

SUSTENTABILIDAD, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Graciela Carrillo González
Griselda Martínez Vázquez
Ruth Selene Ríos Estrada
Coordinadoras



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

SUSTENTABILIDAD, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA



Primera edición, 2024

D.R.© Universidad Autónoma Metropolitana 2024
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud,
Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04960

Sección de Publicaciones de la División de Ciencias Sociales y Humanidades
Edificio A, 3er piso. Teléfono 55-5483-7000
pubcsh@gmail.com / pubcsh@correo.xoc.uam.mx
<http://dcsh.xoc.uam.mx/repdig>
<http://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/index.php/libroelectronico>
<http://dcshpublicaciones.xoc.uam.mx>

Los textos presentados en este volumen fueron revisados y dictaminados por pares académicos expertos en el tema y externos a nuestra Universidad, a partir del sistema doble ciego por el Comité Editorial del Departamento de Producción Económica, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

ISBN: 978-607-28-3102-5 (epub)

Diseño de portada: Mónica Zavala
Corrección de estilo: Alberto Díaz
Formación: Mónica Zavala



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Rector general, José Antonio de los Reyes Heredia
Secretaría general, Norma Rondero López

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-XOCHIMILCO
Rector de Unidad, Francisco Javier Soria López
Secretaría de Unidad, María Angélica Buendía Espinosa

DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES
Directora, Esthela Irene Sotelo Núñez
Secretaría académica, María del Pilar Berrios Navarro
Jefe de la sección de publicaciones, Miguel Ángel Hinojosa Carranza

COMITÉ EDITORIAL DEPARTAMENTAL
Baca Lobera Gloria Idalia
Diego Quintana Roberto Serafín
Espinosa Yáñez Alejandro
Fernández Ruvalcaba Martha Margarita
Hernández Gómez Carlos Alfonso (Presidente)
Núñez Rodríguez Violeta Remedios
Prats Robles Mónica
Rivera Huerta René
Rozo Bernal Carlos Antonio

Asistente editorial: Mónica Zavala Medina



Contenido

Introducción. Las narrativas de la sustentabilidad

12

Graciela Carrillo González

Griselda Martínez Vázquez

Ruth Selene Ríos Estrada

PARTE I: VIAS HACIA LA SUSTENTABILIDAD

1. La construcción de políticas de economía circular

44

en América Latina

Graciela Carrillo González

José Ignacio Ponce Sánchez

2. Manifestaciones de la ecoinnovación:

análisis de estudios de caso

72

Sergio Solís Tepexpa

Hilda Teresa Ramírez Alcántara

Alfonso Tonatiuh Torres Sánchez

7. Revalorización de residuos contaminantes para la restauración de cuencas. Producción de biocombustibles a partir de las descargas de la industria tequilera en la cuenca alta del río Santiago	234
<i>Salvador Peniche Camps</i> <i>Joel García Galván</i> <i>Luis Héctor Quintero Hernández</i>	
8. Captación de agua de lluvia en el corredor industrial guanajuatense: un planteamiento para una gestión participativa	255
<i>Daniel Tagle Zamora</i> <i>Alex Caldera Ortega</i> <i>Juan Antonio Rodríguez González</i> <i>Jesús Eduardo Medina Rico</i>	
9. Economía circular en el flujo de material automotriz en México con base en los principios del desarrollo sostenible	291
<i>Maritza G. Ramírez Díaz</i> <i>Claudia A. Cortés Escobedo</i>	
Reflexiones para el debate	322
<i>Graciela Carrillo González</i> <i>Griselda Martínez Vázquez</i> <i>Ruth Selene Ríos Estrada</i>	
Síntesis curricular de autores(as)	332





INTRODUCCIÓN

Las Narrativas de la Sustentabilidad

Estamos convencidas que, desde la última década del siglo pasado, los estudios sobre la sustentabilidad enfatizan en las contradicciones entre el crecimiento económico y los límites del modelo hegemónico, al confrontarse con el uso de recursos naturales y los efectos adversos sobre los sistemas social y ambiental. Al ser un tema de frontera de gran interés académico, político y sociocultural, convocamos a distintos investigadores e investigadoras para integrar este libro que tiene por objetivo realizar un recorrido sobre las diferentes narrativas que abordan la problemática teórico-metodológica de la sustentabilidad y su relación con la tecnología, para posteriormente presentar en distintas contribuciones la diversidad de enfoques y evidencias empíricas que se han desarrollado alrededor de este tema. El analizar la relación que se establece entre la sustentabilidad la innovación y la tecnología, nos ubica en diferentes nodos de tensión analítica que se han construido en torno a enfoques teóricos-prácticos que giran en relación con el modelo de desarrollo y los principios de la sustentabilidad.

