo al control de la escorrentía urbana por retención y aumentando la disponibilidad hídrica en las viviendas con autonomía de la red municipal dependiendo de las cualidades climáticas del lugar de instalación (Palla & Gnecco, 2021). Por otro lado, los SCALLs presentan áreas de oportunidad de intervención de políticas públicas como el costo de la instalación y de mantenimiento y la vigilancia de la calidad del agua cosechada.

2.2.3. Humedales artificiales para el tratamiento del agua gris generada por viviendas urbanas

Los HA se consideran una tecnología de bajo costo, prácticos y eficaces para el tratamiento y reutilización de aguas grises, ya que funcionan como biofiltros para evitar hidrofobicidad y alteración en las comunidades microbianas del suelo (Henderson et al., 2022). Son sistemas que se rigen bajo procesos ecológicos y que realizan una función imitando los entornos naturales, su ecosistema se integra por vegetación, capas de suelo y poblaciones microbianas, útiles para estabilizar y degradar diversos tipos de contaminantes. Los HA se clasifican de acuerdo con su diseño en humedales construidos de flujo superficial, flujo subterráneo, flujo vertical, flujo horizontal y humedales construidos de alimentación continua/por lotes (Sijimol et al., 2021).

Los HA se consideran una tecnología de bajo costo, prácticos y eficaces para el tratamiento y reutilización de aguas grises, ya que funcionan como biofiltros para evitar hidrofobicidad y alteración en las comunidades microbianas del suelo (Henderson et al., 2022). Si bien, la creciente presión sobre los recursos hídricos amenaza la seguridad alimentaria, los ecosistemas de agua dulce y la salud humana, las aguas grises pueden ser un recurso para reducir la crisis del agua, sin embargo, su uso directo puede contener componentes químicos y microbiológicos que pueden presentar riesgos adversos para la salud (Compaoré et al., 2023).

2.2.4. Celdas de combustible microbianas: principios y potencial de aplicación doméstica

Las CCMs son dispositivos electroquímicos con la capacidad de generar bioenergía, cualidad que los integra en la categoría de bioelectroquímicos. A la par de la generación bioeléctrica, se suma a sus cualidades la degradación de materia orgánica de los sustratos con los que opera aprovechando el metabolismo de los microorganismos a los que les brinda el medio de subsistencia. Se trata de reactores de tratamiento de efluentes residuales en los que la reacción de oxidación anódica es catalizada por microorganismo anaeróbicos en al ánodo del dispositivo, mientras que el cátodo, el proceso de reducción puede llevarse a cabo de forma biótica o abiótica. Además de la cámara anódica y el cátodo, las CCMs presentan esencialmente una membrana de intercambio de protones y un circuito externo para unir a los electrodos, un aceptor de electrones y bacterias electroquímicamente activas (Ramirez-Nava et al., 2021, Martínez-Castrejón et al. 2022b). Las CCMs han recibido una atención creciente desde el s. XXI debido a la concientización sobre los problemas ambientales y la necesidad de fuentes alternativas de energía.

Las bacterias son el componente principal de las CCMs. Estas deben ser capaces de transferir electrones al ánodo. Las bacterias más efectivas para la generación de bioelectricidad son Geobacter y Shewanella. Además, los cultivos han demostrado una mayor capacidad metabólica que los cultivos puros (Martínez-Castrejón et al. 2022b).

Las CCMs, aunque emergentes, han demostrado ser efectivas en el tratamiento de diversos efluentes residuales siempre que estos, cuenten con una alta carga de materia orgánica. En estos dispositivos, es posible la depuración del agua residual, presentándose

como una potencial solución al problema de la contaminación del agua. Entre las perspectivas para las CCMs se vislumbra su viabilidad en aplicaciones cotidianas (You et al., 2021).

3. Metodología

Se llevó a cabo una revisión integrativa de la literatura científica publicada de 2019 a 2025 para conocer el estado del arte sobre tres SbN para la gestión descentralizada del ciclo urbano del agua en viviendas: SCALLs, HA para aguas grises y CCM.

La búsqueda bibliográfica se realizó en Scopus a través Publish or Perish (PoP), un software de libre acceso que conecta hacia repositorios digitales de literatura científica. Scopus es considerada una base de datos multidisciplinaria e internacional que proporciona producción de con alto factor de impacto a nivel mundial por lo que se ha convertido en un estándar en el campo de la bibliometría (Herrera-Navarrete et al., 2021; Rose & Kitchin, 2019).

Para asegurar una amplitud y pertinencia contextual, se realizó una combinación conceptual, técnica y empírica de búsqueda de evidencia, desde la perspectiva multidisciplinaria consistente con los Programas Nacionales Estratégicos, particularmente con el ProNacEs Agua y el ProNaII Fortalecimiento y articulación de sujetos colectivos para la defensa y gestión del agua en el territorio.

Para ello, se aplicaron tres líneas de búsqueda: (1) un enfoque amplio orientado a sistemas domésticos en contexto urbano; (2) un enfoque técnico centrado en eficiencia hidráulica y capacidad de almacenamiento; y (3) un enfoque sistémico relacionado con circularidad del agua y metabolismo urbano (Tabla 1). La selección de documentos fueron artículos científicos, por lo que su exclusión se enfocó en capítulos de libro, documentos de conferencias y documentos duplicados de anteriores líneas de búsqueda. Además, en el caso de las CCM, la selección incluyó la discriminación de los productos que no se elaboraron con el enfoque de beneficiar de alguna manera a la sociedad de forma directa. Esta discriminación de contenido condujo al rechazo de 47 de los 69 previamente recuperados, dejando un corpus de análisis de 22 artículos.

Tabla 1

Proceso y criterios de búsqueda en el período 2019-2025

SbN	Línea de búsqueda	Términos de búsqueda	Documentos recuperados	Documentos excluidos
Sistemas de Captación de agua de lluvia	Enfoque amplio	"rainwater harvesting" "urban" "residential" OR "household" OR "domestic"	9	2
	Enfoque técnico	“rainwater harvesting” “urban housing” “storage” OR “performance” OR “efficiency”	0	0
	Enfoque sistémico	“rainwater harvesting” “urban metabolism” OR “circular water” OR “water circularity”	0	0
Humedales Artificiales para aguas grises	Enfoque amplio	"constructed wetlands" "greywater" "residential" OR "household" OR "domestic"	8	3
	Enfoque técnico	"constructed wetlands" "greywater treatment" "household" "urban"	1	1
	Enfoque sistémico	"constructed wetlands" "circular economy" OR "urban metabolism"	0	0
Celdas de Combustible Microbianas	Enfoque amplio	"microbial fuel cell" "urine" OR "domestic wastewater"	75	8
	Enfoque técnico	"microbial fuel cell" "domestic wastewater" "treatment" "energy"	2	0
	Enfoque sistémico	"urban water cycle" "household" "circular economy" OR "urban metabolism"	0	0

Nota. Sbn = Soluciones basadas en la Naturaleza

En la captación pluvial doméstica muestra ausencia de literatura en dos enfoques, lo que confirma mayores estudios desde perspectivas hidrológicas y de mitigación de inundaciones, pero escasamente abordada desde marcos conceptuales de metabolismo urbano o economía circular del agua. Esto refuerza la pertinencia del presente capítulo al integrar esta triada conceptual en el análisis de tecnologías verdes descentralizadas. Además, presentan una distribución equilibrada entre enfoques:

• Hidrológico–técnico: Freni (2019), Deitch, & Freirer (2019), Palla, & Gnecco (2021, 2022), Hasnain et al. (2022)
• Sistémico–comunitario: Suprapti et al. (2025)
• Socioeconómico y percepción pública: Tsai, & Onishi (2022)

Respecto a los humedales artificiales para aguas grises, la literatura se enfoca explícitamente en sistemas domésticos y a escala de vivienda es escasa y dispersa, lo cual subraya la pertinencia de integrar y analizar detalladamente las pocas contribuciones disponibles (Henderson et al., 2022; Compaoré et al., 2023; Boopathi, & Kadarkarai, 2022; Sacco et al., 2024; Sijimol et al., 2021).

Mientras que las búsquedas centradas en las celdas de combustible microbianas desde un enfoque técnico y sistémico tienen estrecha relación con los impactos del tipo de inóculo (Salar-García 2020), así la producción de energía y remoción de demanda química de oxígeno (DQO) y factores limitantes relacionados con la estabilidad del biofilm, los costos y la escalabilidad.

4. Desarrollo

4.1. Contexto de las SbN en vivienda

El concepto de SbN emergió en la primera década del siglo XXI como propuesta del Banco Mundial y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza para enfrentar las consecuencias atraídas por la urbanización tradicional o infraestructura gris (Banco Mundial, 2008; UICN, 2009). La propuesta consiste fundamentalmente, en i) retomar la sustentabilidad de las prácticas ancestrales como la captación pluvial fortaleciéndolas con los avances tecnológicos contemporáneos, i.e., una reapropiación y ii) fomentar la sustentabilidad urbana y de los ecosistemas fortaleciendo, imitando o mejorando los procesos naturales como la infiltración o la depuración de efluentes a partir del metabolismo microbiano.

Esta reapropiación de saberes ancestrales o de cualidades de los ecosistemas aportaron avances urbanos en aplicaciones de biotecnología como los humedales artificiales o las CCMs, en monitoreo de calidad de corrientes intraurbanas a partir de los

macroinvertebrados que reciben y estrategias de diseño urbano como los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS, por sus siglas en inglés) entre muchas más y variadas aplicaciones.

En la literatura reciente se detectaron ventajas urbanas atraídas con la implementación de SbN de enfoque hídrico (Tabla 2).

Tabla 2

Funciones hidrosociales de las SbN en las ciudades

Función en el ciclo hidrosocial	***SbN***	**Escala de aplicación**	**Referencia**
Mitigación de la isla de calor	Preservación del terreno permeable o vegetado	Urbana y Doméstica	Liu *et al.,* 2020 Irfeey *et al.,* 2023
Mejoramiento de la calidad del aire	Arbolado y corredores ecológicos	Urbana	Peng *et al.,* 2022
	Techos y muros verdes	Doméstica	Wang *et al.,* 2022
Mitigación y tratamiento de escorrentías	*SUDS*	Urbana	Lekuona-Orkaizagirre *et al.,* 2025
	Humedales artificiales *SCALLs*	Urbana y Doméstica	Freni, 2019, Deitch, & Feirer, 2019
Recirculación de efluentes residuales tratados	Humedales artificiales	Urbana y Doméstica	Compaoré & Tidiane (2023);
Tratamiento sostenible de efluentes residuales Incremento en la disponibilidad de agua	*CCMs* *SCALLs*	Doméstica	Suprapti *et al.,* 2025

Nota. SbN = Soluciones basadas en la Naturaleza; SDUS = Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible; CCMs = Celdas de Combustible Microbianas; SCALLs = Sistemas de Captación de Agua de LLuvia

Es importante resaltar que las SbN recuperadas son descentralizadas, lo que evidencia la importancia de las aplicaciones a nivel doméstico y a la vivienda como unidad de análisis básica. Vistas a microescala, las SbN domésticas se perciben como micro-infraestructuras distribuidas a lo largo y ancho de las ciudades, brindando alivio local a las necesidades hídricas particulares de los ciudadanos y a las redes municipales de abasto y saneamiento.

La aplicación doméstica de las SbN acerca la tecnología a las prácticas, percepciones, conocimientos e interacciones de la sociedad. De esta forma, se rescatan especificidades derivadas de las prácticas domésticas -caudales y calidades de las descargas, usos consuntivos principales (frecuencia y volumen), fuentes de abasto y destino de efluentes- propiciando soluciones a la medida de los beneficiarios directos de la tecnología. Este nivel de implementación se traduce en la idea de que la tecnología por sí sola no transforma la gestión hídrica, sino que transforma la articulación socio-técnica favoreciendo el ciclo hisrosocial.

En el ProNacEs Agua, este recurso se presenta como eje transformador hacia la justicia hídrica a través del empoderamiento del ciudadano manifestándose directamente sobre las cualidades climatológicas de los territorios de aplicabilidad, propiciando la autonomía hídrica y reduciendo las vulnerabilidades propiciadas por fenómenos hidrometeorológicos y la propia obsolescencia de la infraestructura convencional.

4.2. Sistemas de captación de agua de lluvia

La captación de agua de lluvia es una SbN aplicable a escala doméstica que opera aprovechando la precipitación local, disminuye la dependencia del suministro centralizado y favorece el cierre del ciclo hidrosocial urbano. La revisión de la literatura enfatiza su pertinencia en contextos urbanos densos y periurbanos con vulnerabilidad a inundaciones o déficit hídrico (Tabla 3). Como parte de los resultados de esta revisión se presentan las recomendaciones relacionadas con el contenido de cada una de las publicaciones del análisis.

Tabla 3

Síntesis de hallazgos sobre SCALLs en viviendas urbanas

Escala	Hallazgos técnicos	Recomendaciones	Referencia
Multifamiliar (>400 viviendas, Italia)	La capacidad de almacenamiento es el principal factor que determina la retención efectiva; *SCALLs* reducen inundaciones locales mediante simulación FLO-2D.	Considerar la capacidad de almacenamiento como parámetro crítico de diseño.	Freni, 2019
Periurbano (cuenca en Florida)	*SCALLs* reducen caudales agregados >20% cuando hay alta densidad de viviendas; posible conversión de tanques sépticos para almacenamiento.	Analizar los efectos acumulados a escala de cuenca; incluir infraestructura	Deitch, & Feirer, 2019

		existente (p. ej., tanques).	
Dos asentamientos urbanos	Reducción del estrés del drenaje hasta ~70% mediante SWMM; RTC (control en tiempo real) aumenta el desempeño.	Integrar sistemas RTC con plataformas digitales para operación.	Palla & Gnecco, 2021
Subcuencas urbanas	Efectividad significativa cuando el almacenamiento ≥40% del volumen del evento crítico; análisis multiescenario con EPA-SWMM.	Adoptar criterios de dimensionamiento basados en porcentaje del evento crítico.	Palla, & Gnecco, 2022
Viviendas urbanas (Japón)	Alta disposición a pagar en hogares con experiencia en inundaciones y actitudes ambientales proactivas.	Integrar educación ambiental y estrategias de comunicación para aumentar adopción.	Tsai, & Onishi 2022
Rawalpindi (Pakistán), escala doméstica	El *SCALL* puede cubrir unaproporción relevante de demanda no potable; limitantes por tamaño de azotea y almacenamiento.	Dimensionar según demanda real, azotea y lluvia mensual; considerar escenarios de sequía.	Hasnain *et al.,* 2022
Área urbana en Yakarta	Mayor confiabilidad hídrica con modelo híbrido doméstico-comunal; apoyo a recarga urbana.	Considerar modelos híbridos con almacenamiento comunal para mayor resiliencia.	Suprapti *et al.,* 2025

Nota. SCALLs: Sistemas de Captación de Agua de Lluvis; SWMM = Software Modelo de Gestión de Aguas Pluviales; CTR = Control en Tiempo Real

Se detectó que los SCALLs se vinculan con el ciclo hidrosocial debido a que su funcionamiento depende de la capacidad de almacenamiento en las viviendas, la frecuencia y distinción de usos domésticos no potables y su capacidad para liberar presión de la red de abasto.

Con relación a los hallazgos sociotecnológicos, se recuperaron únicamente dos estudios. Palla & Gnecco (2021) proponen el uso de plataforma web-GIS y la integración tecnológica para gestión y toma de decisiones. Por otro lado, Tsai & Onishi (2022) reportan una alta disposición a pagar por los SCALLs en hogares con experiencia en inundaciones y actitudes ambientales proactivas.

Estos resultados demuestran la escasa investigación sobre SCALLs aplicados específicamente en viviendas urbanas en México. Además, existe un área de oportunidad

para los abordajes sociotecnológicos profundos, mismos que abonan a la perspectiva sistémica de las implementaciones de los SCALLs. También requieren atención los sistemas híbridos que conjugan otras SbN con los sistemas de cosecha pluvial para cerrar el ciclo hidrosocial. En general se percibe la falta de estudios de caso en contextos de vivienda social densa y asentamientos informales para evaluar la viabilidad de los SCALLs.

4.3. Humedales artificiales para tratar aguas grises domésticas

La implementación a escala doméstica de los humedales artificiales se alinea con el ProNacEs Agua dada su factibilidad de fortalecer la autogestión de efluentes residuales como el agua gris, tratarla y recircularla como agua para usos secundarios –no potables-.

En la literatura revisada (Tabla 4) se encontró que los humedales artificiales domésticos que trataron agua gris presentan altas remociones de DBO, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y nutrientes (Sijimol et al., 2021, Boopathi & Kadarkarai, 2022, Compaoré et al. 2023). Además, Compaoré et al. (2023) reportan una reducción de coliformes >2.5 log. Por otro lado, Henderson et al. (2022) analizaron cuatro sistemas de flujo vertical recirculante en una comunidad del desierto del Negev evaluaron la presencia de genes y bacterias resistentes a antibióticos en los efluentes tratados logrando su disminución. Es conveniente resaltar el trabajo de Sacco et al., 2024 quienes empleando humedales de flujo vertical mostraron eficiencias superiores al 90% en la remoción de micro-contaminantes, permitiendo su reutilización para su uso no potable.

Tabla 4

Síntesis de estudios sobre humedales construidos para aguas grises domésticas

Escala	Hallazgos técnicos	Recomendaciones	Referencia
Comunidad pequeña; 4 humedales verticales recirculantes	Reducción de 1–3 log de genes de resistencia (sul1, qnrS, blaCTXM32). Comunidad microbiana estable. Necesidad de monitorear integrones (intI1).	Monitorear integrones por riesgo de transferencia horizontal. No reporta recomendaciones de diseño hidráulico.	Henderson *et al.,* 2022
Escala piloto (Sahel); 3 humedales: sin plantas y plantados	>90% remoción de SST, DQO, nutrientes. *A. gayanus* con mejor desempeño en DBO_5. >2.5 log en reducción de coliformes fecales.	Preferir humedales plantados. Seleccionar especies locales (*A. gayanus, C. zizanioides*).	Compaoré *et al.* 2023

Escala	Hallazgos técnicos	Recomendaciones	Referencia
	Efluente apto para riego restringido según OMS.	Uso posible para riego restringido.	
Laboratorio; Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSH)	Remociones: 77–90% DBO; 70–81% DQO; 82–91% SST; 76–84% nitrógeno total. Buen desempeño con variedades de caña.	Considerar caña de azúcar como especie fitorremediadora local. No reporta recomendaciones para escalamiento.	Boopathi & Kadarkarai 2022
Comparativo: HAFV descentralizado vs. postratamiento de PTAR	>90% remoción de microcontaminantes (diclofenaco, DEET). Uso de biochar como sustituto sostenible del sustrato.	Emplear HAFV cuando se requiera remoción avanzada de microcontaminantes. Evaluar biochar como material sostenible.	Sacco *et al.,* 2024
Laboratorio; humedales box-type con Napier, Vetiver y Equisetum	80–95% remoción en parámetros (turbidez, acidez, DBO, DQO). Aumento del oxígeno disuelto hasta 97%. Todas las especies mostraron eficiencia.	Seleccionar especies herbáceas adaptables (Napier, Vetiver, Equisetum). Útiles en sistemas compactos de bajo costo.	Sijimol *et al.,* 2021

Nota. SST= Sólidos Suspendidos Totales; DQO= Demanda Química de Oxígeno; DBO_5= Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días; OMS= Organización Mundial de la Salud; PTAR= Planta de Tratamiento de Agua Residual; HAFV= Humedal Artificial de Flujo Vertical; HAFSH= Humedal Artificial de Flujo Subterráneo Horizontal; DEET= N-dietil-meta-toluamida

Sobre los factores socioteconológicos, estos son abordados de forma indirecta en los trabajos analizados, lo que representa un área de oportunidad para la conceptualización de los beneficios aportados por los humedales artificiales al ciclo hidrosocial (Tabla 5).

Tabla 5

Resultados de HA con enfoque sociotecnológico reportados en la literatura revisada

Referencia	Hallazgos socio-tecnológicos
Henderson *et al.,* 2022	Señala implicaciones de riesgo por persistencia de algunos *GRA* (dimensión sociotecnológica indirecta).
Compaoré *et al.,* 2023	Uso de especies locales facilita apropiación y manejo comunitario (mencionado indirectamente).

Nota. GRA = Genes de Resistencia a los Antibióticos

Es posible inferir que la disposición de espacio en las viviendas es una variable que limita la implementación de los humedales artificiales en las viviendas urbanas, sin embargo, pueden

ser una alternativa a las superficies permeables como una estrategia de adopción de un microecosistema con todos los beneficios ecosistémicos que genera.

De las recomendaciones propuestas, conviene recuperar la importancia de plantar los humedales con especies locales o productivas (Boopathi & Kadarkarai 2022), considerar humedales de flujo vertical cuando se requiera la remoción avanzada (Sacco et al., 2024) y la incorporación de monitoreo básico pero constante al efluente cuando se plantee su reúso (Henderson et al., 2022).

Las brechas detectadas incluyen, además de la incorporación de variables sociotecnológicas en los hallazgos, la ausencia de investigación en vivienda social y en asentamientos irregulares, la falta de evidencia de implementación en climas tropicales y húmedos –relevante para México- y la poca integración de los humedales en soluciones híbridas para el tratamiento del agua residual o el abasto hídrico.

4.4. Celdas de combustible microbianas alimentadas con orina huma

A revisión realizada arroja que las CCMs son una alternativa ecológica relevante para el saneamiento sostenible debido a su capacidad de tratar efluentes residuales y generar bioelectricidad. Ostentan un valor especial porque permiten la valorizacipon de residuos como la orina y efluentes residuales de alta carga biológica, transformándolos en energía para operar dispositivos de bajo consumo o para apoyar procesos de remoción de contaminantes (Martínez-Castrejón et al., 2022c).

Los beneficios sociotecnológicos reportados abarcan dimensiones ambientales, sanitarias, agroecológicas y tecnológicas (Tabla 6).