El considerar la problemática ambiental y social como el eje transversal en las estructuras económico, políticas y socioculturales, propone pensar el desarrollo, no solo desde la perspectiva económica sino también, desde la construcción simbólica y la cosmovisión de los sujetos sociales que habían sido ignorados e invisibilizados, como se reconoce desde la sociología de las ausencias y la ecología de saberes (De Sousa, 2010; Toledo, 2022), lo que permite recuperar una historia olvidada desde las vivencias de América Latina.

La vieja disputa teórica entre la modernidad eurocéntrica y anglocéntrica y la mirada de América Latina (Dussel, 2004) genera un crisol de planteamientos teóricos-epistemológicos y empíricos que nos remiten a la presencia de diversos puntos de vista sobre el devenir del modelo económico y el progreso tecnológico guiado por las fuerzas del mercado.

De modo que, al analizar el concepto de sustentabilidad, nos encontramos con que se ha convertido en el enfoque del desarrollo más utilizado en las últimas tres décadas, un concepto eje en el discurso de numerosas disciplinas en todos los niveles; desde investigadores, instituciones políticas, empresas, hasta organizaciones de la sociedad civil, (Avesani, 2020), se percibe como el paradigma que apunta hacia un futuro donde las consideraciones ambientales, sociales y económicas se deben orientar hacia un desarrollo que garantice una mejor calidad de vida (Mckeown, *et al.*, 2002).

Sin embargo, las raíces de la discusión están claramente ubicadas a partir del crecimiento de la población, el uso intensivo de los recursos naturales y la presión sobre el medio ambiente que genera el modelo de consumo vigente en el sistema capitalista, cada uno de estos elementos ha contribuido al reconocimiento de la crisis ambiental planetaria, derivado de ello, se presenta la necesidad de construir alternativas y conceptos que coadyuven

para imaginar un mundo diferente. El enfoque ecosistémico de la ecología (relación del hombre con los ecosistemas naturales), así como los límites y la capacidad de carga del planeta, fueron olvidados en las visiones ortodoxas y oficiales, no así en el entendimiento del fenómeno desde la economía ecológica en su visión heterodoxa con una severa crítica a la tecnología con tintes de deshumanización.

Esa visión oficial, hoy claramente cuestionada conformó una agenda internacional para la sustentabilidad que data de medio siglo atrás y que de forma paulatina se ha ido colocando en las agendas gubernamentales de los países, en sus marcos regulatorios y como parte de sus políticas públicas, mostrando una clara tendencia en ascenso, impulsada por organismos como: la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1972, 1992), La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2009, 2016), el Banco Mundial (BM) (2019); e instituciones supranacionales como la Unión Europea (UE).¹ Esta tendencia ha ido acompañada de un debate académico que generó una evolución de conceptos y constructos teóricos que han llevado al entendimiento de la sustentabilidad en posturas opuestas. Una postura que han asumido los organismos oficiales y otra postura más crítica que nos ubica en la realidad de los países del Sur colocando en el centro el espectro geopolítico, así como en la defensa por los recursos naturales y el territorio, en particular con una abundante bibliografía surgida en la región Latinoamericana.

Desde la primera postura, la sustentabilidad es un concepto cuyo origen deviene de reflexiones y discusiones de carácter multidisciplinario sobre el

¹ Bajo una visión eficientista se ubica el debate sobre el medio ambiente en un contexto de mercado que establece derechos de propiedad y precio a los recursos naturales (Coase, 1994) a partir de las leyes de oferta y demanda, apoyándose en el desarrollo y uso de las tecnologías y la creencia de la sustituibilidad y conmensurabilidad de los recursos naturales y el medio ambiente.

problema ambiental, las cuales tomaron fuerza en los años sesenta del siglo pasado y que, tanto en la discusión académica como, en la agenda pública han decantado en varias aproximaciones, siendo algunas de ellas las que marcan la discusión actual:

- a) La aproximación que hace Naciones Unidas sobre desarrollo sustentable es darle el sentido de "capital" a los recursos naturales y asumir que puede garantizar la sustentabilidad de las generaciones futuras, si se considera la regla del capital no decreciente (Víctor, 1991) ya que en esa lógica todo capital es sustituible y por tanto el capital natural puede ser remplazado y a pesar de ello se puede lograr el mismo nivel de bienestar (Pearce y Atkinson, 1998).

Esta idea profundiza en la definición de la sustentabilidad para llevarla a dos niveles: la sustentabilidad débil (Cabeza, 1996), que asume la posibilidad de sustituir el capital natural y la sustentabilidad fuerte, que establece los límites, dadas las funciones vitales que cumplen los recursos naturales, y, por tanto, considera que el nivel crítico del stock de capital determina la no sustituibilidad de dichos recursos (Pearce y Turner, 1990).

- b) La aproximación relacionada con las tres dimensiones o pilares de la sustentabilidad: la económica, la social y la ambiental, en la cual se les da el mismo peso a las tres dimensiones dada su urgencia, interdependencia e interconexión (Giddings, *et al.*, 2002), la debilidad de esta interpretación está en la idea de dar una solución técnica a un problema sistémico y lo coloca en el nivel de sustentabilidad débil al dar cabida a la sustituibilidad de los recursos naturales.
- c) La aproximación ecológica, la cual da prioridad a la dimensión ambiental, toda vez que establece que los sistemas económico y social no podrían existir sin los recursos naturales y los servicios ambientales,

por tanto, afirma la no sustitución de las existencias críticas de capital natural (Giddings. *et al.*, 2002).

El contexto histórico también ha sido relevante al fijar la postura oficial respecto al tema. El período de posguerra marcó niveles de crecimiento muy altos basados en la industrialización lo que puso en alerta a muchos sectores por el alto ritmo de explotación de los recursos naturales. Sumado a la extracción de los recursos naturales, se dio un esquema de desarrollo industrial basado en el uso de hidrocarburos y en el avance tecnológico incorporando nuevos esquemas de producción y tipos de productos con severos impactos sobre el ambiente, los cuales empezaron a manifestarse generando daños a la salud humana, como el uso de agroquímicos en la agricultura comercial o la generación de emisiones a la atmósfera por los procesos de combustión en los automotores.

Derivado de lo anterior y de las presiones sociales que se desencadenaron, en 1972 la ONU encabezó la “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano” en Estocolmo, Suiza, donde se concluyó, sin plantear el concepto de sustentabilidad, la necesidad de frenar el crecimiento económico bajo las condiciones en que se estaba dando ya que ello suponía la pérdida de recursos y ponía en riesgo la sobrevivencia. Poner límites al crecimiento fue la propuesta en ese momento (Meadows, *et al.*, 1972), la cual se apoyaba en dos premisas: la calidad de vida de las personas se incrementaba a costa de un uso creciente de los recursos físicos; y a pesar del progreso tecnológico se utilizaba cada año más capital natural del que se creaba. Esta propuesta generó reacciones y respuestas positivas y negativas por parte de los países, pero ninguna de ellas en apego estricto a la sugerencia y por el contrario se dio paso a visiones encontradas sobre la idea de que para conservar el ambiente se debería frenar el crecimiento económico.

El concepto de sustentabilidad, como tal, aparece por primera vez en el libro *Blueprint for survival* en 1972, en donde se define la forma de vida industrial como no sustentable (Kidd, 1992), sobre este argumento, la ONU, equipara el concepto de sustentabilidad al de desarrollo sustentable y lo difunde y socializa en el documento "Nuestro futuro común" también conocido como el *Informe Brundtland* en 1987, con el objetivo central de contrarrestar la idea de la incompatibilidad entre crecimiento y medio ambiente.

El desarrollo sostenible promueve que es posible alcanzar el desarrollo creciendo económicamente y al mismo tiempo cuidando el ambiente, se define como el "Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades" (CMMAD, 1987), esta definición coloca en el centro una dicotomía que generó grandes debates.

Con la Cumbre de la Tierra en 1992, se planteó un objetivo principal, producir una agenda amplia y un nuevo plan para la acción internacional sobre cuestiones ambientales y de desarrollo que ayudaría a orientar la cooperación internacional y la política de desarrollo en el siglo XXI. Se adoptó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con lo que se establece una perspectiva planetaria del problema ambiental. En el año 2005, la Cumbre Mundial, hace referencia a los tres componentes de la sustentabilidad: económico, social y ambiental, como pilares interdependientes que se refuerzan y limitan mutuamente, estableciendo acciones de apoyo a los países más vulnerables frente al cambio climático.

Años más tarde, en el marco de la crisis económica mundial del 2008, se impulsan las propuestas de la economía verde desde las Naciones Unidas y del crecimiento verde desde la OCDE, bajo la misma lógica de promover el

crecimiento y la inversión en nuevas tecnologías ecológicas o verdes. Bajo ese paraguas surgen o se refuerzan varias propuestas operativas en torno a la idea, tales como: la ecoinnovación, la bioeconomía, la economía circular, etc., reafirmando la posición de facilitar las condiciones para el crecimiento económico y la reactivación de la economía mundial a partir de un aumento en las inversiones y el consumo como medio para conseguir el desarrollo y bienestar de las generaciones presentes y futuras, es decir, las acciones se centran en las premisas del desarrollo sustentable, pareciendo olvidar que los recursos naturales en el planeta son finitos y los impactos del cambio en el clima cada vez más evidentes (Carrillo, 2015).