Tabla 6

Resultados de CCMs con enfoque sociotecnológico reportados en la literatura revisada

Hallazgos sociotecnológicos	Recomendaciones	Referencia
Uso explícito como biosensor: capacidad de detectar y degradar metabolito de cocaína (benzoylecgonine) en orina — aplicación para vigilancia/monitoreo de contaminantes farmacológicos.	Evaluar sensibilidad/especificidad en muestras reales, estudiar escalabilidad y protocolos de muestreo para vigilancia sanitaria; explorar integración con sistemas de saneamiento para monitoreo pasivo.	Catal *et al.,* 2019
Inactivación de patógenos en cascadas de *CCMs* (reducción logarítmica	Incluir evaluación de riesgos y normas de bioseguridad;	Ieropoulos *et al.,* 2019

elevada) — implicación directa en bioseguridad y posible reducción del riesgo en efluentes.	explorar requisitos regulatorios para reúso de efluentes; validar con patógenos relevantes localmente.	
Eliminación de antígenos HBsAg (hasta 98.6%) en cascadas de *CCMs*. Beneficio sanitario directo por reducción de riesgo viral.	Evaluar efectividad en distintos volúmenes y condiciones fisiológicas; estudiar inactivación de otros antígenos; analizar potencial de aplicación en unidades de salud con baja energía.	Pasternak *et al.*, 2019
Producción de catolito desinfectante como subproducto (pH>13) con eficacia frente a patógenos (Salmonella). Recurso para desinfección/seguridad sanitaria.	Evaluar seguridad, toxicidad y protocolos de uso del catolito; estudiar factibilidad de reutilización in situ (higiene, desinfección de superficies, agua de baja complejidad).	Gajda *et al.*, 2020
Demostración a escala real de un sistema de 10 L. Recuperación de estruvita y energía, y validación de integración en sistemas descentralizados.	Optimizar balance energético (net energy negativo reportado), mejorar diseño de stack y evaluar modelos de negocio para recuperación de fertilizantes (cadena de valor).	Sharma *et al.*, 2021
El catolito sintetizado por *CCM* muestra capacidad de desinfección (pH ~11 y erradicación de E. coli) dependiente del tiempo de operación — implicación sanitaria directa.	Definir tiempos mínimos operativos para obtener catolito seguro; protocolo de control de calidad microbiológica; estudiar almacenamiento/uso seguro.	Merino-Jimenez *et al.*, 2021a
Una sola MFC cerámica de bajo costo puede accionar un grifo electrónico → beneficio directo en higiene con autosuficiencia energética.	Evaluar durabilidad de la cerámica en uso real; medir desempeño con diferentes calidades de orina; estudiar integración en baños públicos.	Jimenez *et al.*, 2021
Dispositivo micro. *CCM* de muy bajo costo (<1.5 USD) aplicable a diagnóstico de urolitiasis/hiperoxaluria y como microgenerador para dispositivos implantables.	Evaluar estabilidad y durabilidad in vivo; estudiar variabilidad entre usuarios; explorar integración con sensores biomédicos comerciales.	Yousefi, *et al.*, 2021
Uso de residuos agrícolas (cáscara de maíz/astillas) como lecho. Implicaciones de economía circular y disponibilidad local de insumos. Eevidencia de operación en contexto piloto con beneficios para zonas rurales/domésticas.	Diseñar cadenas de abastecimiento local de insumos. Estudiar la sostenibilidad de suministro y la aceptación comunitaria.	Montenegro-Rosero *et al.*, 2022

Plant-MFC con orina ganadera que mejora crecimiento vegetal y genera electricidad en paralelo → beneficio agronómico directo.	Analizar rendimiento en suelos y climas contrastantes; cuantificar balance energético agrícola; evaluar impacto económico para pequeñas unidades ganaderas.	Apollon *et al.,* 2022
Remoción eficiente de ciprofloxacino en aguas domésticas. Beneficio socioambiental en control de contaminantes emergentes.	Evaluar desempeño con matrices reales de aguas residuales; estudiar regeneración del ánodo; revisar riesgos por liberación de nanotubos.	Huang *et al.,* 2022
Análisis costo–beneficio directo: identifica la densidad de potencia como variable crítica para la viabilidad económica — implicación para decisión de inversión y políticas.	Priorizar mejoras en densidad de potencia y calidad de efluente; usar sensibilidad económica para orientar diseños pilotos y subsidios; incorporar evaluación de ingresos por electricidad y por servicios de saneamiento.	Biswas & Chakraborty, 2023a
Uso probado de residuos cítricos y orina como sustratos en *CCM*. Beneficio socioeconómico: aprovechar residuos locales/biomasa para reducir costos operativos.	Evaluar disponibilidad estacional de residuos y logística; analizar coste-beneficio del suministro de sustratos alternativos y su efecto en operación.	Verma & Mishra, 2023
Rol de la vegetación (Typha) en mejorar desempeño de *HA–CCM*; observación de efecto estacional (deterioro en invierno) — implicaciones para confiabilidad operativa y selección de especies.	Seleccionar especies apropiadas al clima local; diseñar planes estacionales de operación y monitoreo; capacitar en manejo de plantas y mantenimiento.	Biswas & Chakraborty, 2023b
HA–MFC vegetado con Dieffenbachia mostró alta eficiencia de tratamiento y generación eléctrica — beneficio directo: planta específica mejora rendimiento operativo.	Validar selección de especies para contexto climático y social; evaluar seguridad de reúso del efluente y modelos de mantenimiento comunitario.	Chaijak & Sola, 2023
Arquitectura escalable y económica de *CCM* domésticas probada en piloto (36 L) para convertir salida en energía utilizable. Viabilidad de solución doméstica de bajo costo.	Escalar ensayos en distintos climas y condiciones; integrar la gestión energética en uso para iluminación, bombas. Proponer un plan de sostenibilidad técnica y financiera.	Suransh *et al.,* 2023
Optimización con IA mejora el desempeño energético de la CCM urinaria (~5% sobre datos experimentales).	Validar modelos IA con datos de operación prolongada; integrar la herramienta como sistema de control en tiempo real; evaluar escalabilidad.	Rezk *et al.,* 2023

Resiliencia de *CCMs* a adición de desinfectantes: recuperación tras choque por hipoclorito. Implicación directa para operación en entornos reales con uso de desinfectantes.	Incorporar estrategias operativas ante adiciones de desinfectante (diseño redundante, recuperación temporal). Evaluar protocolos de limpieza y efectos sobre comunidad microbiana.	You *et al.,* 2024
Diseño AutoDriBER (auto-goteo) con buen desempeño y modelado cinético Diseño autónomo/optimizado para tratamiento de orina en zonas rurales.	Pilotos en campo rural. Validar robustez frente a variabilidad de alimentación; formar manuales de operación local.	Mehrotra *et al.,* 2024
Recuperación de amonio demostrada y vinculación entre resistencia externa y transporte de amonio, beneficio directo para recuperación de nutrientes (cadena de valor fertilizantes).	Optimizar circuitos para favorecer transporte y cristalización (estruvita); evaluar integración con procesos de reúso/venta de fertilizante.	Yodkamonsart *et al.,* 2025
TSM–CCM: desempeño para tratamiento descentralizado y generación eléctrica en oficinas. Solución urbana descentralizadas.	Optimizar para remoción de amonio y eficiencia energética; evaluar adaptación a diferentes tamaños de edificios/oficinas y modelos de gestión.	Larasati *et al.,* 2025
HA-CCM con *Epipremnum aureum* mejora COD, TN, P y genera 4.9 W/m³. Saneamiento descentralizado económico.	Estudiar mantenimiento de las plantas a largo plazo; validar desempeño en climas cálidos y fríos; analizar costo-beneficio para comunidades rurales.	Rajpurohit, & Behera, (2025

Nota. CCM: Celdas de combustible micronianas; HA: humedal artificial; TSM: Tanque séptico modificado; USD: dólares americanos; IA: Inteligencia artificial.

Se documentaron sistemas capaces de eliminar antibióticos, fármacos y antígenos virales, mejorando la seguridad sanitaria a partir de efluentes residuales. Otras investigaciones están enfocadas a las configuraciones que mejoren la eficiencia energética para alimentar dispositivos de uso cotidiano.

La viabilidad de introducir a las CCMs a la vida cotidiana depende de factores como la disponibilidad y el costo de sus componentes, su necesidad de mantenimiento y la robustez del sistema ante condiciones cambiantes. Con el propósito de acercar su implementación a la realidad, algunos grupos de trabajo han buscado materiales de bajo costo para las CCMs como las cerámicas, que reducen la dependencia de insumos especializados. Sin embargo, las barreras de operación persisten, demandando la intervención de la comunidad científica para fortalecer las capacidades locales. Debido a que estos dispositivos dependen de las características de los sustratos con os que operan, es esencial considerar las variaciones de

composición o estacionales, además de integrarse con prácticas y tecnologías existentes -como HA, sanitarios secos o separadores de orina- para maximizar su utilidad.

Los resultados revisaron mostraron como las CCMs mejoran su rendimiento de remoción cuando se integran con HA sin necesidad de emplear energía externa. Por otro lado, entre las oportunidades de innovación con enfoque sociotecnológico se presenta el uso de inteligencia artificial (IA) y la optimización avanzada. El impulso de la eficiencia hacia la miniaturización y aplicaciones a escala doméstica. Además, en el sector de la vivienda se presenta la oportunidad de desarrollar e implementar las CMMs en los E-toitelts autosustentables. Un caso de especial mención son las aplicaciones relacionadas con la salud y la inactivación de agentes patógenos. Por último, una aplicación con un gran capo de estudio es en sistemas plant-CCM.

4.5. Recomendaciones para la autogestión hídrica situadas y alineadas al PRONACES Agua

La selección de SbN en entornos urbanos requiere sustentarse en un enfoque situado que considere la densidad, el acceso a la infraestructura y sus desigualdades, las características del suelo urbano y la variabilidad climática y extrema. Una visión sistémica es imperante para priorizar la multifuncionalidad, la eficiencia en el uso de recursos y la adaptabilidad territorial. Las SbN selectas, deben haberse probado en escenarios de presión hídrica creciente o en eventos extremos, particularmente donde la gestión de la escorrentía y la precipitación pluvial y el tratamiento descentralizado resultan críticos para gestionar la resiliencia urbana. La integración de estas tecnologías con los principios de diseño bioclimáticos y el uso estratégico de infraestructura sostenible -como los SUDS-, fortalecen su pertinencia técnica y social, alineándose con las estrategias de adaptación y mitigación promovidas por el ProNacEs Agua.

En asentamientos regulares, con abasto hídrico municipal centralizado se recomienda priorizar tecnologías con desempeño compatible a las características de uso, consumo y generación, que se hayan estandarizado y que sean de simple operación para reducir la dependencia de mantenimiento especializado. En el caso de las viviendas informales -con limitaciones importantes de espacio, incertidumbre jurídica, o sin conexión a las redes

municipales- las tecnologías deben ser de baja inversión inicial, operación comunitaria y escalabilidad progresiva.

En las zonas más densamente pobladas, las intervenciones deben caracterizarse por ser compactos o híbridos que combinen captación, almacenamiento y tratamiento básico. Mientras que, en las zonas de baja densidad, en donde se puede aprovechar el espacio disponible, las SbN descentralizadas deben articular el almacenamiento, la infiltración y recarga urbana, reforzando la resiliencia en sequías y la variabilidad de la precipitación.

Las instituciones deben actuar como facilitadoras de procesos de inclusión, cuidado y sostenibilidad social, además de como reguladoras y gestoras de la gestión hidrosocial. Esto implica el desarrollo de la gobernanza para reducir sesgos y reconocer la diversidad de actores que limite la marginación y propicie la visibilidad de grupos vulnerables. Es indispensable la integración interistitucional para garantizar el acompañamiento técnico en las etapas tempranas de la implementación, articulación de los criterios de operación y mantenimiento con capacidades locales y el establecimiento de acuerdos claros sobre responsabilidades y riesgos. A nivel comunitario se sugiere el fortalecimiento de las organizaciones espontáneas, especialmente en zonas de exclusión al borde de las ciudades.

Es importante resaltar que, como cualquier tecnología, las SbN pueden reforzar las desigualdades existentes si se implementan sin un enfoque crítico. Dado que las zonas verdes urbanas pueden convertirse en mecanismos que amplifican las brechas sociales, y que algunos formatos de participación pueden explotar vulnerabilidades, es indispensable que las recomendaciones técnicas sean situadas e incorporen una lectura socioespacial: identificar quiénes se benefician, quienes asumen los costos y quiénes quedan fuera de las decisiones. Las ciudades del Sur Global entrelazan con el agua dimensiones de justicia, cohesión social y regeneración urbana, por eso requiere de diagnósticos integrales para la prevención de escenarios de exclusión y despojo.

La autogestión hídrica depende directamente en los procesos de apropiación sociotecnológica que integren el uso cotidiano, el mantenimiento y el seguimiento operativo, cualitativo y eficiente de las SbN.

Es indispensable la promoción de prácticas asequibles y desarrollar capacidades locales que permitan resolver fallas y mantener los sistemas operando sin asistencia externa. El mantenimiento debe integrarse a rutinas domésticas o comunitarias realistas. El seguimiento

requiere de esquemas simples que permitan reconocer la eficiencia, reconocer fallas y sostener la continuidad del sistema. Estos elementos son consistentes con el ProNacEs Agua, en el que la participación activa, el conocimiento local y la corresponsabilidad son fundamentales para la sociedad.

5. Conclusiones

Para las SbN el conocimiento situado es esencial para su efectividad debido a que su desempeño depende de las condiciones climáticas locales, las prácticas cotidianas, la disponibilidad de espacio físico para su implementación y las condiciones territoriales.

La participación ciudadana en la toma de decisiones favorece su adopción y sostenibilidad al involucrar a los usuarios desde el diseño, capacitándolo para llevar acabo el mantenimiento requerido y monitorear el desempeño de la tecnología.

Por su operación descentralizada y desconectada de las redes municipales las SbN contribuyen a la justicia hpidrica y a la resiliencia urbana. Además, al ser implementadas en paquetes ecotecnológicos, permiten la gestión integral del ciclo hidrosocial a escala doméstica reduciendo la presión sobre la naturaleza y la infraestructura urbana, revalorizando los efluentes residuales y cerrando el círculo de aprovechamiento del recurso hídrico.

Estas SbN son compatibles con la perspectiva transformadora del ProNacEs Agua, al integrar la sostenibilidad, la justicia ambiental y la participación social.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a la SECIHTI por el financiamiento otorgado a los proyectos de estancia posdoctoral en consolidación a Mariana Martínez-Castrejón y a Ricardo Herrera-Navarrete y a los revisores, coordinadores y editores del libro por las sugerencias que contribuyeron a la mejora de este capítulo.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Arango-Quiroga, J., Kinol, A., & Kuhl, L. (2023). Examining knowledge and epistemic justice in the design of nature-based solutions for water management. PLOS Climate, 2(9), e0000194. https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000194

Apollon, W., Vidales-Contreras, J. A., Rodríguez-Fuentes, H., Gómez-Leyva, J. F., Olivares-Sáenz, E., Maldonado-Ruelas, V. A., ... & Kamaraj, S. K. (2022). Livestock's Urine Based Plant Microbial Fuel Cells Improve Biomass Development in Stevia (Stevia Rebaudiana). Available at SSRN 4133177. https://doi.org/10.3390/en15196985

Banco Mundial. (2008). Biodiversity, Climate Change, and Adaptation: Nature-based Solutions from the World Bank Portfolio, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6216

Biswas, A., & Chakraborty, S. (2023a). Cost benefit analysis of integrated constructed wetland microbial fuel cell system for sustainable and economic domestic wastewater treatment. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 60, 103475. https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103475

Biswas, A., & Chakraborty, S. (2023b). Organics and coliform removal from low strength domestic wastewater using integrated constructed wetland–microbial fuel cell reactor with bioelectricity generation. Journal of Cleaner Production, 408, 137204. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137204

Boopathi, N., & Kadarkarai, R. (2022). A laboratory-scale study of residential greywater treatment with sugarcane in a constructed wetland. Environmental Science and Pollution Research, 29(40), 61178-61186. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20264-4

Capodaglio, A. G., Bolognesi, S., & Cecconet, D. (2021). Sustainable, decentralized sanitation and reuse with hybrid nature-based systems. Water, 13(11), 1583. https://doi.org/10.3390/w13111583

Castelo, S., Amado, M., & Ferreira, F. (2023). Challenges and opportunities in the use of nature-based solutions for urban adaptation. Sustainability, 15(9), 7243. https://doi.org/10.3390/su15097243

Catal, T., Kul, A., Atalay, V. E., Bermek, H., Ozilhan, S., & Tarhan, N. (2019). Efficacy of microbial fuel cells for sensing of cocaine metabolites in urine-based

wastewater. Journal of Power Sources, 414, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.12.078

Chaijak, P., & Sola, P. (2023). The new report of domestic wastewater treatment and bioelectricity generation using Dieffenbachia seguine constructed wetland coupling microbial fuel cell (CW-MFC). Archives of Environmental Protection, 57-62. https://doi.org/10.24425/aep.2023.144737

Compaoré, C. O. T., Maiga, Y., Nikiéma, M., Mien, O., Nagalo, I., Panandtigri, H. T., ... & Ouattara, A. S. (2023). Constructed wetland technology for the treatment and reuse of urban household greywater under conditions of Africa's Sahel region. Water Supply, 23(6), 2505-2516. https://doi.org/10.2166/ws.2023.121

Deitch, M. J., & Feirer, S. T. (2019). Cumulative impacts of residential rainwater harvesting on stormwater discharge through a peri-urban drainage network. Journal of Environmental Management, 243, 127-136. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.018

Fuentes-Penna, A., Ruiz-Vanoye, J. A., Gómez-Cárdenas, R., Ramírez, J. C. S., Trejo-Macotela, F. R., Díaz-Parra, O., ... & Torres, P. L. R. (2023). Mexico and PRONACES towards to become a smart city. International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, 14(3), 31. https://shre.ink/qOOv

Freni, G. (2019). Effectiveness of rainwater harvesting systems for flood reduction in residential urban areas. Water Switzerland, 11(7), ISSN 2073-4441, https://doi.org/10.3390/w11071389

Gajda, I., Obata, O., Greenman, J., & Ieropoulos, I. A. (2020). Electroosmotically generated disinfectant from urine as a by-product of electricity in microbial fuel cell for the inactivation of pathogenic species. Scientific Reports, 10(1), 5533. https://doi.org/10.1038/s41598-020-60626-x

Gleason, J. A., & Casiano Flores, C. (2021). Challenges of water sensitive cities in Mexico: The case of the metropolitan area of Guadalajara. Water, 13(5), 601. https://doi.org/10.3390/w13050601

Hasnain, S. A., Jack, L., & Gul, M. (2022). An assessment of technical feasibility in the implementation of rooftop rainwater harvesting system in urban residential areas of Pakistan. International Journal of Water, 15(2), 148-173. https://doi.org/10.1504/IJW.2022.132299

Henderson, M., Ergas, S. J., Ghebremichael, K., Gross, A., & Ronen, Z. (2022). Occurrence of antibiotic-resistant genes and bacteria in household greywater treated in constructed wetlands. Water, 14(5), 758. https://doi.org/10.3390/w14050758

Herrera-Navarrete, R., Arellano-Wences, H.J., Colín-Cruz, A. et al. Thematic and Geographical Trend in Scientific Research Applied in Municipal Wastewater Treatment Plants: an Overview. Water Air Soil Pollut 232, 318 (2021). https://doi.org/10.1007/s11270-021-05269-y

Huang, S. J., Dwivedi, K. A., Kumar, S., & Wang, C. T. (2022). Multiwall carbon nanotubes–coated graphite-felt anode for efficient removal of ciprofloxacin from domestic wastewater in dual-chambered microbial fuel cells. Journal of Environmental Engineering, 148(6), 04022022. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001991

Ieropoulos, I., Obata, O., Pasternak, G., & Greenman, J. (2019). Fate of three bioluminescent pathogenic bacteria fed through a cascade of urine microbial fuel cells. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 46(5), 587-599.https://doi.org/10.1007/s10295-019-02153-x

Irfeey, A. M. M., Chau, H. W., Sumaiya, M. M. F., Wai, C. Y., Muttil, N., & Jamei, E. (2023). Sustainable mitigation strategies for urban heat island effects in urban areas. Sustainability, 15(14), 10767. https://doi.org/10.3390/su151410767

Izah, S. C., Jacob, D. E., Nelson, I. U., & Avez, S. (2024). Urban water crisis in the global South. In Water crises and sustainable management in the global south (pp. 45-83). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4966-9_2

Jimenez, I. M., Brinson, P., Greenman, J., & Ieropoulos, I. (2021). Electronic faucet powered by low cost ceramic microbial fuel cells treating urine. Journal of Power Sources, 506, 230004. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230004

Kiss, B., Sekulova, F., Hörschelmann, K., Salk, C. F., Takahashi, W., & Wamsler, C. (2022). Citizen participation in the governance of nature-based solutions. Environmental Policy and Governance, 32(3), 247-272. https://doi.org/10.1002/eet.1987

Larasati, D., Setiyawan, A. S., Surinkul, N., & Va, V. (2025). Decentralized wastewater treatment and energy recovery in urban settings: performance of a modified septic tank-microbial fuel cell system. Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology, 538-558. https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v8i2.23544

Lekuona-Orkaizagirre, A., Meaurio, M., Madrazo-Uribeetxebarria, E., Antín, M. G., & Gredilla, A. (2025). Field-based assessment of the influence of a combined SUDS system consisting of a permeable pavement and a stormwater tank on urban runoff quality. Journal of Hydrology, 133906. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133906

Liu, Y., Li, T., & Yu, L. (2020). Urban heat island mitigation and hydrology performance of innovative permeable pavement: A pilot-scale study. Journal of Cleaner Production, 244, 118938. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118938

Martínez-Castrejón, M., López-Díaz, J. A., Solorza-Feria, O., Talavera-Mendoza, O., Rodríguez-Herrera, A. L., Alcaraz-Morales, O., & Hernández-Flores, G. (2022a). Environmental, economic, and social aspects of human urine valorization through microbial fuel cells from the circular economy perspective. Micromachines, 13(12), 2239. https://doi.org/10.3390/mi13122239

Martínez-Castrejón, M., Ramirez-Nava, J. & Hernández-Flores, G. (2022b). Celdas de Combustible Microbianas: Tecnología para Tratamiento de Efluentes Residuales y Generación de Bioelectricidad. In Salinas-Juárez, M.G, Téllez-Cruz, M.M., Alfaro-López, H.M., & Cruz-Martínez, H. (eds.) Contribuciones destacadas en conversión y almacenamiento de energía (pp. 163-186). Sociedad Mexicana del Hidrógeno A.C. https://n9.cl/mjbc18

Martínez-Castrejón, M., López-Díaz, J. A., Solorza-Feria, O., Talavera-Mendoza, O., Rodríguez-Herrera, A. L., Alcaraz-Morales, O., & Hernández-Flores, G. (2022c). Environmental, economic, and social aspects of human urine valorization through microbial fuel cells from the circular economy perspective. Micromachines, 13(12), 2239. https://doi.org/10.3390/mi13122239

Mehrotra, S., Singh, N. K., Vempaty, A., & Mathuriya, A. S. (2024). Development, performance evaluation, and kinetic studies of microbial fuel cell based auto dripping bioelectrochemical reactor (AutoDriBER) for urine treatment. Environmental Technology, 45(5), 902-915. https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2130106

Merino-Jimenez, I., Obata, O., Pasternak, G., Gajda, I., Greenman, J., & Ieropoulos, I. (2021). Effect of microbial fuel cell operation time on the disinfection efficacy of electrochemically synthesised catholyte from urine. Process Biochemistry, 101, 294-303. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.10.014

Montenegro-Rosero, K., Villamar-Ayala, C.A., Fernández, L., & Espinoza-Montero, P. (2022). Operational performance of corncobs/sawdust biofilters coupled to microbial fuel cells treating domestic wastewater. Science of the Total Environment, 809, 151115. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151115

Montesinos-Pedro, E., Carbajal-Avila, J. & Martínez-Castrejón, M. (2025). Structural Strategies for Water Scarcity after Hurricane Otis in Acapulco, Mexico. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 264, 365-374. https://doi.org/10.2495/sc250291

Oropeza-García, N. A., Vega-Azamar, R. E., Campos-Cámara, B. L., Canché-Uuh, J. A., & González-Vera, M. A. (2025). Mayans and Their Water Management. In Corzo Perez, G.A., Hayde, L.G., Romero-López, R., Jiménez Palacios, A. (eds) Aqua Vitae: Unraveling the Story of Water in Latin America (pp. 37-50). The Latin American Studies Book Series. Springer, Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57731-4_3