El año 2015 también es relevante, el estudio de la sostenibilidad evolucionó y sus avances más significativos se relacionan hoy con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que integran nuevamente las dimensiones económica, social y ambiental. Las acciones de la ONU anuncian y comprometen, en ese año, a los países para que alcancen las metas que marcan los 17 ODS en un plazo de quince años, dentro de la llamada Agenda 2030, en la cual se pretende nuevamente dar un peso equilibrado a dichas dimensiones para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar la vida y perspectivas de las personas en todo el mundo.

La segunda postura abre espacio a las posiciones críticas a la sustentabilidad, las cuales surgen a partir de la propuesta inicial del Club de Roma para poner "límites al crecimiento", con esta corriente se vinculan de forma directa las alternativas locales que se identifican con los rasgos y características de los países del Sur, hoy llamados del Sur Global, donde se asume un concepto de sustentabilidad más relacionado con la identidad territorial, las tradiciones y prácticas de comunidades cuya empatía con el entorno natural toma un papel relevante.

Planteamientos de teóricos heterodoxos que cuestionaban desde los años treinta la ausencia de las consideraciones ambientales en los modelos económicos explicativos, se recuperaron en los años sesenta y setenta para incorporar la inquietud y preocupación de los impactos que provoca el modelo capitalista sobre el medio ambiente y los recursos naturales (Boulding, 1966; Roegen, 1977; Kapp, 1978; posteriormente Daly, 1992; Constanza, *et al.*, 1999) contribuyen a la construcción de una perspectiva sistémica que propone vincular al sistema económico con los ecosistemas naturales en una relación de equidad.

Otros conceptos como el ecodesarrollo, definieron una mayor aproximación al desarrollo a partir de la armonización de los objetivos sociales y económicos con los ecológicos (Sachs, 1977), este concepto ya mostraba una aproximación al concepto de sustentabilidad y a ello, en los últimos años, se han sumado visiones críticas que enfatizan en la relación naturaleza-sociedad como algo indisoluble y distante de la postura oficial que impulsa un modelo de desarrollo depredador y que se difunde en la agenda internacional (Sotelsek, 1997). Desde la mirada Latinoamericana, este modelo ha generado pobreza, destrucción de la naturaleza y exclusión, entre otras problemáticas adversas para la sociedad (Leff, 2003; Escobar, 2003; Toledo, 2015; Svampa, 2016).

Entre los planteamientos teóricos que se fueron construyendo en la región, de forma paralela a las visiones del modelo oficial se encuentran la teoría de la dependencia, el pensamiento crítico, el colonialismo, y los nuevos enfoques desde el marxismo y la ecología política, planeamientos que llevan a deshilar el bordado del capitalismo como el modelo hegemónico del desarrollo que muestra contradicciones en el crecimiento económico, límites al confrontarse con el uso de recursos naturales y efectos adversos sobre los sistemas social y

ambiental (Toledo, 2022; Ortiz, 2009), así como, a modificar la visión dominante sobre la naturaleza con un carácter ético antropocéntrico, que apoya la idea occidental de que la “naturaleza es una canasta de recursos” y a la vez “capital natural” (Svampa, 2016; Gudynas, 2016; Martínez, *et al.*, 2020).

Una de las corrientes críticas más importante, que se ha retomado por varios autores en América Latina es la ecología política, la cual cuestiona al modelo de desarrollo capitalista centrado en el progreso tecnológico y el dominio sobre la naturaleza. La naturaleza, vista como un objeto. Desde esta perspectiva se analizan distintos polos de oposición que sustentan el modelo hegemónico actual como base de dominación, que son: cultura y naturaleza; hombre y mujer; civilización y barbarie; capital y trabajo; urbano y rural.

Desde la ecología política se identifican siete “nodos de discusión” que contribuyen a la construcción de un modelo de desarrollo sustentable: 1) El informe Brundtland y la Agenda 21; 2) La ecología política, una corriente de pensamiento desarrollada entre otros por Erick Wolf, antropólogo norteamericano y por Alain Lipietz economista francés; 3) El modelo comunitario de desarrollo sustentable, cuyas raíces se encuentran en la escuela de pensamiento “el otro desarrollo” con Víctor M. Toledo, Enrique Leff, David Barkin y Eduardo Sevilla; 4) El comercio justo, una experiencia cuyas raíces se encuentran en las comunidades indígenas de Oaxaca; 5) La producción forestal industrial comunitaria, que ha sido puesta en práctica por varias comunidades forestales en el sur y el centro del país; 6) El activismo ambiental; y 7) La conservación basada en la comunidad” (Tetreault, 2004, p. 45-47).