Palla, A., & Gnecco, I. (2022). On the Effectiveness of Domestic Rainwater Harvesting Systems to Support Urban Flood Resilience. Water Resources Management, 36(15), 5897-5914, ISSN 0920-4741, https://doi.org/10.1007/s11269-022-03327-6

Palla, A., & Gnecco, I. (2021). The web-gis trig eau platform to assess urban flood mitigation by domestic rainwater harvesting systems in two residential settlements in Italy. Sustainability, 13(13), 7241. https://doi.org/10.3390/su13137241

Pasternak, G., Greenman, J., & Ieropoulos, I. (2019). Removal of Hepatitis B virus surface HBsAg and core HBcAg antigens using microbial fuel cells producing electricity from human urine. Scientific Reports, 9(1), 11787. https://doi.org/10.1038/s41598-019-48128-x

Peng, J., Cheng, X., Hu, Y., & Corcoran, J. (2022). A landscape connectivity approach to mitigating the urban heat island effect. Landscape Ecology, 37(6), 1707-1719. https://doi.org/10.1007/s10980-022-01439-3

Popartan, L. A., Poch, M., Pueyo-Ros, J., & Rodriguez-Roda, I. (2023). The urban hydrosocial cycle: why should engineers care?. Open Research Europe, 3, 174. https://doi.org/10.12688/openreseurope.16223.1

Qi, Y., Chan, F. K. S., Thorne, C., O'Donnell, E., Quagliolo, C., Comino, E., ... & Feng, M. (2020). Addressing challenges of urban water management in Chinese sponge cities via nature-based solutions. Water, 12(10), 2788. https://doi.org/10.3390/w12102788

Rajpurohit, P., & Behera, M. (2025). High-strength domestic wastewater treatment using Epipremnum aureum as the cathodic plant in a constructed wetland-microbial fuel cell. Journal of Water Process Engineering, 69, 106724. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106724

Ramirez-Nava, J., Martínez-Castrejón, M., García-Mesino, R. L., López-Díaz, J. A., Talavera-Mendoza, O., Sarmiento-Villagrana, A., ... & Hernández-Flores, G. (2021). The implications of membranes used as separators in microbial fuel cells. Membranes, 11(10), 738. https://doi.org/10.3390/membranes11100738

Rezk, H., Olabi, A. G., Abdelkareem, M. A., & Sayed, E. T. (2023). Artificial intelligence as a novel tool for enhancing the performance of urine fed microbial fuel cell as an emerging approach for simultaneous power generation and wastewater treatment. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 148, 104726. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.104726

Romero-Duque, L. P., Trilleras, J. M., Castellarini, F., & Quijas, S. (2020). Ecosystem services in urban ecological infrastructure of Latin America and the Caribbean: How do they contribute to urban planning?. Science of the Total Environment, 728, 138780. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138780

Rose, M. E., & Kitchin, J. R. (2019). pybliometrics: Scriptable bibliometrics using a Python interface to Scopus. SoftwareX, 10, 100263. https://doi.org/10.1016/j.softx.2019.100263

Sacco, F. C. M., Venditti, S., Wilmes, P., Steinmetz, H., & Hansen, J. (2024). Vertical-flow constructed wetlands as a sustainable on-site greywater treatment process for the decrease of micropollutant concentration in urban wastewater and integration to households' water services. Science of the Total Environment, 946, 174310. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174310

Santos, E. (2025). Nature-Based Solutions for Water Management in Europe: What Works, What Does Not, and What's Next?. Water, 17(15), 2193. https://doi.org/10.3390/w17152193

SECIHTI. (2025a). Programas Nacionales Estratégicos. https://secihti.mx/pronaces/

SECIHTI. (2025b). Agua. Programas Nacionales Estratégicos https://secihti.mx/pronaces/pronaces-agua/

Sharma, P., Talekar, G. V., & Mutnuri, S. (2021). Demonstration of energy and nutrient recovery from urine by field-scale microbial fuel cell system. Process Biochemistry, 101, 89-98. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.11.014

Sijimol, M.R., Marsa, M.L., Sabu, J. (2021). Analysis of potential of Napier grass, Vetiver and Equisetum plants for the treatment of domestic greywater using box-type constructed wetlands. Water Science and Technology, 84(10), 2913-2922, ISSN 0273-1223, https://doi.org/10.2166/wst.2021.289

Suprapti, S., Kusuma, M. S. B., Kardhana, H., Cahyono, M., & Juliana, I. C. (2025). Communal-based domestic rainwater harvesting system: A novel approach to alternative solutions for increasing water supply and recharging groundwater in Jagakarsa urban area, South Jakarta. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 11, 101126. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101126

Suransh, J., Jadhav, D. A., Nguyen, D. D., & Mungray, A. K. (2023). Scalable architecture of low-cost household microbial fuel cell for domestic wastewater treatment and simultaneous energy recovery. Science of The Total Environment, 857, 159671. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159671

Thommandru, A., Turdialiev, M. A., & Mone, V. (2025). Hydro-hegemony in the Anthropocene: Neoliberal Paradigms and Global South Marginalization in Water Scarcity Governance. Journal of Developing Societies, 0169796X251326720. https://doi.org/10.1177/0169796X251326720

Tsai, P., & Onishi, A. (2022). Urban households' willingness to pay for improvements in rainwater harvesting and rainwater infiltration system: Case study in Japan. Water and Environment Journal, 36(3), 494-503. https://doi.org/10.1111/wej.12781

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2009). No time to lose-make full use of nature-based solutions in the post-2012 climate change regime, Decimoquinta sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP15), Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Co-penhague (Dinamarca), del 7 al 18 de diciembre.

Verma, M., & Mishra, V. (2023). Bioelectricity generation using sweet lemon peels as anolyte and cow urine as catholyte in a yeast-based microbial fuel cell. Waste and Biomass Valorization, 14(8), 2643-2657. https://doi.org/10.1007/s12649-023-02050-6

Wang, X., Li, H., & Sodoudi, S. (2022). The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. Building and Environment, 217, 109082. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082

World Water Assessment Programme. (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua, Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, UNESCO/ ONU-Agua, París. https://www.unesco.org/en/wwap/wwdr/2018

Yodkamonsart, P., Watanabe, T., Kubota, K., Jaturapitakkul, C., & Yoochatchaval, W. (2025). Recovery of ammonium from domestic wastewater using microbial fuel cells. Water Science & Technology, 92(7), 983-990. https://doi.org/10.2166/wst.2025.135

You, J., Greenman, J., & Ieropoulos, I. A. (2021). Microbial fuel cells in the house: A study on real household wastewater samples for treatment and power. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 48, 101618. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101618

You, J., Walter, X. A., Gajda, I., Greenman, J., & Ieropoulos, I. (2024). Impact of disinfectant on the electrical outputs of urine-fed ceramic and membrane-less microbial fuel cell cascades. International Journal of Hydrogen Energy, 57, 759-763. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.01.042

Yousefi, R., Mardanpour, M. M., & Yaghmaei, S. (2021). Fabrication of the macro and micro-scale microbial fuel cells to monitor oxalate biodegradation in human urine. Scientific Reports, 11(1), 14346. https://doi.org/10.1038/s41598-021-93844-y

Capítulo 6. Innovación tecnológica verde mediante ingeniería de materiales sostenibles: integración de biopolímeros, sistemas metálicos y ética ambiental.

Dzul-Cervantes Mario Adrián de Atocha[1*]
Villagrán-Villegas Luz Yazmin[2]
Anaya-González Cecilia Irene[3]

Resumen

La ingeniería de materiales es fundamental para la transición hacia modelos productivos sostenibles mediante la convergencia de biopolímeros, sistemas metálicos y marcos éticos-educativos. Este capítulo explora rutas de recuperación de biopolímeros como almidones y celulosa a partir de residuos agroindustriales, los cuales pueden utilizarse en aplicaciones de embalaje de alimentos o biomedicina, así como estrategias para diseño y reciclaje de aleaciones metálicas con bajo impacto. También, se discuten estudios de caso del Sureste Mexicano y desafíos técnicos y socioeconómicos del reciclaje. Finalmente, se enfatiza la necesidad de una educación transdisciplinaria, derechos humanos y perspectiva de género como condición para la legitimidad social de las soluciones. El texto propone un marco integrado técnico-ambiental-ético para la sostenibilidad en un enfoque de materiales, tecnologías verdes y formación profesional orientada a la circularidad.

*Anote a continuación 3 o 4 palabras clave.

Palabras clave: Materiales-Sostenibles; Ingeniería-en-Materiales, Economía-Circular; Ética-y-Derechos

[1] Doctor en Ciencias. Profesor en Tecnológico Nacional de México *campus* Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México. ORCID: 0000-0002-9095-7281; Scopus: 55635897700; correo electrónico: maadzul@itescam.edu.mx
[2] Doctorado en Ingeniería de Sistemas. Profesor Titular C en Universidad Veracruzana, México. ORCID: 0000-0003-3860-2923; Scopus: 56110297700
[3] Doctora en Psicología. Profesor Asociado C en Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: [0009-0004-3478-6790; Scopus: [inserte]

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

1. Introducción

El incremento exponencial en la producción y uso de polímeros derivados del petróleo, la extracción intensiva de metales y la acelerada demanda de sus aplicaciones tales como dispositivos biomédicos y embalajes han generado daños ambientales y sociales que exigen soluciones inmediatas e integrales. Frente a ello surge el concepto de innovación tecnológica verde, entendido no solo como el reemplazo de materiales por alternativas "más limpias" y "eco-amigables", sino como la reingeniería sistémica del ciclo de vida, la incorporación de métricas ambientales y la convergencia entre diseño material, procesos industriales y gobernanza social. Esta visión sistémica es ampliamente respaldada por diversos estudios recientes que abordan los retos y avances en polímeros biodegradables y en metales sostenibles, y que aboga por marcos tecnológicos que integren ciclo de vida, eficiencia energética y valorización de residuos (Verma et al., 2024).

Aunado a lo anterior, y para reforzar esta convergencia, se pueden distinguir tres vectores científicos que deben optimizarse para beneficio de los ecosistemas: 1) los biopolímeros y biocompuestos derivados de residuos agroindustriales, que ofrecen rutas de circularidad para embalaje y aplicaciones biomédicas; 2) los sistemas metálicos optimizados para reciclaje y eficiencia; y 3) las herramientas digitales que permiten optimizar procesos, predecir propiedades y reducir la incertidumbre en escalado industrial. Una investigación reciente destaca la necesidad de combinar avances experimentales (síntesis y caracterización y de materiales) con análisis de datos y estrategias de diseño acelerado para materializar soluciones sostenibles viables en la práctica (Jha et al., 2024).

No obstante, la transformación tecnológica no es exclusivamente técnica, también requiere de un componente educativo y ético que asegure que las innovaciones no reproduzcan desigualdades ni vulneren derechos ambientales. En la literatura, algunos autores que trabajan con la Educación para el Desarrollo Sostenible y aprendizaje activo evidencian que

integrar contenidos de sostenibilidad en la formación de profesionales en el ámbito ingenieril y científico aumenta la adopción, la responsabilidad y la participación ciudadana en proyectos de innovación. Así mismo, al incluir la dimensión ética como perspectivas de género, equidad y comunidades afectadas, eleva la legitimidad social de las tecnologías y posibilita marcos de gobernanza más justos. Por tanto, la innovación tecnológica verde pudiera considerarse, en esencia, interdisciplinaria al involucrar ciencia de materiales, digitalización y pedagogías orientadas a la transformación socioambiental (Getachew et al., 2025).

Este capítulo busca articular las tres dimensiones anteriores en un enfoque aplicado, técnico, digital y social, primero, enfocando la estructura basada en la innovación tecnológica concreta, desde el desarrollo de materiales a través de sus procesos y análisis de sus aplicaciones, y, segundo, complementarlo con estrategias educativas y de inclusión para maximizar impacto y replicabilidad. En términos prácticos, el capítulo propone rutas metodológicas para la recuperación y formulación de materiales biodegradables a partir de residuos agroindustriales, la optimización de metales y aleaciones mediante modelado y técnicas de inteligencia artificial, y la incorporación de marcos éticos y pedagógicos que permitan la adopción responsable de estas tecnologías (Kamarudin et al., 2022; Verma et al., 2024).

Diversos estudios recientes sobre polímeros biodegradables documentan avances importantes, por ejemplo, mejoras en propiedades barrera y mecánicas mediante su procesamiento y el uso de refuerzos, procesos de extracción más eficientes y criterios de evaluación estandarizados de degradabilidad y migración para uso alimentario y biomédico. Estos desarrollos permiten plantear soluciones de embalaje activo/biodegradable y materiales biomédicos con perfiles de seguridad y funcionalidad crecientes; sin embargo, la investigación subraya la necesidad de validar escalabilidad y análisis de ciclo de vida para evitar sustituciones problemáticas, como el uso de materiales “biodegradables” que demandan condiciones industriales para degradarse. Integrar estas consideraciones técnico-ambientales con datos económicos y sociales es indispensable para proponer soluciones de alto valor en contextos reales (Kamarudin et al., 2022; Verma et al., 2024).

En el campo de los metales, las investigaciones contemporáneas insisten en que la producción de estos materiales es responsable de una porción significativa de emisiones industriales y

consumo energético, y por ello el rediseño de aleaciones, la recuperación de residuos "chatarra", la reutilización de metales, y la optimización de procesos son estrategias clave para la sostenibilidad. La literatura científica muestra además que la investigación en metales sostenibles debe orientarse a reducir la dependencia de recursos primarios, mejorar la reciclabilidad y explorar rutas de fabricación de bajo carbono (por ejemplo, mediante hidrógeno verde o procesos aditivos con alimentación reciclada). Estos objetivos requieren, a su vez, modelos predictivos y herramientas computacionales para seleccionar composiciones y tratamientos térmicos óptimos que maximicen la circularidad sin sacrificar desempeño (Jha et al., 2024; Tebaldo et al., 2024).

La convergencia entre polímeros y metales abre posibilidades innovadoras, materiales híbridos o soluciones complementarias en cadenas productivas, por ejemplo, embalajes con componentes funcionales metálicos reciclados o envases con sensores basados en metales reciclados, así como estrategias industriales donde residuos de una cadena alimentan otra, un principio de economía industrial simbiótica. Para que estas soluciones sean viables y éticas, deben estar acompañadas de educación contextualizada y políticas públicas que favorezcan la inclusión, la trazabilidad y la participación comunitaria en decisiones de adopción tecnológica (Olsson et al., 2022). La Figura 1, esquematiza el marco conceptual integrado para la Innovación Tecnológica Verde mediante la Ingeniería de Materiales.

Finalmente, el propósito central del capítulo es mostrar una perspectiva, con evidencia experimental y conceptual a partir de reportes en la literatura científica, cómo el procesamiento y caracterización de materiales biodegradables a partir de residuos agroindustriales, así como el uso de sistemas metálicos reciclados, todo esto combinado con la optimización mediante IA y gobernanza ética, pueden constituir un modelo replicable de innovación tecnológica verde; y, proponer un marco educativo y metodológico para formar profesionales capaces de operar en esa intersección. El capítulo ofrece además recomendaciones prácticas para evaluación del ciclo de vida, indicadores de sostenibilidad y estrategias de transferencia tecnológica hacia actores productivos, académicos y comunitarios. Con ello se busca no solo aportar al conocimiento técnico, sino contribuir a la formación de ciudadanía ambiental a través del acceso universal al conocimiento, y a la legitimidad social de las tecnologías verdes.



Figura 1. Marco conceptual integrado para la Innovación Tecnológica Verde mediante Ingeniería de Materiales.

2. Materiales sostenibles como eje de la innovación tecnológica

En la actualidad, la sostenibilidad en el desarrollo de materiales no puede considerarse como una tendencia emergente, sino que debe consolidarse como el eje principal de la innovación tecnológica contemporánea, por ello, las estrategias de diseño, procesamiento y aplicación de materiales deben orientarse hacia la reducción de la huella ambiental, así como la maximización del "tiempo de vida útil" o "valor funcional" a lo largo del ciclo de vida de los materiales. La interacción entre los diferentes materiales, por ejemplo, biopolímeros, metales, cerámicos, refleja la importancia de la necesidad de una transición, que va desde la ingeniería de productos hasta la ingeniería de sistemas sostenibles.

Los cambios en innovación tecnológica implican rediseñar el proceso completo de los materiales, desde la materia prima, pasando por los diversos métodos de procesamiento, hasta el consumo y reciclaje o reutilización de los productos, con la finalidad de construir economías completamente circulares. En este sentido, se han reportado investigaciones recientes que demostraron que estos cambios en los materiales pueden reducir significativamente los daños al ecosistema, sin comprometer el desempeño estructural ni

funcional. En este contexto, los materiales sostenibles pueden potencializar la innovación verde al integrar ciencia, ingeniería y responsabilidad social en beneficio del ecosistema y de la sociedad.

2.1 Tendencias en materiales verdes.

En los últimos años, el desarrollo de materiales sostenibles se ha consolidado como una estrategia efectiva con la finalidad de mitigar el impacto ambiental de estos procesos. Algunas investigaciones señalan que los biopolímeros provenientes de residuos agroindustriales, así como las aleaciones metálicas reciclables y los materiales híbridos constituyen pilares importantes sobre los cuales se pudiera reestructurar la ingeniería de materiales en el contexto de economía circular. Estas tendencias serían útiles en respuesta a la necesidad de sustituir los recursos no renovables, minimizar los daños al ecosistema, por ejemplo, por emisiones de CO_2, y extender la vida útil de los productos a través de la optimización de diseños y procesos.

Los biopolímeros han experimentado una expansión en áreas de investigación y sus aplicaciones, esto debido a su potencial para sustituir los polímeros convencionales en áreas como embalaje o biomedicina. Entre estos biopolímeros, destacan la celulosa regenerada, el poli (ácido láctico) (PLA), el almidón termoplástico (TPS) y otros que pueden ser obtenidos de fuentes naturales y reciclables, y que han demostrado tener propiedades comparables a los polímeros convencionales, con ventajas adicionales como biodegradabilidad y baja toxicidad. Además, la tendencia actual apunta hacia compuestos híbridos reforzados con fibras naturales o nanopartículas, que mejoran propiedades mecánicas y térmicas sin comprometer la biodegradabilidad. Este avance permite diseñar materiales de ingeniería con desempeño técnico y sostenibilidad ambiental simultáneos (Dutta & Sit, 2024).

Por otro lado, las aleaciones metálicas sostenibles representan otro vector fundamental. A medida que los sectores industriales enfrentan presiones para descarbonizar sus cadenas de suministro, el rediseño de los metales ya sea mediante aleaciones recicladas, tratamientos térmicos de bajo consumo o procesos de hidrometalurgia limpia se vuelve una prioridad estratégica. Investigaciones recientes muestran que las aleaciones de aluminio, magnesio y titanio reciclado presentan una alta relación resistencia-peso y un bajo impacto ambiental cuando se emplean métodos de fusión basados en energía renovable o hidrógeno verde. Asimismo, la integración de modelos de simulación y machine learning permite predecir

propiedades mecánicas y reducir desperdicios en el diseño de nuevas composiciones metálicas (Zuo et al., 2024).

De manera complementaria, los materiales híbridos, es decir, aquellos que combinan matrices poliméricas con refuerzos como los metálicos o los cerámicos sostenibles, están emergiendo como soluciones multifuncionales para aplicaciones estructurales, electrónicas y biomédicas. Estos materiales permiten integrar propiedades sinérgicas, como alta resistencia, conductividad térmica controlada y capacidad de biodegradación parcial. En el campo biomédico, por ejemplo, se están desarrollando biocompuestos de PLA con nanopartículas metálicas provenientes de fuentes recicladas, con la finalidad de mejorar la bioactividad y sus propiedades, pero sin comprometer la biocompatibilidad. Este tipo de materiales podría sustituir implantes convencionales con alternativas específicas de acuerdo a las necesidades del usuario, y que además sean biodegradables y de bajo impacto ambiental (Buj-Corral et al., 2022).

Otra tendencia importante es el uso de herramientas digitales en el desarrollo de materiales verdes, por ejemplo, la combinación de inteligencia artificial o simulaciones multiescala está siendo utilizada para la predicción de propiedades y el diseño sostenible de materiales, además que pueden reducir costos y tiempos de experimentación, permitiendo optimizar simultáneamente desempeño, reciclabilidad e impacto ambiental. En el contexto de la sostenibilidad, la IA también puede evaluar la degradación de biopolímeros, así como el desgaste de aleaciones recicladas en diferentes aplicaciones, y generar modelos predictivos de comportamiento de acuerdo a esa aplicación (Agrawal et al., 2023).

2.2 La ingeniería de materiales y la economía circular.

La ingeniería en materiales es un factor clave de la economía circular, pero requiere de trabajo para lograrlo. Actualmente, la economía circular requiere de un modelo en el que los materiales deben diseñarse desde su origen para ser reutilizables o reciclables, lo que ayudaría a minimizar los desperdicios y, por ende, el daño al ecosistema al considerarse sistema donde el flujo de materiales tenga un ciclo cerrado. Estudios recientes demuestran que la innovación en materiales, sobre todo, en el ámbito de los materiales reciclables, es esencial para que la economía circular sea viable en diversos sectores como el embalaje de alimentos o la biomedicina (Dumée, 2022).

Otro aspecto fundamental de la ingeniería en materiales y su interacción y transición hacia la economía circular, es la vinculación entre la investigación y ciencia básica con el desarrollo tecnológico, y en específico, la industria; por ello, se deben desarrollar metodologías que integren el análisis del "tiempo de vida útil" de los materiales y la evaluación de su impacto ambiental. Esto, permitiría cuantificar la circularidad de un material, desde su diseño y su proceso, así como comparar escenarios de producción, identificando factores clave y áreas de oportunidad, lo que permitiría mejorar la toma de decisiones en sus aplicaciones, promoviendo políticas de eficiencia y economía en beneficio de la sociedad y del ecosistema. Adicionalmente, la integración de aspectos educativos, éticos y gubernamentales en el proceso ingenieril también es fundamental para lograr una la transición de la ingeniería en materiales hacia una economía circular. Desde el punto de vista educativo para la sostenibilidad, la formación de profesionistas capaces de evaluar el impacto ambiental y social de sus diseños resulta fundamental. Autores han evidenciado que los programas académicos que incorporan proyectos de innovación verde y de aprendizaje-servicio logran incrementar significativamente la concientización del alumnado hacia el ecosistema y la adopción de prácticas sostenibles entre estudiantes de ingeniería (El Gamal et al., 2024).

Finalmente, la transición hacia una economía circular sostenible también depende de colaboraciones interdisciplinarias entre ingeniería, ciencias sociales y políticas públicas, por lo que, las alianzas entre sectores industriales, académicos y comunitarios permiten diseñar materiales y procesos que no solo sean ambientalmente eficientes, sino también socialmente justos y responsables. Este enfoque colaborativo, que bien puede fundamentarse principalmente en la innovación tecnológica verde, refuerza la necesidad de que la ingeniería contemporánea opere con transparencia, equidad y responsabilidad ética, siendo estos, pilares fundamentales para consolidar una economía verdaderamente regenerativa.