El Informe Brundtland (1987), como ha sido señalado describe en forma exhaustiva el concepto de “desarrollo sustentable”, y sirvió como base para la elaboración del plan de acción Agenda 21. Para Toledo, es a partir de 1987

que da inicio en forma oficial la idea de la sustentabilidad, término que durante sus tres décadas se ha convertido en “concepto, paradigma, marco teórico, instrumento técnico, utopía, pretexto, ideología y muchas más cosas” (Toledo, 2015, p. 35). Siguiendo al autor, este concepto encierra el deseo de un mundo mejor en el que el “ser humano se encuentre idealmente con la naturaleza y la justicia social” (p. 40).

La sustentabilidad y la mayoría de las investigaciones y propuestas científicas que utilizan un marco teórico hegemónico, centran su expresión desde un enfoque tecno-económico dirigido a los tomadores de decisiones para aplicar soluciones técnicas ingenieriles y económicas, para continuar con la racionalidad basada en el mercado y no en la justicia social y ambiental. Para Toledo (2015, 2022), del mito del desarrollo se ha pasado al mito de la sustentabilidad, siendo fundamental desmitificar este concepto. Esta visión la comparten, Leff, Svampa, de Sousa, Dussel, Barkin entre otros autores. A nombre del desarrollo y sociedad sustentables, las empresas (principalmente transnacionales), utilizan programas de Responsabilidad Social Empresarial (RSE) para edulcorar o esconder sus impactos ambientales y sociales con la sobreexplotación de los recursos naturales y la fuerza laboral (Martínez, *et al.*, 2020).

Para Antonelli, *et al.* (2015) “La RSE es una “invención semiótica” sobre lo que se ejerce a su vez en un control semiótico (¿qué puede ser dicho y qué no? y ¿qué prácticas empresariales tributan en la RSE?); y su funcionamiento sustrae de la dimensión de la responsabilidad, el irrespeto a la autodeterminación y los delitos de contaminación ambiental” (p. 305). Las empresas y gobiernos que quieren continuar con la racionalidad económica sobre la racionalidad ambiental y social promueven un conjunto de innovaciones tecnológicas y propuestas ambientales para continuar con la lógica del mercado.

De acuerdo con lo indicado en Tierra (2021), los grandes contaminadores imponen su agenda “cero netos” para retrasar, engañar y negar la acción climática”. Los instrumentos financieros de bonos de carbono no van a solucionar el problema de la crisis climática, la solución debe ser dejar de quemar los combustibles fósiles y modificar el sistema que privilegia el consumo y la racionalidad del mercado (Tierra, 2021).

Existen dos vertientes en la teoría crítica que son la base de las propuestas de construcción política que sostiene la teoría crítica. Una es imaginar el fin del capitalismo y otra es que el capitalismo no tenga fin” (De Sousa, 2010, p. 11). A partir de esto existen diferentes propuestas sin llegar a una propuesta sólida de cambio político, económico, ambiental y sociocultural. Este autor señala que la teoría crítica, dejó de preocuparse por el fin del capitalismo y se centró en desarrollar propuestas dirigidas a minimizar los costos sociales, ambientales y de poder, de la acumulación capitalista. Para De Sousa (2010) existe un cambio en la narrativa dirigida a modificar en el imaginario colectivo los conceptos negativos del capitalismo. Así, pasamos de los principios individuales del capitalismo a la comunidad, de la competencia a la reciprocidad y de la tasa de ganancia a la complementariedad y solidaridad.

En la segunda vertiente, De Sousa indica que el fundamento se centra en imaginar “cómo será el fin del capitalismo”, la cual tiene una doble dificultad, por una parte, se basa en imaginar alternativas poscapitalistas y por otra, “implica imaginar alternativas precapitalistas anteriores a la conquista y al colonialismo” (De Sousa, 2010, p. 12)

Para Enrique Leff (2003), la ecología política en América Latina es un campo en construcción al generar una intersección entre un nuevo territorio del pensamiento crítico y de la acción política. La nueva ecología política se

enfoca en “explorar con nueva luz las relaciones de poder que se entretienen entre los mundos de vida de las personas y el mundo globalizado” (Leff, 2003, p. 1). La discusión central es el papel subjetivo en la construcción de los sujetos sociales y su rol ante el colonialismo y el desarrollo, pasar de una propuesta económica de dominación de la naturaleza a la convivencia con la naturaleza. La construcción de nuevas identidades culturales que giran en relación con la defensa de los recursos naturales en su territorio, utilizando estrategias novedosas en el aprovechamiento sustentable de los recursos.

Los debates de la sustentabilidad desde la ecología política conducen también a mirar los conflictos socioambientales y las relaciones de poder, así como las propuestas para una mejor distribución de la riqueza. Como lo menciona Leff (2003) “La ecología política se establece en ese espacio que es el del conflicto por la reapropiación de la naturaleza y de la cultura, allí donde la naturaleza y la cultura resisten a la homologación de valores y procesos (simbólicos, ecológicos, epistemológicos, políticos) inconmensurables y a ser absorbidos en términos de valores de mercado. Lo que está allí en juego es más que la distribución equitativa del acceso a los beneficios económicos derivados de la puesta en valor de la naturaleza” (Leff, 2003, p. 4).

Para Svampa (2020), se tiene que modificar la matriz productiva, ya que propone un cambio en el sistema de relaciones sociales donde se establecen cambios en la matriz de consumo, producción, distribución y circulación de bienes, con el uso racional de la matriz energética. Por lo tanto, para la circulación de los bienes debe de prevalecer la cercanía, voltear la mirada a las experiencias rurales y su relación con la naturaleza, logrando un vínculo que permite vivir en armonía y dejar de lado las megalópolis, Svampa, Barkin, Leff, Toledo y Dussell, proponen esta visión crítica del sistema hegemónico.

Como se mostró anteriormente, el avance teórico-epistemológico y metodológico sobre sustentabilidad es un proceso complejo y con diferentes posiciones contrapuestas y en conflicto. De ahí la importancia de este libro, al presentar diferentes artículos que muestran distintos acercamientos como alternativas sustentables que se soportan a partir de las innovaciones y el uso de tecnologías dirigidas a mitigar los problemas de contaminación.

Innovación y tecnología para la sustentabilidad

La diversidad de enfoques sobre sustentabilidad, expuestos anteriormente, permite comprender que las transformaciones que se esperan en la vida práctica no son una cuestión de voluntarismo sino de acciones contundentes para lograr un desarrollo de manera sustentable ya que la producción y la sobre explotación caminan más rápido que las soluciones que desde las instituciones o desde la academia se están proponiendo. Es posible, que la magnitud del problema y sus consecuencias no son palpables para toda la población, la cultura del descarte y el desecho rápido está provocando un impacto irreversible en la naturaleza afectando a las futuras generaciones. Los efectos del modelo de producción hegemónico, el ciclo de producción, distribución y consumo tendrán impactos sobre el ambiente nunca antes pensados, ejemplo de ello, es la nueva configuración de un mundo pandémico que puso sobre la mesa debates en cuanto a las lógicas del consumo y la creencia de que todo se puede comprar excepto la permanencia del ser humano en el planeta.

Siguiendo a García y Calantone (2002) "la tecnología, es la aplicación del conocimiento para generar nuevos métodos, procesos, servicios y dispositivos. Innovación tecnológica, por otro lado, es la transformación de una idea en

un producto, equipo o proceso operativos, incluyendo nuevas formas de organización social". (Citado en Gavito. *et al.*, 2017, p. 152)

Mientras que en el Manual de Oslo (2018) se considera que la innovación tecnológica, no toma en cuenta la innovación que se realiza en el sector de los servicios y se propone una ampliación del concepto al introducir la innovación organizacional, de marketing, nuevas formas de organización social e innovaciones que no son tecnológicas.

Es indudable el gran avance del desarrollo tecnológico entre el siglo xx y xxi; sus impactos en diferentes ámbitos resultan, por momentos, impresionantes, sin embargo, no hay que dejar de señalar la presencia de las brechas tecnológicas que diferencian a los países y a sus economías, nuevamente podemos observar que la desigualdad económica es también una desigualdad tecnológica. Para Panceri, "la tecnología no es un bien de libre disposición o adquisición y son las economías desarrolladas las que mantienen la ventaja y diferencia en materia económica y social" (Panceri, 2015, p. 256).

En el caso de México, su dependencia tecnológica ha limitado su desarrollo económico, debido al modelo hegemónico del capitalismo salvaje. Por eso, la tecnología puede entenderse como una posibilidad más orientada a la acción, pero no por ello consideramos que la tecnología es la solución única y absoluta; el modo de producción capitalista que sustenta su crecimiento en el desarrollo de tecnologías que resuelven problemas y al mismo tiempo provocan la devastación, de manera que el impacto suele, en muchas ocasiones, ser mayor al problema que resuelve y esta dinámica parece infinita, como señala Exposto (2022) citando a Roggerone (2020, p. 16) "... pareciera más sencillo imaginar el fin del mundo que el fin del capitalismo. Incluso, sólo resultaría probable imaginar el fin del capitalismo como fin del planeta tierra". Justo es en el marco



del desarrollo de este texto en donde se observan las contribuciones que tiene el desarrollo tecnológico para mejorar las condiciones ambientales, pero siempre auxiliado por otros mecanismos que necesariamente se clasifican dentro del orden de lo puramente tecnológico.