3. Biopolímeros a partir de residuos agroindustriales

El aprovechamiento de residuos agroindustriales se ha convertido en una estrategia importante en la economía circular y la bioeconomía, ya que permite la transformación de subproductos orgánicos de bajo valor en materiales poliméricos funcionales. Este enfoque reduce la dependencia de polímeros sintéticos derivados del petróleo y disminuye las emisiones asociadas a su producción. En particular, residuos como cáscaras, bagazo, semillas

de frutas y hortalizas, entre otros residuos del procesamiento agroalimentario, se han reportado como ricos en almidón, celulosa, lignina y proteínas, lo que representa una fuente renovable para la obtención de biopolímeros con aplicaciones en diversas industrias como las de embalaje de alimentos y la biomédica (Panda et al., 2024).

La valorización de estos residuos también contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, por ejemplo, los ODS 12 y 13 mediante la gestión responsable de los recursos y la disminución de la contaminación causada por los residuos derivados del petróleo. Sin embargo, la heterogeneidad de los residuos agrícolas requiere métodos de aislamiento y modificación, así como su optimización, para preservar la integridad estructural de los polímeros naturales y mejorar su procesamiento industrial, permitiéndoles competir con los polímeros sintéticos en diversas aplicaciones.

3.1 Procesos de recuperación de biopolímeros a partir de residuos agroindustriales.

Los biopolímeros derivados de residuos agroindustriales como almidones, celulosas o proteínas poseen propiedades mecánicas y térmicas que pueden optimizarse mediante mezclas, aditivos o el uso de refuerzo. La modificación física o química de matrices como el almidón termoplástico (TPS) o la celulosa microcristalina mejora su compatibilidad con otros polímeros biodegradables y permite ajustar sus tiempos de degradación.

La recuperación de biopolímeros a partir residuos agroindustriales, tales como cáscaras, semillas, entre otros, se realiza típicamente mediante métodos como molienda húmeda y separación por centrifugación, seguido de lavados, decantación y secado; variantes incluyen extracción con soluciones ácidas o reductoras para mejorar el rendimiento y eliminar pigmentos y polisacáridos solubles. Otros procesos incorporan pasos enzimáticos, por ejemplo, con amilasas, para mejorar rendimiento y reducir uso de químicos, así como técnicas de optimización para mejorar propiedades como granulometría y cristalinidad. Estos parámetros son importantes para formulaciones que pudieran incluir el uso de plastificantes, compatibilizantes o refuerzos como celulosa o arcillas, con la finalidad de mejorar las propiedades del biocompuesto sin perder biodegradabilidad (Pech-Cohuo et al., 2024).

Otros biopolímeros que pueden ser extraídos de residuos agroindustriales incluyen la celulosa, que puede ser obtenida de paja, bagazo, cáscaras, entre otros. Este proceso comienza con un pretratamiento para eliminar hemicelulosa y lignina, entre estos métodos,

destacan los convencionales que incluyen tratamientos alcalinos o ácidos y deslignificación; sin embargo, las tendencias "verdes" favorecen el uso de solventes orgánicos, tratamientos con peróxido en condiciones suaves y procesos enzimáticos que reducen la carga química y mejoran la obtención de celulosa, mejorando su pureza y cristalinidad, y por ende, sus propiedades para aplicaciones en biocompuestos orientados al embalaje de alimentos o el ámbito biomédico.

Otro biopolímero importante que puede obtenerse a partir de residuos agroindustriales es el poli (ácido láctico) (PLA). La ruta típica para la obtención de este biopolímero a partir de residuos agroindustriales requiere diferentes etapas como la hidrólisis o sacarificación de biomasa lignocelulósica para obtener azúcares fermentables; posteriormente se fermenta en presencia de Lactobacillus spp. u otros para producir ácido láctico, el cual se purifica y se polimeriza ya sea por condensación o por síntesis por apertura de anillo del lacturo para obtener el PLA que puede ser utilizado en diversas aplicaciones. Otros biopolímeros con múltiples aplicaciones son los polihidroxialcanoatos (PHA), que pueden producirse directamente por fermentación microbiana usando azúcares o ácidos volátiles procedentes de residuos provenientes de frutas, jugos, suero, entre otros, y que a partir de ellos pueden procesarse biocompuestos con propiedades mecánicas útiles y alta biodegradabilidad en ambientes naturales o industriales.

Es importante enfatizar que, la selección del proceso depende del tipo de residuo, escalado y objetivo final ya sea para la obtención de biopelículas, fibras, o andamios para biomedicina, o bien, para la industria del embalaje de alimentos. Así mismo, la integración de etapas "verdes", así como la incorporación de análisis del "tiempo de vida" desde el diseño, aseguran que la recuperación de biopolímeros no solo sea técnicamente viable sino ambientalmente superior a rutas convencionales. En la Figura 2, se puede observar un esquema de la ruta de valorización en economía circular de residuos agroindustriales para la obtención de biopolímeros para posibles aplicaciones en embalaje de alimentos y biomedicina.

Varios autores han reportado trabajos en los que se utilizan diversos residuos agroindustriales de frutas endémicas del sureste mexicano, para aplicaciones de embalaje, lo cual, demuestra la viabilidad de estos desperdicios, fomentando la economía circular y cuidado del ecosistema. Asimismo, la adición de refuerzos, como nanoarcillas, permite obtener

biocompuestos con mayor estabilidad térmica y resistencia mecánica, sin comprometer la biodegradabilidad. Estas estrategias son congruentes con las tendencias actuales en ingeniería verde de materiales, donde la sostenibilidad se combina con la eficiencia funcional (Pech-Cohuo et al., 2024).

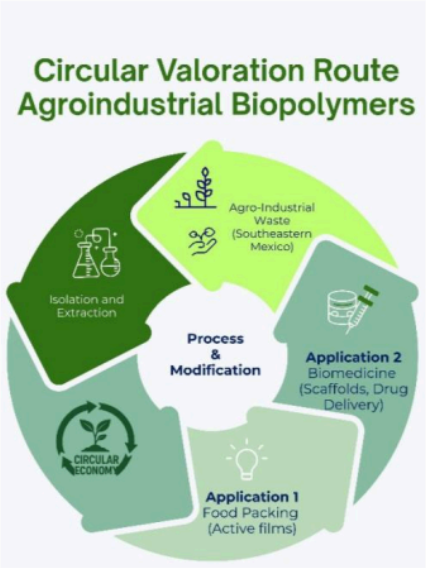


Figura 2. Esquema de la Ruta de Valorización en Economía Circular de residuos agroindustriales para la obtención de biopolímeros para sus posibles aplicaciones en Embalaje de Alimentos y Biomedicina.

3.2 Aplicaciones de biopolímeros obtenidos de residuos agroindustriales:

La innovación tecnológica para el desarrollo de biocompuestos a partir de fuentes no convencionales de residuos agroindustriales, puede basarse en el diseño de materiales de alto desempeño mediante técnicas de bajo impacto ambiental, su procesamiento o la adición de refuerzos naturales. En este contexto, las diversas investigaciones sobre la incorporación de arcillas en mezclas de almidón termoplástico (TPS) han demostrado que la adición de este tipo de refuerzos de origen natural y mineral, mejoran las propiedades mecánicas, térmicas y de barrera, potenciando su aplicación en embalajes de alimentos sostenibles (Pech-Cohuo et al., 2024). De igual modo, se ha demostrado que la selección del método de aislamiento del almidón influye significativamente en su desempeño como biopolímero, modificando sus

propiedades y por ende, la aplicación destinada, como es el caso del embalaje de alimentos (Dzul-Cervantes et al., 2024), lo que demuestra la viabilidad de integrar estos residuos locales en el desarrollo de biopolímeros, contribuyendo a la soberanía científica en el sureste mexicano, con potenciales aplicaciones en el área de embalaje alimentario.

En el ámbito biomédico, los biopolímeros derivados de residuos agroindustriales presentan un enorme potencial de aplicación. Su biocompatibilidad, biodegradabilidad y capacidad de funcionalización los hacen idóneos para aplicaciones como matrices para liberación controlada de fármacos, andamios para ingeniería de tejidos o cementos óseos modificados. Los avances recientes en biotecnología, ingeniería de materiales y química verde han permitido el aprovechamiento de biomasa residual como fuente de compuestos bioactivos y biopolímeros estructurales. Dentro de este grupo se encuentran la celulosa, la quitina, el colágeno, el poli (ácido láctico) (PLA) y los polihidroxialcanoatos (PHA), todos ellos con propiedades funcionales que los hacen idóneos para aplicaciones industriales y médicas (Vinayak et al., 2022), así como la mejora en la bioactividad y la regeneración tisular, favoreciendo la integración entre materiales sintéticos y naturales (Govindarasu et al., 2025).

3.3 Estudios y casos realizados.

Las investigaciones sobre biopolímeros derivados de residuos agroindustriales se alinean con los principios de innovación tecnológica verde y economía circular, impulsando el desarrollo de materiales más seguros, reciclables y con impacto social. En el sureste mexicano, investigadores han trabajado con residuos de frutas tropicales y locales para generar biopolímeros con propiedades destinadas a diversas aplicaciones de ingeniería, contribuyendo al fortalecimiento del conocimiento científico regional. Entre las aportaciones más relevantes se encuentra la obtención y caracterización de biopolímeros de almidón, donde se concluyó que sus propiedades pueden optimizarse, en particular, los estudios sobre Melicoccus bijugatus Jacq. han demostrado que el método de aislamiento influye directamente en la cristalinidad, la resistencia mecánica y la estabilidad térmica del almidón termoplástico, consolidando su potencial para aplicaciones en empaques biodegradables (Dzul-Cervantes et al., 2024).

Asimismo, se han desarrollado biocompuestos con refuerzos naturales mejorando el desempeño del material sin comprometer su biodegradabilidad, en este sentido la

incorporación de arcillas de la región en matrices de almidón termoplástico, donde la dispersión controlada del relleno incrementa la resistencia mecánica y la estabilidad térmica del material. Este enfoque resalta el uso de nanorefuerzos herramienta de ingeniería verde (Pech-Cohuo et al., 2024). Otros estudios, mostraron que la celulosa obtenida a partir de residuos de plantas del sureste mexicano, mejoraron las propiedades de almidones termoplásticos para diversas aplicaciones industriales (Pérez-Pacheco et al., 2024).

Por otro lado, los trabajos orientados a la biomedicina han revelado nuevas fronteras de aplicación para los biopolímeros. En este ámbito, la búsqueda global se centra en fuentes renovables de celulosa, quitina, colágeno y PLA para producir andamios y materiales funcionales en regeneración ósea y liberación controlada de fármacos. Investigaciones recientes recopilan estos avances, destacando las posibilidades de materiales biobasados utilizando lignina aislada de biomasa con fines biomédicos (George et al., 2024). Otras contribuciones demuestran el potencial de la nanocelulosa funcionalizada para aplicaciones en implantes y curación de heridas (Machado et al., 2024) así como el desarrollo de biopolímeros híbridos y composites poliméricos para dispositivos médicos y matrices osteoconductoras (Lalarukh et al., 2024).

Estos estudios a nivel mundial consolidan la visión de que los residuos agroindustriales constituyen una fuente estratégica para la ingeniería de materiales avanzados, integrando sostenibilidad, innovación tecnológica y responsabilidad ambiental; su aprovechamiento no solo reduce el daño al ecosistema, también estimula la creación de conocimiento inter y transdisciplinario, así como prácticas educativas orientadas al desarrollo sostenible, en este sentido, estos esfuerzos representan un modelo de convergencia entre ciencia e ingeniería de materiales, educación y compromiso ético con el ecosistema, reafirmando que la ingeniería verde es un factor clave para la transformación hacia una sociedad más resiliente y equitativa.

4. Los Sistemas Metálicos para la Innovación Sostenible

La industria de los mestales consume altas cantidades de energía y recursos no renovables, por lo que es indispensable rediseñar estos materiales orientados hacia una economía circular. En este contexto, el uso de materias primas recicladas, la optimización del uso de chatarra como materia prima secundaria y el desarrollo de aleaciones “verdes” por ejemplo, deben ser formuladas para cerrar su “ciclo de vida” y minimizar el daño al ecosistema. Un estudio

reciente mostró que el uso de desechos metálicos (chatarra) en aleaciones de aluminio permitiendo mantener sus propiedades mecánicas cuando se optimiza su procesamiento, incluso utilizando contenidos de chatarra de hasta el 80% (Korban et al., 2025). Además, la ciencia de los materiales indica que diseñar aleaciones en cuya composición se incluyan materiales chatarra, o que incluyan materiales reciclables abre un gran potencial para la descarbonización del sector (Müller et al., 2025).

4.1 Modelado y simulación computacional para optimizar propiedades y procesos en sistemas metálicos.

La optimización de procesos metalúrgicos, incluyendo fundición, solidificación, tratamiento térmico y remanufactura, se ha beneficiado considerablemente del uso del modelado y la simulación computacional. Herramientas como la simulación del flujo de fundición, la predicción de la nucleación y crecimiento de la microestructura, el análisis de la transferencia de calor y las simulaciones acopladas permiten anticipar defectos, optimizar las geometrías de los moldes, controlar las segregaciones y reducir el desperdicio de energía. Por ejemplo, estudios indican que los procesos de simulación pueden utilizarse para optimizar variables que mejoran la homogeneidad de las aleaciones (Raabe, 2023). El uso de modelos digitales también permite la evaluación de sistemas de producción virtuales, mejorando el ciclo de diseño y permitiendo una mayor agilidad en el desarrollo de materiales para optimizar el proceso de fabricación y su aplicación (Li et al., 2024), permitiendo ampliar los procesos de aleaciones recicladas o remanufacturadas, donde los tiempos de prueba y los recursos pueden limitar su adopción industrial.

4.2 Estudios y desarrollos recientes en sistemas metálicos sostenibles.

En la literatura científica, se destacan estudios que combinan el uso de residuos de metales “chatarra” con diversos tratamientos para obtener aleaciones con propiedades similares a lo que no incluyen materiales reciclados. Por ejemplo, se ha documentado la incorporación de aluminio de alto desempeño, en donde los autores demostraron que, utilizando porcentajes elevados, incluso de un 80 % de “chatarra” lograron reducir porosidad y mantener resistencia mecánica, en general, obteniendo propiedades adecuadas para aleaciones similares (Korban et al., 2025).

Otros autores, abordan la imperante necesidad de integrar la sostenibilidad en la gestión de recursos minerales en el contexto del abastecimiento de metales necesarios para la generación

de energía. Estos investigadores plantean que, ante la creciente demanda de metales críticos y la limitada disponibilidad de fuentes de obtención, es necesario rediseñar su proceso, desde la extracción hasta su reciclaje y reinserción en la cadena productiva para eficientizar su uso y reducir impactos ambientales y sociales. Así mismo, estos autores demuestran que los procesos para la obtención de metales se basan en modelos lineales que afectan al ecosistema y zonas subrepresentadas, por lo que, es necesario promover una transición hacia un modelo circular en el que la extracción de metales, la recuperación secundaria y la optimización del uso sean conceptos fundamentales (Zhou, 2023).

En otra investigación, los autores trabajaron en la recuperación de metales a partir de catalizadores automotrices, residuos de circuitos impresos o baterías; estos autores examinaron diversos procesos de recuperación, evaluando su sostenibilidad, selectividad, rendimiento y compatibilidad ambiental. Los investigadores también enfatizaron que estas tecnologías ofrecen una vía complementaria y/o alternativa a la minería convencional, reduciendo la necesidad de extracción primaria e integrando los principios de economía circular. Asimismo, señalaron áreas de oportunidad como la minimización de residuos, el uso de solventes “verdes”, la optimización de la recuperación de elementos valiosos en mezclas multimetálicas y la revalorización de subproductos. Los autores concluyeron que una perspectiva crítica sobre cómo el reciclaje avanzado de metales nobles debe ser concebido como parte esencial de una ingeniería metálica sostenible de alto valor (Zupanc et al., 2023).

4.3 Desafíos en el reciclaje de metales

A pesar de la necesidad de generar materiales a partir de desperdicios, y fomentar la economía circular de los materiales metálicos, existen muchos desafíos por superar para alcanzar las propiedades óptimas dependiendo de la aplicación de cada sistema. Una de las principales limitaciones del reciclaje metálico es la heterogeneidad y contaminación de los residuos, lo que imposibilita su reincorporación directa al ciclo productivo sin costosos tratamientos. Las aleaciones y los residuos contienen mezclas de metales, recubrimientos y polímeros que demandan separación física y química; además, las impurezas disminuyen las propiedades mecánicas y, por lo tanto, requieren procesos de separación energéticamente intensivos o pasos de purificación adicionales. A ello se puede agregar la dependencia geográfica y

logística de flujos de residuos, mercados globales y fallas en la recolección selectiva, limitando la disponibilidad de corrientes limpias e incremento de costos (Raabe, 2023).

Aunado a lo anterior, a nivel técnico existen retos operativos y de proceso que limitan la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos de recuperación. La separación selectiva y la recuperación de metales críticos en matrices mixtas continúa siendo un punto crítico, debido a que los métodos actuales necesitan solventes o reactivos que afectan la sostenibilidad del proceso. Además, la falta de tecnología e infraestructuras integradas impiden escalar soluciones prometedoras. Una investigación reciente propone un sistema híbrido como membranas selectivas o una disolución controlada, por ejemplo, para mejorar la selectividad, pero su adopción industrial requiere validación tecnológica y económica. En conjunto, estos retos técnicos y de infraestructura exigen innovación simultánea en química verde, ingeniería de procesos y políticas públicas. Finalmente, la economía del reciclaje condiciona la viabilidad técnica de muchas rutas de reciclado, especialmente para metales críticos donde el balance costo-beneficio es frágil. Estas situaciones demuestran que el desafío no es sólo de carácter tecnológico, sino también sistémico, exigiendo rediseños para reciclabilidad, trazabilidad de materiales y políticas de costos ambientales (Zante et al., 2024).

5. Aspectos éticos y educativos

La sostenibilidad en la ingeniería de materiales no puede comprenderse únicamente desde la eficiencia técnica o el desempeño funcional de los productos, también es indispensable integrar un proceso en el que se involucren valores éticos, educativos y sociales. En este sentido, los aspectos éticos y formativos desempeñan un papel fundamental en la configuración de una innovación tecnológica verde responsable y que permita anticipar sus impactos ambientales y humanos. Así mismo, el fortalecimiento de la educación en ingeniería de materiales con enfoques éticos, de derechos humanos y justicia ambiental permitiría orientar las investigaciones con equidad e inclusión. Este apartado ofrece una visión de cómo la ética aplicada, la educación para la sostenibilidad y la responsabilidad social constituyen aspectos clave para el diseño, desarrollo y adopción de materiales sostenibles, promoviendo un vínculo directo entre conocimiento científico, conciencia social y compromiso ambiental.

5.1 Fundamentos éticos y sociales de la innovación tecnológica verde.

La innovación tecnológica verde requiere ser entendida como un proceso técnico y social que necesita incorporar valores y derechos humanos desde las etapas iniciales del diseño hasta la aplicación y recuperación de los materiales. Esto implica mover la reflexión ética más allá de la responsabilidad profesional individual hacia prácticas de innovación e investigación responsables que habilitan la consideración explícita de impactos distributivos, riesgos y beneficios sociales. En este sentido, es indispensable formar ingenieros e ingenieras capaces de anticipar consecuencias socioambientales y puedan articular respuestas con actores afectados, esto, como un requisito para evitar que soluciones "verdes" reproduzcan desigualdades, por ejemplo, en comunidades extractivas o tecnológicas. De este modo, la ética aplicada a la ingeniería de materiales se vuelve práctica al incorporar una evaluación temprana del ciclo de vida de los materiales, criterios de trazabilidad, participación de comunidades y mecanismos de rendición que aseguren que la innovación contribuya a la justicia ambiental y al bienestar social (van Grunsven et al., 2024).

5.2 Derechos humanos, justicia ambiental y perspectiva de género en la ingeniería.

Incorporar una perspectiva de derechos humanos y justicia ambiental en la práctica ingenieril significa reconocer que las tecnologías materiales afectan de manera diferenciada a grupos sociales y que el género, la pobreza y la marginalidad mediatizan la vulnerabilidad ante impactos ambientales. Diversos autores en temas sobre género y sostenibilidad muestran que las políticas y tecnologías "neutras" reproducen desigualdades si no integran análisis de género y medidas proactivas, por ejemplo, el acceso equitativo a recursos energéticos o la participación en decisiones sobre implementación tecnológica. En ingeniería de materiales, esto traduce la necesidad de marcos de evaluación que incluyan indicadores de equidad y mecanismos participativos que permitan a comunidades y poblaciones subrepresentadas expresar requerimientos y objeciones, por ejemplo, en decisiones sobre plantas de reciclaje, biorrefinerías o diversas procesadoras. La consideración de derechos humanos en la fase de diseño y en las cadenas de suministro es indispensable para que la sostenibilidad y sustentabilidad, no sea solo un atributo técnico, sino un compromiso social verificable (Widegren & Sand, 2021).

5.3 Inclusión y participación en la educación para la sostenibilidad.

La educación para la sostenibilidad debe concebirse como una práctica inclusiva que promueva la participación efectiva de comunidades, estudiantes y actores productivos en procesos formativos y proyectos de innovación. Algunas evidencias en educación ingenieril señalan que las metodologías activas como el aprendizaje-servicio, proyectos comunitarios o laboratorios de innovación social, aumentan la comprensión crítica y la adopción responsable de tecnologías verdes. A pesar de que los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU y la UNESCO han destacado el papel esencial que debe alcanzar la ingeniería para los modelos sostenibles de desarrollo, aún es importante examinar el diseño, los rasgos y la esencia de las propuestas enfocadas en la sustentabilidad dentro del ámbito educativo en ingeniería. La inclusión, en este contexto, no se limita a la diversidad en el aula, sino a la integración de saberes locales, conocimientos indígenas y diversas perspectivas en el diseño curricular y en la evaluación de tecnologías. La creación de proyectos con actores locales favorece soluciones contextualizadas y mejora la legitimidad social de los productos y procesos desarrollados en el ámbito ingenieril. Además, la incorporación de indicadores de equidad, derechos y participación en la evaluación académica fomenta la formación de profesionales con competencias transversales para la sostenibilidad (Gutierrez-Bucheli et al., 2022).

5.4 Estrategias pedagógicas para fomentar responsabilidad social y ambiental en la formación de ingenieros.

Para desarrollar competencias ético-ambientales en el alumnado que cursa Programas Educativos en el ámbito ingenieril, es necesario diversificar los métodos pedagógicos a través de diferentes direcciones como 1) enfoques basados en proyectos reales, 2) escenarios de anticipación y responsabilidad, 3) aprendizaje interdisciplinario que reúna ingeniería, ciencias sociales y humanidades, y 4) evaluación que mida impacto social, inclusión y sostenibilidad del producto o proceso. Algunos estudios de caso en universidades europeas y anglosajonas muestran que cursos que combinan diseño de producto con evaluación de ciclo de vida, derecho ambiental y trabajo con comunidades aumentan la capacidad crítica y la acción responsable del alumnado. Es recomendable además institucionalizar espacios de formación docente sobre pedagogías críticas y crear métricas institucionales que midan no sólo publicaciones científicas sino también impacto social y transferencia con comunidades.