No obstante, en la última década se ha hecho un esfuerzo enorme y nada fácil de vincular el uso de las nuevas tecnologías a la sustentabilidad. Sin embargo, la producción académica documentada formalmente en este sentido es poca ya que existe una amplia brecha de conocimiento entre estos dos conceptos, el de la sustentabilidad y el de las nuevas tecnologías. Algunos avances van en el sentido de los aportes de la industria 4.0 a la sustentabilidad económica y la innovación como base para acercarse a una sustentabilidad socioambiental (Morteza, 2020). Otros estudios intentan relacionar la transformación digital como una alternativa para la desmaterialización de la economía y el tránsito hacia un modelo que utilice prioritariamente energías limpias y que se aleje del modelo económico basado en hidrocarburos.

Aún cuando la evidencia no logra mostrar ese tránsito del modelo económico (Petrides, Papacharalampopoulos, Stavropoulos y Chryssolouris, 2018), existen experiencias aisladas que responden, a partir de los escasos recursos disponibles, a necesidades de carácter local impulsando el desarrollo de tecnologías propias buscando la reducción del impacto sobre el ambiente.

Por ello, la sustentabilidad no debe quedarse en un concepto o un propósito sino transitar hacia la praxis y materializar su posibilidad de la acción. Las desigualdades sociales se hacen cada vez más evidentes y con ello las alternativas de subsistencia en armonía y correspondencia con la naturaleza se ponen en cuestión; muchos de los cambios realizados a favor de la sustentabilidad tienen un doble efecto, entendiendo el concepto en su acepción amplia

(ambiental, social y económico), generan un impacto positivo en un sentido y uno negativo en otro; justamente este fenómeno se presenta como uno de los ejes transversales que se expone en los nueve capítulos que integran el libro y que permiten al lector primero, adentrarse en la reconstrucción teórico-metodológica del concepto de sustentabilidad y segundo, conocer diferentes experiencias tecnológicas que se han desarrollado en los últimos años en el ámbito de las comunidades y de las empresas privadas, a partir de ello, cumplimos con el objetivo propuesto en este libro.

Una de las posibilidades de acción se encuentra desde la organización solidaria, que pasa por las pequeñas comunidades en las que ya se transita de lo abstracto a lo concreto, sin embargo, en el caso de las grandes industrias se sigue en la lógica del uso irracional y el control de los recursos.

El paso entre la voluntad y la acción debe ser una acción integral de todos los actores de la sociedad, para que no quede en utopía. Por ello, creemos que las posibilidades son desde la acción política (nacional e internacional), el compromiso empresarial, los esfuerzos de la sociedad y la orientación de la academia.

Siguiendo a Gavito, *et al.*, (2017), para lograr detener la crisis ambiental y socioecológica es necesario integrar una plataforma de actores académicos, así como, no académicos que sean capaces de construir al unísono “una concientización social de la problemática ambiental, gestar el interés común para solucionarla y aportar respuestas de acción que continuamente se evalúen e innoven” (p. 152). Existen nuevas propuestas de modelos de innovación basadas desde la óptica socioambiental, cuestionando el papel de la innovación con beneficios comerciales y económicos para unos cuantos, en detrimento de los recursos naturales y sociales. Dentro de estas alternativas está la

innovación eco-tecnológica de generación conjunta (conocimiento científico y grupos sociales), también denominada “innovación inclusiva”, que consideran, nuevos dispositivos, métodos y procesos donde los usuarios dejan de ser simples receptores de los procesos de innovación y desarrollos tecnológicos para convertirse en actores importantes en el proceso de desarrollo aportando sus conocimientos en la atención de sus necesidades y prioridades, logrando así un “diálogo de saberes” para convertirlo en nuevos productos/procesos/métodos. (Gavito, *et al.*, 2017).

El libro está integrado en dos partes. La primera, *Vías hacia la sustentabilidad*, corresponde al análisis de casos concretos en donde se evidencian los distintos enfoques sobre sustentabilidad a partir del análisis a distintos niveles. Esta primera parte está integrada por cinco capítulos que transitan por la visión internacional, de Europa y América Latina y su identificación con ciertas particularidades en territorios mexicanos.