Estas estrategias pedagógicas contribuyen a formar ingenieros con habilidades técnicas y éticas para operar en contextos de complejidad socioambiental (Ramachandran et al., 2024). En el sureste mexicano, el Tecnológico Nacional de México campus Calkiní (ITESCAM), ubicado en el Estado de Campeche, es una Institución de Educación Superior que está comprometida con el cuidado al medio ambiente, la sostenibilidad y sustentabilidad del ecosistema, así como la formación integral del alumnado, por ello, en esa institución se han desarrollado diversas prácticas en donde el alumnado se preocupe por el cuidado de la infraestructura y mobiliario escolar. Por ejemplo, dentro de las prácticas de la asignatura "Corrosión y Degradación" perteneciente al plan de estudios del Programa Educativo de Ingeniería en Materiales del ITESCAM, el alumnado lidereado por el docente Dzul-Cervantes, participó en la restauración de estructuras metálicas que serán utilizadas para la divulgación de temas institucionales dentro del ITESCAM (Figura 3) ((ITESCAM), 2025).



Figura 3. Restauración de estructuras metálicas utilizadas en temas de divulgación en el ITESCAM

En otra actividad, el alumnado bajo la guía del docente Dzul-Cervantes, y dentro de las prácticas de la asignatura "Corrosión y Degradación" y "Soldadura para Mantenimiento" pertenecientes al plan de estudios del Programa Educativo de Ingeniería en Materiales del ITESCAM (Figura 4), se llevó a cabo un proyecto de restauración de sillas escolares que

habían sido descartadas por su uso prolongado. Con esta actividad, el alumnado analiza que este esfuerzo no solo representa una acción concreta de reciclaje y economía circular, sino también una oportunidad educativa donde se aplican conocimientos reales sobre materiales, resistencia y procesos sustentables, todo desde una perspectiva de ingeniería con responsabilidad social (Calkiní, 2025).

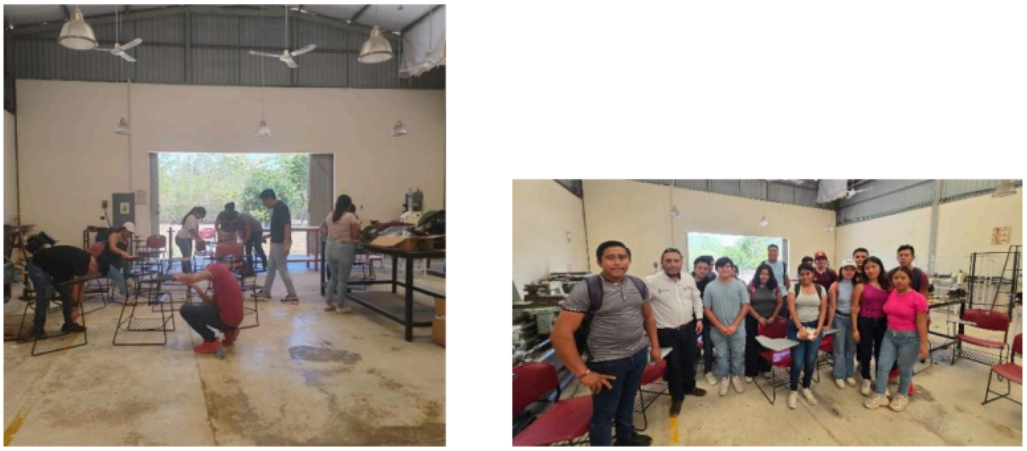


Figura 4. Restauración de mobiliario escolar en desuso en el ITESCAM

Estas acciones reflejan que, a nivel global, la educación en ingeniería y ciencias está evolucionando hacia un modelo orientado a la sostenibilidad, en el que la formación técnica se vincula con la responsabilidad ambiental y el compromiso social. Con este enfoque se impulsa la adopción de prácticas que favorecen el equilibrio ecológico al promover la innovación con sentido ético y fomentar en las nuevas generaciones una conciencia crítica sobre el impacto de la actividad humana en el entorno. Con estos aspectos, la educación continua su transmisión de conocimientos científicos y tecnológicos, integrando valores y desarrollando competencias que permiten formar profesionistas capaces de contribuir al desarrollo sostenible y a la construcción de un futuro más equitativo y justo para la humanidad.

6. . Conclusiones y Perspectivas

En este capítulo se ha mostrado una visión en la que la integración e interacción entre ciencia e ingeniería de materiales, sostenibilidad, innovación tecnológica y educación constituyen

responsable y ambientalmente consciente y responsable. También, se ha mostrado una perspectiva en la que la ingeniería verde debe entenderse como un proceso que optimiza el ciclo de vida de los materiales, desde la obtención de recursos hasta su reintegración en nuevas cadenas productivas. En este sentido, la ingeniería de materiales aparece como eje principal en la transición hacia modelos productivos sostenibles, por lo que no solo se deben desarrollar materiales que generen menor impacto al ecosistema, sino que también es necesario rediseñar integralmente su ciclo de vida.

Los biopolímeros derivados de residuos agroindustriales y los sistemas metálicos reciclados muestran viabilidad técnica y aportan rutas concretas a la circularidad, mientras que las herramientas digitales aceleran el diseño eficiente y la validación de procesos. Sin embargo, en este tránsito, es crucial que debe estar mediado por marcos éticos y educativos que garanticen equidad, inclusión y justicia ambiental. Así mismo, la formación inter y transdisciplinaria que incorpore derechos humanos, perspectiva de género y participación comunitaria, es indispensable para que las soluciones técnicas sean socialmente legítimas y no reproduzcan desigualdades. Además, las políticas gubernamentales responsables exigen trazabilidad, evaluación de impactos distributivos y mecanismos de rendición que vinculen ciencia, industria y comunidades.

De manera general, hacia el futuro, se pueden plantear tres prioridades: 1) integrar el análisis de ciclo de vida en todo desarrollo tecnológico, 2) fortalecer plataformas interdisciplinarias que conecten bioprocesos y metalurgia verde, y 3) formar profesionistas con competencias sostenibles. En este sentido, la ingeniería y ciencia de materiales podría consolidarse como una herramienta humanizada, circular y resiliente, orientada al bienestar social y al equilibrio ecológico global.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

(ITESCAM), T. N. d. M. c. C. (2025). Restauración de Estructura Metálicas. Retrieved November 07 from https://www.facebook.com/share/p/1AEZV1i36t/

Agrawal, R., Majumdar, A., Kumar, A., & Luthra, S. (2023). Integration of artificial intelligence in sustainable manufacturing: current status and future opportunities. Operations Management Research, 16(4), 1720-1741.

Buj-Corral, I., Sanz-Fraile, H., Ulldemolins, A., Tejo-Otero, A., Domínguez-Fernández, A., Almendros, I., & Otero, J. (2022). Characterization of 3D printed metal-PLA composite scaffolds for biomedical applications. Polymers, 14(13), 2754.

Calkiní, T. N. d. M. c. (2025). Restauración de Sillas Escolares. Retrieved November 07 from https://www.facebook.com/share/p/1Bd7pf4uS4/

Dumée, L. F. (2022). Circular materials and circular design—review on challenges towards sustainable manufacturing and recycling. Circular economy and sustainability, 2(1), 9-23.

Dutta, D., & Sit, N. (2024). A comprehensive review on types and properties of biopolymers as sustainable bio-based alternatives for packaging. Food Biomacromolecules, 1(2), 58-87.

Dzul-Cervantes, M., Canto-Rosado, J., Pérez-Pacheco, E., Ríos-Soberanis, C., Canto-Pinto, J., Estrada-León, R., Chim-Chi, Y., Moo-Huchin, V., Ortiz-Fernández, A., & Pérez-Padilla, Y. (2024). Effects of different isolation methods on TPS of Melicoccus bijugatus Jacq.: physicochemical and mechanical properties. Polymer Bulletin, 81(13), 12045-12063.

El Gamal, G. A., Gomaa, A. M., & Daowd, M. (2024). Circular Economy in Engineering Education: Enhancing Quality through Project-Based Learning and Assessment. Advanced Sciences and Technology Journal, 1(2), 1-17.

George, N., Adlakha, A., Mridula, Gupta, P., & Debroy, A. (2024). Biomedical Applications of Lignin Derived from Bio-Waste Materials. Biopolymers for Biomedical Applications, 333-372.

Getachew, E. M., Taffese, W. Z., Espinosa-Leal, L., & Yehualaw, M. D. (2025). Machine learning applications in sustainable construction materials: A scientometrics review of global trends, themes, and future directions. Sustainability, 17(18), 8453.

Govindarasu, M., Palanisamy, S., George Joy, J., Sharma, G., You, S., & Kim, J.-C. (2025). Advances of nanocellulose and cellulose-based derivatives for biomedical applications. Cellulose, 1-28.

Gutierrez-Bucheli, L., Kidman, G., & Reid, A. (2022). Sustainability in engineering education: A review of learning outcomes. Journal of Cleaner Production, 330, 129734.

Jha, S., Akula, B., Enyioma, H., Novak, M., Amin, V., & Liang, H. (2024). Biodegradable biobased polymers: a review of the state of the art, challenges, and future directions. Polymers, 16(16), 2262.

Kamarudin, S. H., Rayung, M., Abu, F., Ahmad, S. b., Fadil, F., Karim, A. A., Norizan, M. N., Sarifuddin, N., Mat Desa, M. S. Z., & Mohd Basri, M. S. (2022). A review on antimicrobial packaging from biodegradable polymer composites. Polymers, 14(1), 174.

Korban, P., Wąsik, A., & Leszczyńska-Madej, B. (2025). Advancing Sustainability in Alloy Production: The Role of Recycled Materials and Barbotage in Enhancing EN AC-46000 Castings. Sustainability, 17(11), 4755.

Lalarukh, Hussain, S. M., Ali, S., Zahoor, A. F., Azmat, H., Nazish, N., Alshehri, M. A., Riaz, D., Naeem, E., & Mahrukh. (2024). Innovation of advanced polymers from seafood waste: Applications of chitin and chitosan. Polymers for Advanced Technologies, 35(6), e6471.

Li, S., Li, C., & Wang, F. (2024). Computational experiments of metal corrosion studies: A review. Materials Today Chemistry, 37, 101986.

Machado, B., Costa, S. M., Costa, I., Fangueiro, R., & Ferreira, D. P. (2024). The potential of algae as a source of cellulose and its derivatives for biomedical applications. Cellulose, 31(6), 3353-3376.

Müller, D., Groves, D. I., Santosh, M., & Yang, C.-X. (2025). Critical metals: Their applications with emphasis on the clean energy transition. Geosystems and Geoenvironment, 4(1), 100310.

Olsson, D., Gericke, N., & Boeve-de Pauw, J. (2022). The effectiveness of education for sustainable development revisited–a longitudinal study on secondary

students' action competence for sustainability. Environmental Education Research, 28(3), 405-429.

Panda, J., Mishra, A. K., Mohanta, Y. K., Patowary, K., Rauta, P. R., & Mishra, B. (2024). Exploring biopolymer for food and pharmaceuticals application in the circular bioeconomy: An agro-food waste-to-wealth approach. Waste and Biomass Valorization, 15(10), 5607-5637.

Pech-Cohuo, S. C., Dzul-Cervantes, M. A. d. A., Pérez-Pacheco, E., Rosado, J. A. C., Chim-Chi, Y. A., Ríos-Soberanis, C. R., Cuevas-Carballo, Z. B., Uc-Cayetano, E. G., Can-Herrera, L. A., & Ortíz-Fernández, A. (2024). Effect of clays incorporation on properties of thermoplastic starch/clay composite bio-based polymer blends. Scientific Reports, 14(1), 19669.

Pérez-Pacheco, E., Rios-Soberanis, C. R., Mina-Hernández, J. H., & Moo-Huchin, V. M. (2024). Use of cellulose fiber from Jipijapa (Carludovicapalmata) as fillers in corn starch-based biocomposite film. Iranian Polymer Journal, 33(2), 157-168.

Raabe, D. (2023). The materials science behind sustainable metals and alloys. Chemical reviews, 123(5), 2436-2608.

Ramachandran, V., Roach, K., & Tilley, E. (2024). Integrating Responsible Innovation into Engineering Education: Insights from Scenario Leads at UCL's Integrated Engineering Programme. SEFI 2024-52nd Annual Conference of the European Society for Engineering, Proceedings: Educating Responsible Engineers,

Tebaldo, V., Gautier di Confiengo, G., Duraccio, D., & Faga, M. G. (2024). Sustainable recovery of titanium alloy: From waste to feedstock for additive manufacturing. Sustainability, 16(1), 330.

van Grunsven, J., Stone, T., & Marin, L. (2024). Fostering responsible anticipation in engineering ethics education: how a multi-disciplinary enrichment of the responsible innovation framework can help. European journal of engineering education, 49(2), 283-298.

Verma, S. K., Prasad, A., & Katiyar, V. (2024). State of art review on sustainable biodegradable polymers with a market overview for sustainability packaging. Materials Today Sustainability, 26, 100776.

Vinayak, A., Sharma, S., & Singh, G. B. (2022). Biopolymers from industrial waste. In Biopolymers: Recent updates, challenges and opportunities (pp. 129-149). Springer.

Widegren, K., & Sand, J. (2021). Gender and sustainability: an international research review.

Zante, G., Elgar, C. E., Hartley, J. M., Mukherjee, R., Kettle, J., Horsfall, L. E., Walton, A., Harper, G. D., & Abbott, A. P. (2024). A toolbox for improved recycling of critical metals and materials in low-carbon technologies. RSC Sustainability, 2(2), 320-347.

Zhou, L. (2023). Towards sustainability in mineral resources. Ore Geology Reviews, 160, 105600.

Zuo, L., Wang, C., He, P., Song, H., & Liu, J. (2024). Recycling potential and development strategies of high-tech metals for low-carbon energy technologies. Journal of Cleaner Production, 450, 141665.

Zupanc, A., Install, J., Jereb, M., & Repo, T. (2023). Sustainable and selective modern methods of noble metal recycling. Angewandte Chemie International Edition, 62(5), e202214453.

METADATOS PENDIENTES

Capítulo 7. Ética Post-antropocéntrica y tecnologías verdes: Desafíos para la justicia ambiental en la gestión de animales en situación de calle.

*Escriba a continuación los nombres completos, sin abreviaturas, de los autores del capítulo y sus metadatos en nota al pie:

Osmany Licona Quiterio[1]

Luis António Vázquez Ochoa[2]

Odette Mendoza Becerril[3]

Resumen

La presencia de perros y gatos en situación de calle constituye un fenómeno complejo cuya comprensión trasciende los marcos tradicionales del bienestar animal, su existencia está vinculada a factores jurídicos, políticos y ambientales que revelan fallas estructurales en los sistemas de gobernanza urbana. Desde una perspectiva post-antropocéntrica, este capítulo examina cómo el tratamiento histórico de estos animales —generalmente concebidos como externalidades sanitarias o problemas de control poblacional— reproduce un paradigma donde lo humano ocupa el centro exclusivo del orden normativo y moral.

El análisis propone que dicha problemática debe ser entendida como una cuestión de justicia ambiental, en la cual perros y gatos forman parte de los ensamblajes socioecológicos de las ciudades y, por tanto, requieren políticas públicas que reconozcan su papel en la sostenibilidad urbana. La investigación se desarrolla mediante un enfoque interdisciplinario que articula teoría jurídica, estudios políticos y ética ambiental, con especial atención al papel de las tecnologías verdes y digitales en la gestión responsable de estas poblaciones.

Se discute el potencial de herramientas como sistemas de geolocalización, modelos predictivos, plataformas de adopción y tecnologías de identificación, argumentando que su uso debe estar subordinado a principios de responsabilidad estatal, no violencia y protección ecosistémica. Finalmente, se plantea que la transición hacia una gobernanza ambiental interespecie exige reformular categorías jurídicas, incorporar enfoques de salud y bienestar integrados y construir marcos éticos que superen la visión antropocéntrica dominante.

[1] [Grado académico más importante]. [Cargo académico] en [su actual institución], [país]. ORCID: [inserte] ; Scopus: [inserte] ; correo electrónico: [inserte]

[2]

[3] [Grado académico más importante]. [Cargo académico] en [su actual institución], [país]. ORCID: [inserte] ; Scopus: [inserte]

*Anote a continuación 3 o 4 palabras clave.

Palabras clave: justicia ambiental; animales en situación de calle; tecnologías verdes; gobernanza urbana; sostenibilidad digital

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de perros y gatos en situación de calle constituye un fenómeno socioambiental complejo cuya persistencia revela fallas profundas en los sistemas de gobernanza urbana y en las estructuras normativas que regulan la relación humano–animal, la Organización Mundial de la Salud estimó en su documento técnico Guidelines for Dog Population Management (1990) que aproximadamente el 70% de la población canina mundial vive en condición de vagancia o semilibertad, una cifra ampliamente citada por organismos internacionales ante la ausencia de datos globales más recientes y reiterada en comunicaciones técnicas posteriores, como la hoja informativa sobre rabia publicada en 2018.

En México, esta problemática alcanza dimensiones críticas, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el país alberga alrededor de 23 millones de perros, de los cuales hasta el 70% permanece sin hogar, resultado del abandono sistemático, la reproducción no controlada y la limitada capacidad institucional para implementar políticas de bienestar animal a largo plazo (INEGI, 2019). A nivel local, la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (PAOT-CDMX) documentó en su Informe 2019–2020 un incremento sostenido en denuncias por maltrato y abandono, evidenciando que el problema no es únicamente sanitario, sino estructural y relacionado con desigualdades urbanas, precariedad institucional y ausencia de políticas intersectoriales (PAOT, 2020).

Históricamente, los animales domésticos en calle han sido gestionados desde perspectivas higienistas o estrictamente sanitarias, reducidos a externalidades de riesgo y desvinculados de las discusiones sobre justicia ambiental y sostenibilidad urbana. Este modelo refleja un arraigado antropocentrismo jurídico y político, que ha mantenido al ser humano como el único sujeto de valor moral y protección normativa, relegando a las demás especies a categorías instrumentales o residuales (Kymlicka & Donaldson, 2011), esta visión ha generado vacíos regulatorios, intervenciones reactivas —como el sacrificio o campañas de captura— y políticas fragmentadas que no abordan las causas estructurales del abandono animal.

En contraste, diversos marcos filosóficos y teóricos contemporáneos impulsan un giro conceptual hacia el post-antropocentrismo, enfoque que cuestiona la centralidad ontológica del ser humano y reconoce la interdependencia constitutiva entre humanos, animales, ecosistemas y tecnologías, autoras como Haraway (2016), Braidotti (2013) y autores como Wolfe (2010) proponen expandir el ámbito de la ética y de lo político para incluir a las especies no humanas como participantes legítimos de los ensamblajes socioecológicos, bajo esta perspectiva, los animales en situación de calle no son residuos urbanos ni amenazas sanitarias: son actores ecológicos urbanos, cuya presencia influye en dinámicas territoriales, movilidad, gestión de residuos, afectividad comunitaria y procesos de salud pública.

Simultáneamente, la proliferación de tecnologías verdes y herramientas digitales ha abierto nuevas posibilidades para la gestión sostenible de estas poblaciones, sSistemas de geolocalización, identificación biométrica, modelos predictivos basados en inteligencia artificial, plataformas de adopción, bases de datos interoperables y herramientas para monitoreo poblacional ofrecen una oportunidad para articular políticas basadas en evidencia, transparencia y corresponsabilidad social. Sin embargo, su uso requiere marcos éticos y jurídicos sólidos que garanticen bienestar animal, protección de datos, reducción de desigualdades territoriales e integración comunitaria, en consonancia con los principios del enfoque One Health/One Welfare, que articula salud humana, salud animal y salud ambiental en un mismo sistema de interdependencias.

Este capítulo sostiene que la situación de perros y gatos en calle debe ser entendida como un problema de justicia ambiental urbana, cuya resolución demanda integrar la ética post-antropocéntrica, el derecho ambiental, la ciencia política y las tecnologías verdes, la

pertinencia de este enfoque se vincula directamente con los objetivos de los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES), orientados a impulsar investigación aplicada que atienda problemáticas estructurales del país mediante enfoques interdisciplinarios, con impacto social y orientados al bien común.

La gestión de animales en situación de calle se relaciona con desigualdades territoriales, inequidades en infraestructura pública, riesgos sanitarios y deterioro ambiental, dimensiones centrales de los programas PRONACES vinculados con justicia socioambiental, asimismo, la incorporación de tecnologías verdes y modelos de gobernanza digital responde a los ejes de innovación responsable, sostenibilidad ecosistémica y fortalecimiento comunitario que estos programas buscan consolidar. Por ello, la investigación aquí presentada no sólo analiza una problemática emergente, sino que aporta elementos conceptuales y propositivos coherentes con la vocación transformadora de PRONACES.

Esta investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo analítico–documental, complementado con técnicas hermenéuticas y análisis comparado. Se realizó una revisión sistemática de literatura científica interdisciplinaria, con énfasis en artículos publicados en bases indexadas —particularmente Scopus entre 2019 y 2025—, así como documentos jurídicos, informes institucionales, normatividad nacional e internacional y políticas públicas relacionadas con bienestar animal, justicia ambiental y gobernanza urbana. Este enfoque metodológico permitió construir una interpretación integral que articula elementos jurídicos, politológicos, éticos y tecnológicos, ofreciendo una aproximación rigurosa y coherente con el carácter multidisciplinario del presente capítulo.

II. MARCO TEÓRICO

Comprender la situación de perros y gatos que viven en la calle exige un marco teórico que vaya más allá de la descripción del abandono, se requiere un enfoque capaz de unir ética, derecho, ecología, ciencia política y tecnología para explicar por qué este fenómeno persiste y qué transformaciones conceptuales serían necesarias para abordarlo de manera justa, esta mirada interdisciplinaria permite reconocer que la presencia de animales en calle no es un hecho aislado, sino el resultado de una forma de organizar la vida social y urbana que ha colocado históricamente al ser humano en el centro de todo.

II.1. El antropocentrismo como base histórica de la relación humano–animal

Las sociedades modernas heredaron una visión del mundo donde el valor moral y jurídico se asigna casi exclusivamente al ser humano, este enfoque —conocido como antropocentrismo— se consolidó a partir de tradiciones filosóficas que defendían la superioridad humana por su racionalidad, lenguaje o autonomía (Descartes, 1641; Kant, 1785), bajo esta mirada, los animales eran importantes solo en la medida en que servían a fines humanos.

Desde la perspectiva ética, el post-antropocentrismo no constituye únicamente una crítica filosófica al privilegio humano, sino un replanteamiento de las obligaciones morales en contextos de convivencia interespecie. Este enfoque sostiene que la moralidad pública debe extenderse más allá de la especie humana, reconociendo que perros y gatos poseen intereses propios que generan responsabilidades normativas hacia ellos, la ética del cuidado, la ética de la responsabilidad y los principios de no maleficencia y precaución proporcionan bases sólidas para fundamentar que el trato digno, la protección y la prevención del sufrimiento animal no son actos discrecionales, sino compromisos éticos vinculados a la justicia urbana y ambiental.

En el campo jurídico, este paradigma se expresó en normativas que clasificaron a los animales como bienes o recursos administrables, sin reconocimiento moral propio, las políticas públicas en México reflejan aún esa huella: la captura, el confinamiento y el sacrificio han sido prácticas comunes porque se considera que los animales en calle representan un riesgo, no un componente del entorno urbano.

El problema es que esta lógica invisibiliza las causas estructurales del abandono y reduce la complejidad del fenómeno a intervenciones momentáneas, además, profundiza la idea de que la ciudad es un espacio exclusivamente humano y que todo lo que escapa a ese orden debe ser removido o neutralizado, esta perspectiva fragmentada ha impedido ver a los animales como parte del tejido urbano y ha limitado las posibilidades de diseñar políticas integrales basadas en prevención, bienestar y corresponsabilidad.

En este sentido, la ética interespecie propone un desplazamiento de las fronteras tradicionales de la justicia para incluir a los animales como sujetos de consideración moral, lejos de

equiparar sus derechos a los de las personas, esta perspectiva establece que toda política pública orientada a la gestión animal debe guiarse por el principio del daño mínimo, la promoción del bienestar y la corresponsabilidad interinstitucional, esta visión ética coincide con los planteamientos de la justicia ambiental, que entiende la ciudad como un sistema donde las cargas y los beneficios deben distribuirse equitativamente entre todos los seres que lo integran.

II.2. El giro post-antropocéntrico: reconocer la interdependencia

En las últimas décadas, diversas corrientes filosóficas, ambientales y sociales han cuestionado la centralidad absoluta del ser humano, este movimiento, conocido como post-antropocentrismo, propone reconocer que la vida humana depende de redes biológicas, ecológicas, tecnológicas y comunitarias que la exceden, desde esta perspectiva, los animales no son "accesorios" de la ciudad, sino participantes activos de sus dinámicas.

Donna Haraway (2016) formula esta idea como la necesidad de "hacer parentesco" con otras especies: entender que la vida siempre se construye en relación, por su parte Rosi Braidotti (2013) amplía este enfoque al plantear un sujeto posthumano, definido no por su autonomía individual, sino por los vínculos materiales y afectivos que lo conforman, así también Cary Wolfe (2010), por su parte, argumenta que la política y el derecho deben abandonar los criterios exclusivamente humanos e incorporar a los animales como sujetos de consideración en la toma de decisiones colectivas.

Estos planteamientos no idealizan a los animales ni pretenden romantizar su presencia en las ciudades, más bien, invitan a revisar críticamente las estructuras institucionales y culturales que los han colocado en posiciones de vulnerabilidad extrema, para el derecho y la ciencia política, el giro post-antropocéntrico abre una ruta para repensar la inclusión normativa, el diseño institucional y la gobernanza urbana desde relaciones de interdependencia y responsabilidad mutua.

II.3. Justicia ambiental y animales urbanos como parte del territorio

La justicia ambiental surgió para analizar cómo ciertos grupos humanos sufren de forma desigual los daños ambientales, sin embargo, investigaciones recientes han ampliado esta noción para reconocer que las ciudades están pobladas por múltiples formas de vida y que la distribución de riesgos, cuidados y oportunidades también afecta a animales domésticos y silvestres (Agyeman, 2005; Schlosberg, 2007).

Perros y gatos en situación de calle participan de manera constante en la vida urbana: siguen patrones territoriales, generan vínculos con comunidades, influyen en dinámicas de movilidad y están expuestos a inequidades espaciales similares a las que viven personas en condición de vulnerabilidad, en ciudades latinoamericanas, estudios recientes han mostrado que los territorios con mayor presencia de animales callejeros coinciden con carencias estructurales en infraestructura ambiental, acceso a servicios, programas de esterilización y participación ciudadana (Srinivasan, 2019; Valenzuela, 2022).

Este hallazgo reconfigura la lectura del abandono animal: ya no se trata de una simple falla en la tenencia responsable, sino de un problema de desigualdad territorial y ambiental, donde la ausencia del Estado reproduce ciclos de vulnerabilidad que afectan tanto a humanos como a animales.

II.4. Ética interespecie y transformaciones jurídicas necesarias

La ética interespecie plantea que el valor moral no se restringe a la especie humana, sino que depende de la capacidad de sentir, sufrir y establecer relaciones significativas, este enfoque, respaldado por literatura científica sobre cognición y comportamiento animal, ha impulsado reformas jurídicas importantes en América Latina, como el reconocimiento de animales como seres sintientes.

En México, aunque existen leyes estatales de protección animal, la falta de un marco federal integral y la ausencia de coordinación entre municipios dificultan la implementación de políticas sostenidas de adopción, esterilización ética y educación comunitaria, desde la teoría política, esta fragmentación refleja un déficit en gobernanza multinivel, donde la ausencia de articulación entre niveles de gobierno produce escenarios de abandono institucional.

Integrar la ética interespecie al derecho implica reconocer que los animales no son únicamente "objetos" bajo responsabilidad humana, sino sujetos vulnerables que requieren protección activa del Estado, especialmente en contextos urbanos donde están expuestos a riesgos constantes.

II.5. One Health / One Welfare como enfoque integrador

Los paradigmas One Health y One Welfare sostienen que la salud humana, animal y ambiental forman un sistema único, el One Health High-Level Panel (2022) ha señalado que las estrategias basadas en sacrificios masivos no solo son ineficaces, sino que generan efectos adversos en comunidades humanas, incrementan riesgos sanitarios y perpetúan ciclos de abandono.

Investigaciones empíricas recientes muestran que políticas de esterilización ética, adopción responsable, participación comunitaria y vigilancia epidemiológica reducen significativamente problemas sanitarios y conflictos comunitarios, al mismo tiempo que promueven bienestar animal (Srinivasan et al., 2020).

Este enfoque es esencial para el diseño de políticas en México, donde la interacción entre humanos, fauna doméstica y entornos urbanos es cada vez más estrecha.

II.6. Tecnologías verdes y gobernanza digital en la gestión de animales en calle

El surgimiento de tecnologías verdes y herramientas digitales ofrece soluciones innovadoras para el manejo ético y sostenible de poblaciones animales urbanas. Entre estas destacan:

- Identificación biométrica,
- Modelos predictivos de dinámica poblacional,
- Plataformas de adopción y seguimiento,
- Sistemas de trazabilidad de campañas de esterilización,
- Bases de datos interoperables entre municipios.

Ciudades como Estambul, São Paulo y Nueva Delhi han implementado con éxito sistemas digitales de monitoreo combinados con políticas de esterilización masiva, mostrando reducciones sostenidas en animales en calle (Gompers et al., 2021).

Estas herramientas permiten mejorar la coordinación interinstitucional, aumentar la transparencia y fortalecer la participación ciudadana, pero también requieren regulaciones claras sobre protección de datos, bienestar animal y equidad territorial. Desde la ciencia política, esto constituye un cambio hacia formas de gobernanza digital y gobernanza ecológica, donde la tecnología se integra al servicio de la sostenibilidad y la justicia, este enfoque interdisciplinario permite situar a los animales callejeros como parte del entramado urbano y no como externalidades, abriendo la puerta a soluciones más justas, sostenibles y acordes con los desafíos socioambientales contemporáneos.

La situación de perros y gatos en calle no puede entenderse únicamente como un problema sanitario o de abandono individual, sino como el resultado de estructuras históricas y políticas ancladas en el antropocentrismo, que han concebido a los animales como externalidades urbanas sin valor propio, frente a esta visión, el giro post-antropocéntrico propone reconocer la interdependencia entre humanos, animales y ecosistemas, ampliando el horizonte moral y jurídico hacia una ética interespecie que exige considerar a estos animales como actores socioecológicos dentro de las ciudades.

La justicia ambiental complementa este enfoque al evidenciar que los territorios con mayores niveles de abandono animal coinciden con desigualdades estructurales, déficits de infraestructura y ausencia de políticas públicas sostenidas, lo que confirma que la problemática forma parte de dinámicas territoriales más amplias, a su vez, los enfoques One Health y One Welfare integran salud humana, animal y ambiental en un único sistema, subrayando que el bienestar de estos animales repercute directamente en la sostenibilidad urbana, por otro lado las tecnologías verdes y digitales emergen como herramientas clave para la gestión ética y eficiente de estas poblaciones, siempre que se utilicen bajo marcos normativos robustos, con criterios de transparencia, participación comunitaria y protección del bienestar animal en conjunto, esta articulación interdisciplinaria permite fundar una comprensión integral y crítica del fenómeno, abriendo el camino hacia modelos de gobernanza ambiental más justos, sostenibles e incluyentes.

III. METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo de corte analítico–interpretativo, orientado a comprender el fenómeno de los animales en situación de calle como un problema socioambiental complejo que exige la integración de perspectivas jurídicas, politológicas, éticas y tecnológicas, esta aproximación se fundamenta en la premisa de que el abandono animal no puede explicarse únicamente desde parámetros biológicos o sanitarios, sino que forma parte de estructuras institucionales, prácticas culturales, desigualdades territoriales y modelos de gobernanza que requieren ser interpretados desde una mirada interdisciplinaria y crítica (Creswell & Poth, 2018).

La primera fase consistió en una revisión documental exhaustiva de literatura académica nacional e internacional, con énfasis en fuentes indexadas en Scopus entre 2019 y 2025, a fin de asegurar actualidad, rigurosidad y pertinencia temática, asimismo se analizaron publicaciones en filosofía posthumanista, ética ambiental, justicia ecológica, bienestar animal, gobernanza urbana y tecnologías verdes, esta revisión incluyó textos fundamentales de Haraway (2016), Braidotti (2013), Wolfe (2010), Nussbaum (2006) y estudios contemporáneos sobre dinámica poblacional de animales urbanos (Srinivasan, 2019; Gompers et al., 2021), se integraron además documentos técnicos de organismos internacionales (WHO, 1990; One Health High-Level Panel, 2022) y normatividades vigentes en México para contextualizar el marco jurídico aplicable.

Se compararon experiencias de ciudades como Estambul, São Paulo y Barcelona, donde se han aplicado tecnologías digitales y estrategias de esterilización ética para el control poblacional, generando evidencia útil para contrastar con el contexto mexicano, la investigación incorporó también un enfoque hermenéutico–crítico, orientado a interpretar cómo discursos legales, institucionales y sociales producen y reproducen percepciones sobre los animales en calle, este componente permitió analizar el lugar que ocupan los animales dentro del imaginario urbano, cómo son representados por el derecho y qué implicaciones tiene dicha representación en el diseño de políticas públicas.

Al mismo tiempo, esta aproximación permitió integrar elementos de la filosofía del reconocimiento y de la teoría de la justicia ambiental para articular un marco conceptual coherente con los objetivos del estudio.

Finalmente, se desarrolló un ejercicio de síntesis interdisciplinaria, mediante el cual los hallazgos derivados del análisis documental y teórico fueron articulados para construir una

propuesta explicativa integral. Este proceso permitió evaluar la pertinencia de tecnologías verdes y digitales —como geolocalización, identificación biométrica, análisis predictivo y trazabilidad digital— dentro de modelos de gobernanza ética y sostenible, esta metodología, en conjunto, permitió abordar el fenómeno desde múltiples dimensiones, asegurando que la discusión no se limitara a aspectos normativos o técnicos, sino que integrara una visión plural, crítica y socialmente responsable.

IV. DESARROLLO

IV.1. Perros y gatos en situación de calle: una problemática socioambiental estructural

La presencia de perros y gatos en situación de calle en México constituye un fenómeno que ha sido históricamente invisibilizado dentro de la agenda pública, pese a que sus implicaciones sociales, ambientales, sanitarias y éticas lo convierten en un problema estructural de gran complejidad, de acuerdo con el documento técnico Guidelines for Dog Population Management de la Organización Mundial de la Salud (1990), aproximadamente el 70% de los perros del mundo vive en condiciones de vagancia o semilibertad, aunque esta estimación es antigua, la OMS sigue empleándola como referencia ante la ausencia de censos globales actualizados, lo que evidencia tanto la magnitud del fenómeno como la falta de políticas internacionales coordinadas. En México, datos del INEGI revelan que alrededor de 23 millones de perros habitan en el país, de los cuales hasta 16 millones podrían encontrarse sin tutor responsable (INEGI, 2019), configurando una de las poblaciones caninas en calle más numerosas de América Latina.

Sin embargo, esta cifra no puede interpretarse de manera aislada, diversos estudios en salud pública y ecología urbana muestran que las poblaciones de animales en calle crecen de forma acelerada en contextos donde existe altos índices de pobreza, movilidad residencial, menor presencia estatal y baja cobertura de servicios veterinarios públicos (Srinivasan, 2019).

En zonas periurbanas —donde el Estado tiene menor capacidad de presencia territorial— la reproducción no controlada y el abandono se intensifican, formando circuitos que perpetúan la presencia de animales sin hogar durante generaciones, a esto se suma la comercialización informal de animales, la ausencia de controles en criaderos clandestinos y la falta de

sanciones efectivas por abandono, todos ellos factores que generan un escenario en el que la reproducción del problema no depende únicamente de decisiones individuales, sino de estructuras normativas y políticas insuficientes.

Desde la perspectiva de la ciencia política, esta problemática puede entenderse como un ejemplo de lo que Ostrom denomina "fallas de gobernanza colectiva", donde múltiples actores intervienen sin coordinación efectiva, y las responsabilidades se distribuyen de manera fragmentada entre hogares, municipios, asociaciones civiles y autoridades sanitarias (Ostrom, 1990), la falta de coordinación entre niveles de gobierno en México —federación, estados y municipios— convierte la gestión de animales en calle en un "problema huérfano", sin un responsable claro ni políticas continuas, muchos municipios carecen de infraestructura mínima, como centros de atención animal, campañas permanentes de esterilización o programas educativos, lo que refuerza la idea de que el abandono es un problema "natural" más que un desafío de política pública.

En términos socioambientales, la presencia de animales en calle ha sido interpretada bajo modelos higienistas que privilegian la idea del riesgo sanitario por encima de la comprensión del fenómeno como parte de la vida urbana, si bien existe evidencia sobre riesgos epidemiológicos asociados a mordeduras, accidentes o transmisión de enfermedades como la rabia, la literatura contemporánea muestra que estos riesgos disminuyen significativamente cuando existen programas éticos de esterilización, vacunación, cuidado comunitario y participación ciudadana, como ha sido documentado en ciudades de India, Turquía y Brasil (Kumar & Raut, 2020 ; Garde et al., 2020; Gompers et al., 2021).

Por otro lado, los animales en calle mantienen relaciones estables con espacios urbanos, desarrollan territorios, buscan fuentes de alimento y establecen dinámicas de cooperación y conflicto con comunidades humanas, en muchos barrios, especialmente los de menor ingreso, se desarrollan prácticas de cuidado informal, alimentación, refugio temporal y socialización, configurando formas de "convivencia interespecie" que la literatura contemporánea identifica como parte de la ecología afectiva urbana (Srinivasan, 2019), estas relaciones muestran que los animales no son meras externalidades, sino actores integrados a la vida cotidiana.

Desde la perspectiva ambiental, diversos estudios muestran que las poblaciones animales urbanas están directamente vinculadas con políticas de manejo de residuos, movilidad,

seguridad urbana y salud pública (Perry & Robertson, 2020), los territorios donde se acumula basura sin control, donde el acceso al agua es irregular o donde existen zonas de riesgo estructural presentan mayores concentraciones de animales en calle, lo que demuestra que su presencia es también un indicador de desigualdad territorial.

Por su parte las respuestas institucionales en México siguen siendo insuficientes. la mayor parte de los municipios carece de presupuestos asignados a bienestar animal, y los marcos jurídicos estatales presentan disparidades notables en definición de maltrato, obligaciones públicas y mecanismos de sanción, en algunos casos, el sacrificio continúa siendo una práctica vigente y normalizada, a pesar de que la evidencia científica ha demostrado que no reduce las poblaciones y genera efectos adversos en salud comunitaria (One Health High-Level Panel, 2022), por ello, la presencia de animales en calle constituye un problema que no puede resolverse con intervenciones aisladas: requiere una política pública basada en ciencia, tecnología, ética y participación comunitaria.

En síntesis, la problemática de perros y gatos en calle es multidimensional y estructural: involucra desigualdad, fallas de gobernanza, debilidades normativas, prácticas culturales, riesgos sanitarios y dinámicas socioambientales complejas, su comprensión demanda un enfoque interdisciplinario que supere las respuestas reactivas y permita imaginar soluciones éticas, sostenibles y políticamente viables.

IV.2. El antropocentrismo en la política pública y el derecho mexicano

El análisis del marco institucional mexicano revela que las políticas públicas dirigidas a los animales domésticos en situación de calle continúan operando bajo una lógica profundamente antropocéntrica, en la que la vida no humana se concibe como subordinada a prioridades humanas, sean sanitarias, económicas o administrativas, este enfoque, con raíces en la tradición jurídica occidental que históricamente clasificó a los animales como bienes o recursos disponibles para uso humano, permea aún la regulación mexicana y limita la construcción de mecanismos efectivos de protección.

La legislación civil de la mayoría de las entidades federativas mantiene la categoría de “bienes muebles” para referirse a los animales, lo que condiciona su protección jurídica y los excluye de marcos de reconocimiento reforzado, dificultando la implementación de políticas

de bienestar, trazabilidad o adopción responsable. Aunque en años recientes algunos congresos estatales han avanzado en la prohibición del sacrificio o el reconocimiento de los animales como seres sintientes, estos esfuerzos permanecen aislados, generando un mosaico normativo que reproduce desigualdades territoriales y administrativas (León et al., 2021).

Esta estructura antropocéntrica también se manifiesta en la forma en que el Estado interpreta la presencia de animales en calle: más que comprenderla como una problemática socioambiental compleja, suele reducirse a un asunto de "control poblacional" o "riesgo sanitario", si bien los riesgos epidemiológicos existen, la evidencia científica muestra que pueden mitigarse mediante políticas éticas de esterilización, vacunación y educación comunitaria (Garde et al., 2020), sin embargo, la persistencia del enfoque higienista refleja una lógica estatal centrada en la instrumentalidad: los animales se consideran problemas a resolver, más que actores urbanos integrados en el territorio, desde la ciencia política, esta forma de intervención se explica como una expresión del racionalismo técnico del Estado, que privilegia soluciones rápidas y visibles pero incapaces de atender las causas estructurales del fenómeno (Peters, 2019), las consecuencias son prácticas discontinuas, operativos temporales y, en algunos municipios, la persistencia de mecanismos de sacrificio que contradicen estándares internacionales y evidencia científica reciente.

A esta situación se suma la fragmentación institucional que caracteriza la gobernanza del bienestar animal en México, la ausencia de una política nacional integral y la delegación de responsabilidades a los municipios —muchos de ellos sin presupuesto ni personal especializado— generan escenarios en los que los animales en calle quedan atrapados en un vacío de gobernanza, esta falta de articulación entre niveles gubernamentales, descrita ampliamente por Ostrom (1990) como un problema clásico de acción colectiva, crea condiciones en las que ninguna institución asume plenamente la responsabilidad del fenómeno, lo que produce respuestas intermitentes y con escasa continuidad.

La desigualdad territorial agrava este escenario: las zonas con menor acceso a servicios públicos presentan mayores concentraciones de animales abandonados, lo que confirma que la problemática está estrechamente vinculada con factores socioeconómicos y ambientales (Perry & Robertson, 2020).

El antropocentrismo también influye en el comportamiento social y en las prácticas culturales que derivan en abandono, la concepción de los animales como bienes sustituibles facilita decisiones de desecho frente a crisis económicas, cambios habitacionales o conflictos familiares, investigaciones recientes muestran que la precariedad económica, el déficit educativo y la falta de servicios veterinarios accesibles se correlacionan con tasas más elevadas de abandono (Franco & Alvarez, 2021), la falta de programas sólidos de tenencia responsable, acompañados de políticas preventivas, refuerza una visión según la cual los animales son responsabilidad individual y no parte de una política pública estructural.

Esta visión antropocéntrica no solo limita las respuestas estatales, sino que configura una ética pública en la que las vidas animales son consideradas secundarias frente a las prioridades urbanas, ello impide reconocer a los perros y gatos en calle como actores socioecológicos que interactúan con el territorio, con las comunidades y con los sistemas ambientales de la ciudad.

La consecuencia es una política pública fragmentada, desigual y reactiva, que carece de continuidad y no incorpora enfoques contemporáneos como One Health, One Welfare o justicia ambiental, el antropocentrismo, así, no es solo un marco filosófico: opera como una estructura que legitima decisiones administrativas, mantiene vacíos institucionales y reproduce desigualdades en la forma en que distintas vidas son atendidas o excluidas por el Estado.

En su conjunto, lo antes planteado permite comprender que el antropocentrismo constituye un obstáculo fundamental para abordar de manera efectiva la problemática de los animales en situación de calle, su persistencia impide concebir políticas públicas que reconozcan la interdependencia entre seres humanos, animales y ecosistemas urbanos, y limita la posibilidad de articular estrategias éticas, jurídicas y tecnológicas que den respuesta integral a un fenómeno de profunda relevancia social y ambiental, superar este paradigma implica repensar el diseño institucional mexicano desde una perspectiva post-antropocéntrica que será abordada en la siguiente sección.

IV.3. La necesidad de un enfoque post-antropocéntrico en la gestión urbana

La gestión de animales en situación de calle no puede comprenderse únicamente desde la administración pública o la salud ambiental, su núcleo es también ético, una política interespecie requiere reconocer que los animales poseen intereses moralmente relevantes —como evitar el dolor, acceder a alimento, desarrollar vínculos y vivir sin violencia— que deben ser considerados en la toma de decisiones.

Desde esta perspectiva, la captura indiscriminada, el sacrificio como método de control o la ausencia de servicios básicos no son solo fallas institucionales, sino prácticas éticamente problemáticas, la ética del cuidado propone que el Estado asuma una responsabilidad ampliada hacia seres vulnerables cuyo bienestar depende directamente de sus decisiones, asimismo, el principio de justicia ambiental obliga a analizar cómo la distribución desigual de infraestructura, servicios y seguridad repercute en la vida animal, generando zonas donde los animales experimentan mayores riesgos y sufrimiento.

La ética sirve como criterio para evaluar tecnologías verdes y sistemas digitales, el monitoreo, la geolocalización o la analítica predictiva solo son legítimos si se emplean para reducir el sufrimiento, mejorar la coordinación institucional y fortalecer la transparencia, evitando prácticas de vigilancia excesiva o sesgos territoriales que puedan reproducir desigualdades. En este sentido, la ética no es un complemento, sino la estructura que orienta la gobernanza interespecie hacia decisiones justas y sostenibles.

El uso de tecnologías en la gestión animal exige también un análisis ético riguroso, las herramientas digitales pueden mejorar la eficiencia institucional, pero también pueden introducir riesgos, como la vigilancia excesiva, la manipulación indebida de datos o la exclusión de comunidades con menor acceso tecnológico, por ello, los principios éticos de transparencia, proporcionalidad, precaución y justicia distributiva deben orientar el diseño e implementación de cualquier sistema digital aplicado a poblaciones animales, la finalidad de estas tecnologías debe ser el bienestar, nunca el control punitivo ni la reproducción de desigualdades territoriales.

Superar el antropocentrismo no es un ejercicio meramente conceptual; constituye una exigencia práctica para repensar la manera en que las ciudades gestionan la vida que contienen, incluida aquella que no es humana, la problemática de perros y gatos en situación de calle evidencia que las políticas públicas diseñadas desde un paradigma centrado exclusivamente en las necesidades humanas resultan insuficientes para comprender y atender

fenómenos socioambientales complejos. La creciente evidencia muestra que los animales no humanos intervienen en múltiples dimensiones de la vida urbana —desde vínculos afectivos hasta procesos ecológicos y dinámicas territoriales—, lo que hace indispensable una mirada más amplia, capaz de reconocer las interdependencias que definen el entorno urbano contemporáneo (Haraway, 2016; Braidotti, 2013).

El post-antropocentrismo, entendido como la perspectiva que desplaza al ser humano del centro absoluto del orden moral y político, ofrece herramientas conceptuales para reconocer que la vida urbana está compuesta por redes en las que participan personas, animales, ecosistemas, infraestructuras y tecnologías. Esta visión no niega la especificidad humana, sino que cuestiona su supremacía normativa, Wolfe (2010) sostiene que las ciudades deben dejar atrás la ficción de que los humanos son los únicos actores políticos relevantes, y ampliar la mirada para incluir a los seres no humanos como elementos constitutivos de la polis.

En el contexto de perros y gatos en calle, esta transición implica revisar profundamente los supuestos desde los cuales se diseñan las intervenciones públicas: pasar de la idea de "control de plagas" a la de convivencia interespecie, de las respuestas punitivas a las estrategias de cuidado y corresponsabilidad, y de la fragmentación institucional hacia modelos integrales de gobernanza ecológica.

La adopción de un enfoque post-antropocéntrico también permite reorientar la ética pública, la literatura contemporánea en filosofía política ha mostrado que los marcos tradicionales de justicia —centrados en derechos individuales o distribución de recursos— no explican adecuadamente las obligaciones hacia otras especies. Nussbaum (2006) plantea que la justicia debe considerar las capacidades de cada ser para desarrollarse plenamente, lo que incluye, en el caso de animales domésticos, la posibilidad de vivir libres de violencia, abandono y sufrimiento. Esta perspectiva resulta especialmente relevante para ciudades latinoamericanas que enfrentan altos índices de abandono animal y prácticas institucionales que no siempre respetan estándares mínimos de bienestar.

Desde la ciencia política, el enfoque post-antropocéntrico implica reconocer que la toma de decisiones públicas debe integrar criterios que trasciendan el bienestar humano inmediato, las políticas urbanas requieren evaluar el impacto que tienen sobre la vida animal, así como sobre los ecosistemas y las comunidades que coexisten con ellos, esto demanda la creación de instrumentos de política que incorporen indicadores de bienestar animal, análisis

territoriales, participación ciudadana y mecanismos de rendición de cuentas, tal como recomiendan investigaciones recientes sobre gobernanza urbana sostenible (Peters & Pierre, 2020; Beckett & Keeling, 2019).

Asimismo, el post-antropocentrismo facilita la articulación de políticas públicas bajo el marco One Health/One Welfare, que reconoce la interdependencia entre salud humana, animal y ambiental, desde esta perspectiva, los animales en calle no son cuerpos ajenos al Estado o al territorio, sino parte de un sistema cuyos desequilibrios afectan directamente la seguridad, el bienestar y la sostenibilidad. El One Health High-Level Panel (2022) enfatiza que los problemas sanitarios asociados con animales en calle no se resuelven con sacrificio o confinamiento, sino mediante intervenciones integrales que incluyan esterilización ética, vacunación, educación y participación comunitaria.

La adopción de este enfoque transformador no solo responde a exigencias éticas

IV.4. Evidencia internacional comparada: aprendizajes para una gobernanza animal y ambiental sostenible

La experiencia internacional demuestra que la gestión ética de animales en situación de calle alcanza mejores resultados cuando se integra en enfoques amplios de sostenibilidad urbana, justicia ambiental y gobernanza digital, en países con altos índices de urbanización, las autoridades locales han reconocido que la presencia de animales sin tutor no es solo una cuestión de bienestar animal, sino un síntoma de desequilibrios socioambientales, deterioro institucional y falta de planeación territorial, analizar estas experiencias no implica un transplante directo de modelos, sino identificar patrones que permiten comprender por qué ciertas políticas han generado transformaciones sostenibles mientras otras han fracasado.

Estudios comparativos recientes muestran que los sistemas más exitosos combinan cuatro elementos estructurales: 1) un marco jurídico claro; 2) financiamiento sostenido; 3) participación ciudadana y comunitaria; y 4) tecnologías verdes para la toma de decisiones. En ciudades europeas como Barcelona, Lisboa o Ámsterdam, la incorporación de planes municipales de bienestar animal se articuló con estrategias de movilidad sostenible, gestión de residuos y salud pública, lo que permitió reducir poblaciones callejeras y fortalecer la percepción ciudadana de corresponsabilidad (Bockman & Frank, 2020).

En Asia, ciudades como Seúl y Taipei han adoptado sistemas digitales de registro e identificación de animales, combinados con educación comunitaria y servicios veterinarios accesibles, la literatura señala que la clave no radica únicamente en la tecnología, sino en el establecimiento de protocolos éticos, supervisión estatal y accesibilidad equitativa para evitar brechas digitales (Lin & Chang, 2021), esta combinación ha permitido mejorar el seguimiento de animales, prevenir el abandono y distribuir recursos conforme a datos reales.

En América Latina, proyectos piloto en Santiago de Chile, Medellín y Curitiba han demostrado que la integración de estrategias de bienestar animal en políticas de seguridad, urbanismo y medioambiente genera beneficios cruzados: disminuyen conflictos comunitarios, se reducen riesgos sanitarios y se fortalece la cohesión social (Guzmán et al., 2021), estos casos confirman que las políticas aisladas carecen de impacto, mientras que los modelos transversales producen resultados más estables.

A nivel global, los enfoques de One Health y One Welfare están siendo incorporados cada vez más en políticas urbanas, entendiendo que la salud humana depende de la salud animal y ambiental, el Panel Internacional de One Health reconoce que ninguna ciudad ha logrado reducir poblaciones animalizadas sin integrar simultáneamente educación, esterilización, participación comunitaria y regulación del comercio de animales (One Health HLP, 2022). Esta evidencia refuerza la pertinencia de un enfoque interdisciplinario y sistémico como el que se propone en este capítulo.

Finalmente, la teoría contemporánea sobre gobernanza urbana muestra que las políticas exitosas requieren marcos normativos flexibles capaces de adaptarse a territorios diversos, en este sentido, la literatura comparada sostiene que los modelos centralizados ofrecen coherencia, pero los descentralizados permiten innovación comunitaria; los modelos híbridos, en cambio, generan los mejores resultados (Tonkiss & Ho, 2022). Este hallazgo es relevante para México, donde la fragmentación institucional ha impedido articular esfuerzos entre niveles de gobierno.

En conjunto, la evidencia internacional confirma que la gestión ética de animales en calle solo puede consolidarse cuando se inscribe en agendas más amplias de justicia ambiental, salud pública, urbanismo sostenible y gobernanza tecnológica. Esto refuerza la necesidad de un marco normativo integral en México y complementa los argumentos desarrollados en cada una de las secciones previas del capítulo.

IV.5. Hacia una política pública integral basada en justicia ambiental y ética interespecie

La comprensión multidimensional de la problemática de perros y gatos en situación de calle obliga a replantear las políticas públicas desde un horizonte más amplio que el que ofrece el enfoque higienista o meramente sanitario, la evidencia analizada muestra que el abandono animal no es un fenómeno aislado ni atribuible únicamente a prácticas individuales, sino el resultado de interacciones complejas entre desigualdad territorial, fragmentación institucional, vacíos normativos, dinámicas comunitarias y ausencia de mecanismos de gobernanza coordinada. En este escenario, avanzar hacia una política pública integral requiere incorporar principios de justicia ambiental y ética interespecie, que permitan

reconocer que la vida urbana es un entramado plural donde humanos, animales y ecosistemas comparten riesgos, oportunidades y responsabilidades.

La justicia ambiental ofrece un marco conceptual adecuado para comprender estas interacciones, su énfasis en la distribución equitativa de cargas y beneficios ambientales, así como en la participación de comunidades vulnerables en la toma de decisiones, permite vislumbrar que los animales en calle —aunque no humanos— forman parte de los territorios afectados por desigualdad. Investigaciones recientes muestran que las zonas con mayor presencia de animales callejeros tienden a coincidir con barrios marginados, con menor infraestructura pública, mayor acumulación de residuos y menores oportunidades de atención veterinaria accesible (Valenzuela, 2022), este patrón revela que la protección animal no es únicamente un asunto ético, sino también un indicador de inequidad urbana y de sensibilidad institucional.

Integrar una ética interespecie a la política pública implica reconocer que los animales poseen intereses propios —como seguridad, salud, movilidad y bienestar— que deben ser considerados en la construcción del orden urbano, esta consideración no requiere equiparar derechos humanos y no humanos, sino incorporar criterios de protección reforzada para seres vulnerables cuya supervivencia depende directamente de las decisiones colectivas, el enfoque de capacidades de Nussbaum (2006) ofrece una base útil para este replanteamiento, pues sugiere que una sociedad justa debe garantizar a cada ser la posibilidad de desarrollar funciones básicas de acuerdo con su especie. En el caso de perros y gatos, ello implica vivir libres de violencia, acceder a cuidados adecuados y no quedar expuestos a estructuras que perpetúan abandono y sufrimiento.

Una política pública integral debe reconocer además que la reproducción del abandono es un fenómeno que rebasa las fronteras administrativas del municipio, la fragmentación institucional ha demostrado ser una de las principales barreras para la implementación de estrategias sostenidas. Por ello, es indispensable un marco nacional de bienestar animal que articule competencias, homogenice estándares mínimos, establezca obligaciones de coordinación y asegure financiamiento para programas de esterilización ética, educación comunitaria, atención inmediata y adopción responsable, este marco debería incluir mecanismos de transparencia, incentivos para la cooperación interestatal, así como la integración de gobiernos locales en redes de gobernanza multiescalar.

Asimismo, es fundamental incorporar tecnologías verdes y herramientas digitales como componentes estratégicos, no accesorios, estas tecnologías permiten identificar zonas críticas, monitorear dinámicas poblacionales, mejorar la trazabilidad del abandono y fortalecer la rendición de cuentas, pero su uso debe estar guiado por parámetros éticos claros y supervisión institucional que eviten prácticas discriminatorias o invasivas.

La gobernanza digital, en este sentido, debe servir para ampliar capacidades estatales y ciudadanas, no para sustituirlas. Su potencial radica en construir políticas públicas basadas en evidencia, accesibles, transparentes y colaborativas (Shrestha et al., 2022).

La participación ciudadana emerge como un elemento indispensable, experiencias internacionales demuestran que los programas que involucran a organizaciones protectoras, vecinos, académicos y comunidades locales poseen mayor eficacia y sostenibilidad (Srinivasan, 2019), esta participación debe ser formalmente reconocida en la política pública, ofreciendo canales institucionalizados para la consulta, co-creación y evaluación de programas. Incorporar voces diversas —incluyendo aquellas de comunidades con relaciones afectivas profundas con los animales en calle— fortalece la legitimidad democrática y ofrece información valiosa para la toma de decisiones.

Finalmente, una política basada en justicia ambiental y ética interespecie no solo atendería la problemática del abandono animal, sino que también contribuiría a la salud pública, la cohesión social, la sostenibilidad urbana y la reducción de desigualdades ambientales, al reconocer la interdependencia entre humanos, animales y ecosistemas, se abre la puerta a una gobernanza más sensible, efectiva y responsable, capaz de responder a los desafíos contemporáneos con una visión de largo plazo, este enfoque integral, alineado con el giro post-antropocéntrico y respaldado por evidencia científica, constituye un camino viable hacia la transformación de las ciudades en espacios más justos, inclusivos y respetuosos con todas las formas de vida.

V. CONCLUSIONES

El análisis realizado a lo largo de este capítulo permite afirmar que la problemática de perros y gatos en situación de calle en México no puede reducirse a un asunto sanitario ni a una falla individual en la tenencia responsable, se trata, más bien, de un fenómeno socioambiental

estructural, cuyo origen y persistencia están vinculados con desigualdades territoriales, vacíos institucionales, fragmentación normativa y la permanencia de un paradigma antropocéntrico que limita la capacidad del Estado para diseñar políticas públicas genuinamente integrales. La evidencia presentada demuestra que el enfoque tradicional, basado en la gestión reactiva y en medidas higienistas, resulta insuficiente y, en muchos casos, contraproducente, pues perpetúa ciclos de abandono, debilita la confianza ciudadana y genera intervenciones desarticuladas y de impacto temporal.

La ética post-antropocéntrica se revela así como el marco normativo y moral indispensable para reorientar las decisiones públicas hacia formas de convivencia más justas, sensibles y responsables con la vida no humana.

Superar este modelo requiere una reorientación ética, jurídica y política que reconozca a los animales domésticos como actores socioecológicos dentro del territorio urbano.

La adopción de un enfoque post-antropocéntrico, como se argumentó en el desarrollo, permite ampliar el horizonte moral del derecho y de la política pública, incorporando principios de interdependencia, vulnerabilidad compartida y responsabilidad ampliada hacia otras formas de vida, este cambio implica reconstruir la concepción misma de ciudad, entendida no como un espacio exclusivo para humanos, sino como un ecosistema plural donde confluyen distintas especies que participan activamente en las dinámicas sociales, ambientales y territoriales.

A partir de esta perspectiva, el capítulo muestra que la justicia ambiental ofrece un marco adecuado para comprender el abandono animal como un indicador de desigualdad y deterioro institucional, las zonas con mayor presencia de animales en calle coinciden con espacios que históricamente han sido marginados por la política urbana: barrios con menor infraestructura, servicios insuficientes y débil presencia estatal. De esta manera, la atención al abandono animal se vincula directamente con los objetivos de equidad territorial y bienestar comunitario, ambos centrales para los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES). Reconocer esta dimensión permite alinear las políticas de bienestar animal con agendas nacionales de sostenibilidad, seguridad comunitaria y desarrollo social.

Asimismo, se demuestra que la construcción de soluciones duraderas exige superar la fragmentación institucional que caracteriza al país, la ausencia de un marco nacional de bienestar animal, sumada a competencias dispersas entre municipios y entidades federativas,

genera respuestas desiguales, discontinuas y poco eficaces. La implementación de un marco normativo integral, acompañado de financiamiento estructural, mecanismos de coordinación intergubernamental y estándares uniformes, resulta indispensable para garantizar que todas las regiones del país cuenten con estrategias sostenidas de esterilización ética, vacunación, adopción responsable, monitoreo digital y educación comunitaria.

El capítulo también evidencia el papel fundamental que pueden desempeñar las tecnologías verdes y la gobernanza digital, siempre que sean empleadas en un marco ético, herramientas como la geolocalización, la analítica predictiva, los registros biométricos, los sistemas de trazabilidad y las plataformas de adopción permiten mejorar la eficiencia institucional, identificar patrones territoriales, optimizar recursos y fortalecer la transparencia. No obstante, su uso debe estar acompañado de criterios rigurosos de protección de datos, accesibilidad tecnológica y participación ciudadana, para evitar que se conviertan en instrumentos de vigilancia excesiva o exclusión social.

Finalmente, el análisis converge en un punto central: la gestión ética de animales en situación de calle no es un asunto periférico, sino una pieza clave para repensar la sostenibilidad urbana y avanzar hacia formas de gobernanza que reconozcan la interdependencia entre humanos, animales y ecosistemas. Este cambio tiene implicaciones profundas para el derecho, la ciencia política y la formulación de políticas públicas. Implica adoptar marcos conceptuales que reconozcan el valor intrínseco de la vida no humana, construir instituciones sensibles a la diversidad ecológica y promover una ciudadanía corresponsable en el cuidado del territorio y sus habitantes —humanos y no humanos.

Con lo anterior se sostiene que la transición hacia un modelo de gestión basado en justicia ambiental, ética interespecie y tecnologías verdes sostenibles no solo es deseable, sino necesaria, se trata de una transformación que puede contribuir a ciudades más inclusivas, saludables y resilientes, alineadas con las metas nacionales de sostenibilidad y con los principios que orientan la investigación contemporánea en México. Avanzar en esta dirección permitirá construir políticas públicas que no solo atiendan una deuda histórica con los animales, sino que también fortalezcan la cohesión comunitaria, la gobernanza ambiental y la calidad de vida en el país.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Beckett, P., & Keeling, L. (2019). Urban governance and the ethics of animal presence in cities. Journal of Urban Affairs, 41(6), 857–876.

Bockman, M., & Frank, L. (2020). Integrated urban animal welfare policies in European smart cities. Sustainable Cities and Society, 62, 102392.

Braidotti, R. (2013). The Posthuman. Polity Press.

Franco, L., & Alvarez, R. (2021). Cultural determinants of companion animal abandonment in Latin American cities. Journal of Urban Social Research, 45(2), 112–129.

Garde, E., Pérez, G., & Valenzuela, C. (2020). Epidemiology of free-roaming dogs in urban Latin America. Preventive Veterinary Medicine, 181, 105056.

Gompers, D., Pereira, A., & Rodrigues, F. (2021). Technological monitoring and population control strategies for free-roaming dogs in megacities. Urban Ecology Review, 12(3), 44–59.

Guzmán, P., Rivas, M., & Torres, D. (2021). Community-based animal welfare and urban sustainability in Latin America. Journal of Urban Management, 10(4), 455–468.

Haraway, D. (2016). Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene. Duke University Press.

INEGI. (2019). Estadísticas a propósito del día del perro en México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Kumar, S., & Raut, A. (2020). Urban dog population management and community engagement strategies. Veterinary World, 13(9), 1850–1858.

Kymlicka, W., & Donaldson, S. (2011). Zoopolis: A Political Theory of Animal Rights. Oxford University Press.

León, M., Santos, J., & Martínez, F. (2021). Legal frameworks for animal protection across Latin America: Advances and persistent gaps. Environmental Policy and Law, 51(3), 145–158.

Lin, Y., & Chang, H. (2021). Digital identification systems for companion animals: Ethical and regulatory considerations. Government Information Quarterly, 38(3), 101577.

Nussbaum, M. (2006). Frontiers of Justice: Disability, Nationality, Species Membership. Harvard University Press.

One Health High-Level Panel. (2022). One Health: A new operational framework. World Health Organization.

Ostrom, E. (1990). Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge University Press.

Perry, B., & Robertson, J. (2020). Urban environmental indicators and stray dog populations. Urban Ecology, 14(2), 22–36.

Peters, B. G. (2019). Institutional Theory in Political Science. Edward Elgar Publishing.

Peters, B. G., & Pierre, J. (2020). Governance, politics and the city. Urban Governance, 5(1), 1–14.

Shrestha, S., Patel, D., & Hong, S. (2022). Digital adoption platforms and predictive analytics for improving shelter outcomes. Journal of Animal Welfare Science, 25(1), 44–59.

Srinivasan, K. (2019). Street dogs, affective urbanism, and the politics of stray bodies. Urban Studies, 56(4), 809–825.

Tonkiss, F., & Ho, K. (2022). Multilevel governance for sustainable urban transitions. Urban Studies, 59(14), 2957–2974.

Valenzuela, L. (2022). Socio-spatial determinants of stray dog populations in Latin American cities. Cities, 126, 103687.

World Health Organization. (1990). Guidelines for Dog Population Management. WHO/WSPA.

Wolfe, C. (2010). What Is Posthumanism? University of Minnesota Press.

*Redacte a continuación el título del capítulo:

Conclusión general de la obra.

Cerrar este libro implica, inevitablemente, volver Al punto de partida: la certeza de que la crisis ambiental y climática no es solo un problema técnico, sino profundamente humano. A lo largo de sus siete capítulos *Gestión Ambiental y Justicia Climática: Desafíos y Oportunidades para la Sostenibilidad desde un Enfoque Multidisciplinario* ha mostrado que detrás de cada política pública, cada norma, cada tecnología y cada decisión institucional, existen impactos reales sobre personas, comunidades, territorios y formas de vida no humanas.

Una de las lecciones más claras que deja la obra es que la sostenibilidad no puede entenderse como un destino final, sino como un proceso en constante construcción. Los avances existen, pero son frágiles. Las políticas ambientales han mejorado en muchos países, pero siguen enfrentando obstáculos estructurales como la fragmentación institucional, la falta de coordinación, brechas tecnológicas y en ocasiones una distancia dolorosa entre el discurso y la práctica.

El libro también deja claro que la justicia climática no es un concepto accesorio. Es el corazón de cualquier proyecto ambiental legítimo. Sin equidad, sin reconocimiento de responsabilidades diferenciadas y sin participación real de las comunidades afectadas, las políticas ambientales corren el riesgo de convertirse en ejercicios burocráticos sin impacto transformador.

Otro aprendizaje relevante es la importancia de la gobernanza ecológica entendida como un entramado de actores, saberes y responsabilidades compartidas. Los gobiernos siguen teniendo un papel central, pero ya no exclusivo. La academia, la sociedad civil, los pueblos indígenas, el sector privado y la ciudadanía en general aparecen como piezas indispensables de un mismo rompecabezas. Cuando alguno de estos actores queda fuera la gobernanza se debilita.

La obra también invita a repensar el papel de la tecnología. Lejos de presentarla como una solución mágica, los capítulos muestran que su valor depende del contexto, del diseño institucional y de los principios éticos que la guían. La digitalización, las soluciones basadas en la naturaleza y la innovación en materia sostenibles pueden ser herramientas poderosas, pero solo cuando están al servicio de la vida y no de la exclusión.

Un aporte especialmente valioso del libro es su capacidad para conectar escalas. Se habla de acuerdos internacionales, de políticas nacionales, de experiencias locales y de prácticas cotidianas. Esta articulación permite comprender que la sostenibilidad se construye tanto en los grandes foros como en decisiones aparentemente pequeñas como pueden ser la forma en que se gestiona el agua en un barrio, cómo se enseña la sustentabilidad en una universidad, cómo se protege a los animales que habitan nuestras calles.

Finalmente, el libro deja una sensación clara: no se parte de cero. América Latina cuenta con conocimiento, experiencias exitosas y una comunidad académica comprometida. Lo que falta, como se repite a lo largo de la obra, es afinar los engranajes, fortalecer las capacidades institucionales y sostener las políticas más allá de los ciclos políticos.

Esta obra no pretende cerrar el debate. Al contrario, lo abre. Invita a seguir investigando, dialogando y, sobre todo, actuando. Porque la justicia climática no es un ideal abstracto, es una tarea urgente cotidiana y colectiva.

Sobre todos los autores

Sobre todos los autores



Abimael Bolaños López

Doctor en Administración Pública por la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México. Cuenta con un Posdoctorado en Epistemología Jurídica en la Euroamerican Learning University. Líneas de investigación: política pública, derechos humanos, administración pública, derecho, evaluación de la calidad académica en la educación superior, participación ciudadana, partidos políticos y sistemas electorales.

Es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores en la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación. Integrante del Sistema Estatal de Investigadores en el Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología.

Es autor de artículos científicos indexados en Scopus; autor de libro, coautor de libro; autor de capítulos de libros nacionales e internacionales; autor en ponencias internacionales, congresos de frontera, y colaboraciones académicas relacionadas con derechos humanos, políticas públicas, administración pública, evaluación institucional.

Par Evaluador Internacional de Escuelas y Facultades de Derecho, certificado por el Instituto Internacional de Acreditación del Derecho A.C. (IIDEA).

Es docente de nivel Licenciatura, Maestría y Doctorado en la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales Victoria de la UAT, Integrante del Cuerpo Académico Consolidado CAC-UAT0141 “El impacto de las reformas de Estado en la legislación nacional”; evaluador internacional de artículos científicos y de proyectos de intervención; docente UANE; docente del programa de posgrado interinstitucional de Derechos Humanos en la Universidad Autónoma de Chihuahua, Universidad de Guanajuato, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Universidad Autónoma de Campeche, docente en la Comisión Nacional de Derechos Humanos.

Fundador de la Red Internacional Filosófica y Científica de Investigación en Derechos humanos, Políticas Públicas y Ciencias Multidisciplinarias. Es integrante de la Red de Cuerpos Académicos en Derechos Humanos, Cultura de Paz y Sistema de Justicia, de la Red Mexicana de Cuerpos Académicos en Administración y Derecho para Estudios en

Justicia, Políticas Públicas y Gobernabilidad, y de la Red Interdisciplinaria de Estudios sobre Reformas Estatales, Nacionales y Derechos Humanos (RINEDH).

Defensor de Derechos Humanos. Consejero propietario de Consejo Consultivo en la Comisión de Derechos Humanos del Estado de Tamaulipas 2018-2024 (cargo honorario, sin retribución). Forma parte del Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales; Certificación EC0217 - Impartición de Cursos de Formación del Capital Humano de manera Presencial Grupal; Certificación EC0076 - Evaluación de la Competencia de Candidatos con Base en Estándares de Competencia.

Correo: abimaelbl@yahoo.com, drabimaelbl1@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7270-5374
Scopus Author ID: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59524975900
Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Abimael-Bolanos-Lopez
Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?user=bo2QY68AAAAJ&hl=es

CAPÍTULO 2

María de la Luz Guevara Calderón
Doctora en Derecho por la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México. Líneas de investigación: política pública, derechos humanos, administración pública, derecho, evaluación de la calidad académica en la educación superior.

Es autora de artículos científicos indexados en Scopus; coautora de libro; autora de capítulos de libros nacionales e internacionales; autora en ponencias internacionales, y colaboraciones académicas relacionadas con derechos humanos, políticas públicas, administración pública y evaluación institucional.

Es docente de nivel Licenciatura, Maestría y Doctorado en la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales Victoria de la UAT; Docente de Doctorado en la Universidad México Americana del Norte (UMAN); Integrante del Cuerpo Académico Consolidado CAC-UAT0141 “El impacto de las reformas de Estado en la legislación nacional”; evaluadora internacional de artículos científicos y de proyectos de intervención.

Fundadora de la Red Internacional Filosófica y Científica de Investigación en Derechos humanos, Políticas Públicas y Ciencias Multidisciplinarias. Es integrante de la Red de Cuerpos Académicos en Derechos Humanos, Cultura de Paz y Sistema de Justicia, de la Red Mexicana de Cuerpos Académicos en Administración y Derecho para Estudios en Justicia, Políticas Públicas y Gobernabilidad, y de la Red Interdisciplinaria de Estudios sobre Reformas Estatales, Nacionales y Derechos Humanos (RINEDH).

Defensora de Derechos Humanos. Consejera propietaria de Consejo Consultivo en la Comisión de Derechos Humanos del Estado de Tamaulipas 2018-2024 (cargo honorario, sin retribución).

Correo: mlguevara@uat.edu.mx
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4599-9263

Scopus Author ID: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59667916300
Research Gate: https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Maria-de-la-Luz-Guevara-Calderon-2242762773
Google Scholar:
https://scholar.google.com/citations?view_op=list_works&hl=es&authuser=1&user=5HvsJcgAAAAJ

CAPIÍTULO 3

Humberto Rubén Dragustinovis Perales, 2) Doctor en Derecho, Maestro en Administración Pública, Maestro en Derecho Fiscal, Licenciado en Derecho, 3) Profesor de

problemática nacional de los residuos sólidos urbanos, de los PRONACES-CONAHCY como Soporte Local de Investigación e Incidencia del Programa Basura Cero Estratégico. Actualmente es Investigadora por México de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) donde realiza investigaciones sobre la gestión integral de residuos sólidos urbanos y su relación con la sustentabilidad universitaria. Es miembro de la Red Iberoamericana de Medio Ambiente, A.C.

Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas nacionales e internacionales, entre los que se encuentran: *Representaciones sociales de la gestión ambiental para la sustentabilidad en una comunidad escolar privada* (RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo), *Training processes and environmental management: a contribution to education for sustainable development*. (Revista del Centro de Investigación de la Universidad La Salle), *Docencia del Derecho Ambiental en instituciones públicas de educación superior en México: situación y herramientas didácticas* (Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad), *Estrategias y retos en el manejo de residuos: una visión global desde los rankings universitario*s (Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad), además de colaboraciones en capítulos de libro. En 2024 y 2025 coordinó el Diplomado en Opciones Sustentables y Solidarias de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4394-5277

Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?user=CSgEKLQAAAAJ&hl=es&oi=ao

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Trinidad-Vilchis?ev=hdr_xprf

Academia: https://www.academia.edu/?from_navbar=true&trigger=nav

CAPITULO 5

Mariana Martínez Castrejón es Doctora en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de Guerrero (México). Es arquitecta por la Universidad Nacional Autónoma de México, con especialidad en Construcción Sustentable y Eficiencia Energética por el Instituto Tecnológico de la Construcción, y maestra en Valuación de Bienes Inmuebles por la Universidad Hipócrates. Actualmente realiza una Estancia Posdoctoral Inicial de Incidencia en el marco del ProNaCes-Agua, adscrita al CONAHCyT-Centro de Ciencias de Desarrollo Regional de la Universidad Autónoma de Guerrero, donde desarrolla investigación orientada a la aplicación de soluciones basadas en la naturaleza para atender

los retos hidrosociales urbanos. Se desempeña como docente por horas en el Tecnológico Nacional de México, campus Acapulco. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII), con distinción de Investigadora Nacional Nivel I; pertenece a la Asociación de Biotecnología, Ingeniería Ambiental y Energías Renovables A.C. (ABIAER) y es miembro fundador y activo del Colegio de Profesionistas Especializados en Sustentabilidad y Eficiencia Energética A.C. (COPESEE). Colabora en el Cuerpo Académico CA-29-UAGro "Ambiente y Desarrollo Regional". Miembro de la delegación mexicana comisionada al Training Course on Flood Control, Early-Warning, Forecasting and Hydrological Monitoring for Developing Countries, realizado en la República Popular China en septiembre 2025. Sus publicaciones más citadas y más recientes son: *Environmental, economic, and social aspects of human urine valorization through microbial fuel cells from the circular economy perspective*, 2022 y *Riesgos emergentes asociados con el impacto del huracán John en Acapulco*, 2025, respectivamente.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1224-7479
Google Scholar:
https://scholar.google.com/citations?user=TmS4XscAAAAJ&hl=es&oi=ao
ID's SCOPUS: 57280745300
https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57280745300
Researchgate: https://www.researchgate.net/profile/Mariana-Martinez-Castrejon

Hilda Janet Arellano Wences es Doctora en Ciencias Ambientales y licenciada en Psicología por la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). Se ha desempeñado como profesora de diversas asignaturas en licenciatura y posgrado en la Universidad Autónoma de Guerrero. En la actualidad es Investigadora de tiempo completo en la UAGro, donde realiza investigaciones sobre gestión y manejo de los recursos naturales para un desarrollo regional sustentable. Especializada en temas de Gestión Ambiental, estudios de Percepción Socioambiental, vulnerabilidad y resiliencia en comunidades. Es perfil deseable PRODEP y miembro del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII) en México. Ha publicado artículos científicos como: "Propuesta de un sistema de gestión ambiental para la región Acapulco de la Universidad Autónoma de Guerrero" y "*Generación de emisiones de gases efecto invernadero en unidades académicas de la Universidad Autónoma de Guerrero"* y es coautora de "*Water pollution by urban solid waste and microplastics in a rural community in the state of Guerrero, Mexico" y "Flood Susceptibility in the Lower Course of the Coyuca River, Mexico: A Multi-Criteria Decision Analysis Model*" entre otras producciones científicas.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7308-7731

Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?user=SQtozS4AAAAJ&hl=en

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Hilda-Arellano-Wences

Ricardo Herrera Navarrete es Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de Guerrero (México). Obtuvo la maestría en Administración en la Universidad Autónoma de Guerrero y la licenciatura en Administración de Empresas en la Universidad Hipócrates en México. Se ha desempeñado como profesor de diversas asignaturas en licenciatura y posgrado en la Universidad Autónoma de Guerrero y la Universidad Hipócrates. En la actualidad es Investigador en una estancia posdoctoral de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación en México (SECIHTI), donde realiza investigaciones sobre gestión socioambiental relacionado al tratamiento de aguas residuales municipales, la gestión integral de residuos sólidos y la construcción de observatorios ciudadanos. También es miembro del Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Guerrero y miembro del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII) en México. Ha publicado artículos científicos como: "*Thematic and Geographical Trend in Scientific Research Applied in Municipal Wastewater Treatment Plants: an Overview"* y "Municipal Wastewater Treatment Plants: Gap, Challenges, and Opportunities in Environmental Management" y es coautor de "*Municipal Solid Waste Collection: Challenges, Strategies and Perspectives in the Optimization of a Municipal Route in a Southern Mexican Town",* entre otras producciones científicas.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9175-4486

Google Scholar:
https://scholar.google.com/citations?user=YdD_lE4AAAAJ&hl=es&oi=ao

ID's SCOPUS: 57226607238
(https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57226607238)

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Herrera-Navarrete

CAPITULO 6

Mario Adrián de Atocha Dzul Cervantes es Doctor en Ciencias (Materiales Poliméricos) y Maestro en Ciencias (Materiales Poliméricos), ambos grados los obtuvo en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, y es Ingeniero Químico con Especialidad en Procesos Industriales por el Instituto Tecnológico de Mérida. Realizó estudios de Maestría y Doctorado en Ciencias en Materiales Poliméricos en el. Realizó una estancia de investigación en la Universidad Autónoma de Guadalajara en el campus de Madera, Celulosa y Papel.

Tiene experiencia de más de 10 años en el sector industrial en las áreas de control de calidad y en seguridad e higiene industrial desarrollando funciones de supervisor y de consultor. En el área académica tiene experiencia de más de 12 años en docencia desde nivel básico (secundaria), hasta nivel posgrado.

Actualmente, es profesor del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior de Calkiní; es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. También es miembro de la "Red de Innovación e Investigación Educativas (RIIED) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), y es miembro del Cuerpo Académico Consolidad "Bioprocesos".

Su línea de investigación está enfocada principalmente al "procesamiento y caracterización de materiales biodegradables a partir de fuentes no convencionales de desechos agroindustriales para aplicaciones de ingeniería".

Sus trabajos han sido publicados en revistas de alto impacto internacional, en congresos y simposios locales, nacionales e internacionales, y entre los más recientes destacan los siguientes:

1. 2025 Characterization of unconventional sources of starch: physicochemical and thermal properties

2. 2024 Effect of clays incorporation on properties of thermoplastic starch/clay composite bio-based polymer blends

Capitulo 6 autor 2

La Dra. Luz Yazmín Villagrán Villegas es Doctora en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), grado obtenido con la distinción Cum Laude, y Doctora en Ciencias en Ingeniería Mecánica por la misma institución. Asimismo, cuenta con una Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Politécnico Nacional y es Licenciada en Ingeniería Mecánico Electricista por la Universidad Veracruzana. Como formación complementaria, cursó el Diplomado en Energías Renovables y Eficiencia Energética en Harvard University y el Diplomado en Diseño de Iluminación en la Universidad Iberoamericana, en colaboración con Philips México.

Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Universidad Veracruzana, adscrita a la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en la Región Poza Rica–Tuxpan. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII), Nivel 1, en el Área IX Interdisciplinaria, Campo Ingeniería de Sistemas.

Forma parte del Cuerpo Académico UV-CA-588 “Innovación Biomimética y Sistemas Inteligentes” y colabora en la Red de Innovación e Investigación Educativa del Instituto Politécnico Nacional (RIIED I.P.N.), participando en redes interdisciplinarias de investigación en ingeniería, sistemas inteligentes y educación STEAM.

Sus principales líneas de investigación se centran en los sistemas inteligentes y el control neuro-difuso, la tribología, el análisis de desgaste y la caracterización de materiales, el modelado computacional y el análisis de fallas, la biomimética aplicada a la ingeniería y a sistemas neuromecánicos, así como en la ergonomía, la eficiencia energética y la educación STEAM con enfoque social.

Entre sus publicaciones más recientes como coautora, se encuentran los libros Guía de exploración del ciberespacio: Higiene digital (2025), con ISBN 9791388142024, y Las semillas del emprendimiento: Una aventura para aprender valores (2025), con ISBN 9791388142031, ambos publicados por Liberlibro.com A.C. Asimismo, es coautora del capítulo de libro Entropy and Complexity in the Analysis of the Neuromechanical Pattern of the Vocal Folds Affected by Smoking (2025), publicado en la serie Advanced Structured Materials, y del artículo Tendencias actuales en innovaciones ergonómicas para la mejora continua en distintos ámbitos laborales (2025), publicado en el Journal of Applied Research and Technology.

Capítulo 6, autor 3

Cecilia Irene Anaya González es Doctora en Psicología Social y Ambiental por la UNAM. Licenciada en Psicología por la UNAM. Docente a nivel licenciatura y posgrado e investigadora en el Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud Unidad Santo Tomás, del Instituto Politécnico Nacional. Pertenece al SNII en el nivel Candidato. Es investigadora Adjunta en el Instituto Milenio para la Investigación del Cuidado (MICARE) desde 2024 y pertenece a la Red de Investigación e Innovación Educativa del IPN). Sus líneas de investigación son: Inclusión y Discapacidad, Cuidados, Derechos Humanos y Educación Para la Paz, Psicología Comunitaria y Feminismos descoloniales entre otros. Es coautora de Ser estudiante con discapacidad en la educación superior: La inclusión y accesibilidad en cuestión (2025) y La accesibilidad e inclusión educativa de estudiantes con discapacidad en el CICS UST: Experiencias y percepciones. (2025)

CAPÍTULO 7

Capítulo 7, autor 1

Osmany Licona Quiterio Doctor en Ciencias Políticas y Sociales, es investigador, politólogo y abogado especializado en derechos humanos, gobernanza y justicia socioambiental. Actualmente realiza una estancia posdoctoral en la UAEM, donde desarrolla investigación sobre, educación superior e interculturalidad con énfasis en gobernanza algorítmica. Ha desarrollado líneas de investigación en derechos de los animales, bienestar animal y enfoques post-antropocéntricos, con participación en foros nacionales e internacionales. Su trayectoria incluye experiencia docente, coordinación de proyectos académicos. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2577-3945

Capítulo 7 autor 2

Luis Antonio Vázquez Ochoa cuenta con doctorado en Ciencias en Biología por el campus cd. Victoria del Tecnológico Nacional de México, con enfoque en administración de recursos naturales, particularmente en gestión del agua. Cursó la Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey campus Monterrey. Es Ingeniero Químico con especialidad en procesos, egresado del campus Cd. Madero del Tecnológico Nacional de México. Actualmente desempeña un cargo directivo como jefe del centro de información del Tecnológico de Cd. Victoria y es docente en la división de estudios de posgrado e investigación. Forma parte de la Red de Colaboración de Investigación Agenda 2030 para el Desarrollo Sustentable y de la Red de Salud Pública Fronteriza México-EEUU. cuenta con reconocimiento del sin con registro cvu: 850818. ha publicado diversos articulos de investigacion en revistas con reconocimiento, asi como capitulos de libros y registros de propiedad intelectual, alguno de ellos son: desarrollo de un prototipo de dispositivo electrónico para medir en tiempo real parámetros de la calidad del agua (como ph, conductividad, sólidos disueltos, temperatura y turbidez), y transmite datos a la nube usando iot que fue aceptado por la revista biociencias el 03 de diciembre de 2023; situación contaminación de las cuencas de tamaulipas aportada la obra de conabio denominada la biodiversidad en tamaulipas. estudio de estado volumen iii y fue publicada en el 30 de abril de 2024.

cuenta con más de 27 años de experiencia como mando medio de la comisión nacional del agua donde tuvo bajo su responsabilidad el desarrollo técnico de proyectos para la gestión del recurso en materia, como estudios hidrológicos, saneamiento y calidad del agua, participo en el equipo para la transferencia tecnológica como contraparte del equipo de la agencia de cooperación internacional de Japón (JICA) dando por resultado la creación de las normas oficiales mexicanas en materia de agua salobres y marinas, fue responsable del desarrollo del sistema de gestión para la certificación del laboratorio regional de calidad del agua con base a la norma nmx-ec-17025-inmc certificándolo como laboratorio regional de referencia; desarrolló trabajos para la calibración y ajustes de la red nacional de monitoreo, de la red de estaciones climatológicas e hidrometeorológicas, fue responsable del desarrollo de proyectos de evaluación y mejora de plantas de tratamiento de aguas residuales y de plantas potabilizadoras municipales. cuenta con más de 24 años de docencia e investigación a nivel superior y en posgrado laborando para el tecnológico nacional de México, la universidad ANAHUAC-IEST, la universidad del noreste y el Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey. Ha dirigido proyectos de investigación en campos diversos de la ingeniería industrial, desarrollo sustentable y social; fortalecimiento la vinculación interinstitucional con sectores público y privado.

Capítulo 7, autor 3

Odette Mendoza Becerril es Doctora en Ciencias Políticas y Sociales por El Colegio de Morelos, Licenciada en Derecho por la UAM Azcapotzalco y cuenta con maestrías en Educación, Garantías y Amparo, y Derecho Ambiental. Ha publicado un libro y diversos artículos de investigación, además de especializarse en amparo, derechos humanos, políticas públicas, ciberseguridad y tecnologías emergentes. Realizó estudios en la Universidad de Málaga sobre inteligencia artificial, robótica y mercados digitales. Actualmente es Profesora-Investigadora en la UAM Cuajimalpa, donde coordina el simposio permanente de derechos humanos y las jornadas de educación financiera.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9425-2433

Gestión ambiental y justicia climática: Desafíos y oportunidades para la sostenibilidad desde un enfoque multidisciplinario

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.tce.mg.gov.br Internet	277 palabras — 1%
2	www.unep.org Internet	203 palabras — < 1%
3	www.dhr.go.cr Internet	197 palabras — < 1%
4	www.cepc.gob.es Internet	171 palabras — < 1%
5	repositorio.cepal.org Internet	170 palabras — < 1%
6	www.dentons.com Internet	152 palabras — < 1%
7	posgrado.colef.mx Internet	145 palabras — < 1%
8	www.cidob.org Internet	130 palabras — < 1%
9	datospdf.com Internet	105 palabras — < 1%

10	www.greentecher.com Internet	102 palabras — < 1%
11	www.gob.mx Internet	91 palabras — < 1%
12	reliefweb.int Internet	88 palabras — < 1%
13	secretariageneral.gov.co Internet	85 palabras — < 1%
14	doczz.es Internet	83 palabras — < 1%
15	docplayer.es Internet	82 palabras — < 1%
16	www.estimulosfiscales.hacienda.gob.mx Internet	81 palabras — < 1%
17	Iñigo González Ricoy. "Dos principios retrospectivos de justicia climática", Isegoría, 2019 Crossref	80 palabras — < 1%
18	www.pnipa.gob.pe Internet	72 palabras — < 1%
19	bookdown.org Internet	70 palabras — < 1%
20	Latargere, Jade. "Tenencia de la tierra y proteccion de los recursos naturales en las areas naturales protegidas mexicanas", El Colegio de Mexico, 2022	69 palabras — < 1%

21	breeam.es Internet	68 palabras — < 1%
22	hdl.handle.net Internet	68 palabras — < 1%
23	miingreso.wordpress.com Internet	68 palabras — < 1%
24	www.conama.org Internet	68 palabras — < 1%
25	globalfreedomofexpression.columbia.edu Internet	65 palabras — < 1%
26	www.ikusi.com Internet	62 palabras — < 1%
27	secihti.mx Internet	61 palabras — < 1%
28	www.un.org Internet	61 palabras — < 1%
29	agronoms.cat Internet	57 palabras — < 1%
30	www.alcaldesdemexico.com Internet	54 palabras — < 1%
31	www.coursehero.com Internet	54 palabras — < 1%
32	www.notimx.mx Internet	52 palabras — < 1%

33	cdigital.dgb.uanl.mx Internet	51 palabras — < 1%
34	dgsa.uaeh.edu.mx:8080 Internet	48 palabras — < 1%
35	documentosobligaciones.infocdmx.org.mx Internet	48 palabras — < 1%
36	ssires.tec.mx Internet	46 palabras — < 1%
37	"Recuperación transformadora de los territorios con equidad y sostenibilidad V. Innovación, turismo y perspectiva de género en el desarrollo regional", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2021 Crossref	40 palabras — < 1%
38	Israel Solorio, Carla Miranda. "La integración de políticas ambientales y climáticas en México: el camino hacia una agenda de investigación para las ciencias político-administrativas", Encrucijada, Revista Electrónica del Centro de Estudios en Administración Pública, 2019 Crossref	36 palabras — < 1%
39	www.siicyt.gob.mx Internet	36 palabras — < 1%
40	mexico.un.org Internet	28 palabras — < 1%
41	colsan.repositorioinstitucional.mx Internet	27 palabras — < 1%
42	www.cnmaiz.org.mx Internet	26 palabras — < 1%

43	Mario Peña Chacón. "Ecologización de los derechos humanos en la jurisprudencia constitucional costarricense", Revista de la Facultad de Derecho de México, 2019 Crossref	25 palabras — < 1%
44	documentop.com Internet	25 palabras — < 1%
45	Ravelo, Luis Enrique Vilca. "La Inspección del Trabajo Peruana Desde el Estudio de los "Principios de la Ocde Sobre Políticas para la Mejora de la Aplicación y Cumplimiento de la Regulación"", Pontificia Universidad Catolica del Peru (Peru), 2022 ProQuest	23 palabras — < 1%
46	www.legisver.gob.mx Internet	23 palabras — < 1%
47	www.uic.mx Internet	23 palabras — < 1%
48	cijur.mpba.gov.ar Internet	22 palabras — < 1%
49	www.593dp.com Internet	22 palabras — < 1%
50	inap.mx Internet	21 palabras — < 1%
51	ojs.campodahistoria.com.br Internet	21 palabras — < 1%
52	www.airef.es Internet	21 palabras — < 1%

53	www.dykinson.com Internet	21 palabras — < 1%
54	comunicacion-cientifica.com Internet	19 palabras — < 1%
55	www.gov.br Internet	19 palabras — < 1%
56	www.univa.mx Internet	19 palabras — < 1%
57	comunidad.org.bo Internet	18 palabras — < 1%
58	www.yumpu.com Internet	18 palabras — < 1%
59	César Nava Escudero. "Estudios ambientales", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2018 Crossref	17 palabras — < 1%
60	Jader Muñoz Ramos, Jhoanna Magally García Andrade, Mercedes Parra Alviz. "Gestión ambiental empresarial", Ecoe Ediciones S. A. S., 2024 Crossref	17 palabras — < 1%
61	archive.org Internet	17 palabras — < 1%
62	asihf.org Internet	17 palabras — < 1%
63	planeacion.unison.mx Internet	17 palabras — < 1%

64	www.noticalifornia.com Internet	17 palabras — < 1%
65	congreso.amecip.com Internet	16 palabras — < 1%
66	cuernavaca.gob.mx Internet	16 palabras — < 1%
67	issuu.com Internet	16 palabras — < 1%
68	vsip.info Internet	16 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS	ACTIVADO	EXCLUIR FUENTES	DESACTIVADO
EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA	ACTIVADO	EXCLUIR COINCIDENCIAS	< 16 PALABRAS