La segunda parte, *Experiencias en la aplicación de tecnologías sustentables*, se recuperan algunas experiencias para mostrar las posibilidades, aún muy reducidas, de incidir en la construcción de un camino hacia la sustentabilidad y dar sentido a las propuestas de los diversos actores sociales como una forma potencial de acción política. Este segundo apartado está integrado por cuatro capítulos que desarrollan y exponen casos de interés común para su estudio.

En cada uno de los capítulos los autores buscan contribuir a la discusión actual sobre la relación entre la sustentabilidad, la innovación y la tecnología con un abordaje multidimensional, por ello, este texto se consolida como un libro que presenta diferentes miradas de análisis y enfoques teórico-metodológicos unos de corte sociológico y otros técnicos y/o tecnológicos. La sustentabilidad como objeto de estudio complejo y emergente requiere



análisis interdisciplinario, el fenómeno de la devastación, la contaminación o el desecho no se puede entender desde la parcialidad, fraccionarlo constituiría un reduccionismo el cual justamente queremos evitar.

La propuesta interdisciplinaria que se hace aquí busca analizar y a partir de un punto en común —la sustentabilidad— y las posibilidades que ofrece la innovación y la tecnología para concretar sus propósitos.

En el primer capítulo, *La construcción de políticas de economía circular en América Latina*, Carrillo y Ponce muestran el grado de avance en la introducción de políticas orientadas a la economía circular que se observa en los distintos países de la región de América Latina. Se asume como punto de partida que la región posee un importante potencial para impulsar la economía circular toda vez que posee una gran riqueza natural y una cultura ancestral en el reúso, el reciclaje de productos y de materiales, sin embargo, esto último se realiza de manera informal y poco sistematizada. Asimismo, se argumenta que en países de Europa y en China se identifican políticas mejor diseñadas y expresadas en leyes, reglamentos, programas, planes y fondos financieros para impulsar la economía circular. Por tanto, resulta de interés para la autora y el autor, identificar aquellos documentos oficiales que muestren (o no) el impulso de políticas deliberadas orientadas a la economía circular en los países de América Latina, a partir del uso de la metodología de minería de textos considerando información de ocho países de la región.

Se aborda como un aspecto central del contexto el impulso a la economía y el crecimiento verdes que proponen la ONU y la OCDE en el año 2009, respectivamente, para orientar la recuperación económica mundial a partir del aumento de las inversiones en el sector ambiental, de lo cual han derivado diversas estrategias como la economía circular para guiar y dar sentido a una

nueva política que atiende al problema del agotamiento de los recursos y el deterioro del medio ambiente. En particular sobre la región de América Latina se señalan los fuertes desafíos que enfrenta para la construcción de políticas públicas en ese sentido, tales como la debilidad de las instituciones, la ausencia de marcos legales específicos, la poca vinculación entre el desarrollo científico y los mercados regionales, entre otros.

Se revisa con cierto detalle la evolución del concepto y propuestas que han surgido y prevalecen en relación con la economía circular en distintas regiones del mundo. Los resultados arrojan que, para el caso de América Latina, representado en los ocho países que tienen mejor posición en el tema, dista mucho de las iniciativas que se encabezan en los países líderes, las cuales van más allá de la emisión de documentos y han avanzado en programas y acciones concretas, canalizando fondos presupuestales a promover la economía circular. Se identifica que en América Latina predomina la tendencia a legislar sobre el tema de residuos lo que ha dado lugar a un mayor número de documentos oficiales que abarcan sólo uno de los aspectos comprendidos en los planteamientos de la economía circular lo cual no constituye la totalidad de la filosofía y principios que se proponen desde esta estrategia.

En el segundo capítulo, *Manifestaciones de la Ecoinnovación: Estudios de caso en Europa y México*, que presentan Solís, Ramírez y Torres se aborda el tema de la ecoinnovación como una de las alternativas que ofrece el campo de la innovación en el actual contexto, este concepto fue impulsado por la OCDE desde el 2009, en el marco de la economía verde, con el fin de innovar para el crecimiento económico sin dejar de atender a los problemas medioambientales.

A partir de una rápida revisión de cómo evolucionó el concepto, los autores y la autora señalan que es desde el campo científico y tecnológico en el ámbito

de los países desarrollados donde surge y toma fuerza la sustentabilidad, estableciendo una clasificación clara del grado, niveles y orientaciones de la innovación que convergen con el objetivo ecológico. Sin embargo, desde otras miradas el concepto se explica y se analiza también en ambientes de empresas e incluso comunidades rurales en los países en desarrollo, donde la complejidad de la innovación puede ser más limitada pero finalmente funcional a las necesidades específicas y generada por factores que van más allá del avance tecnológico.

Este capítulo muestra evidencia de esta reflexión describiendo casos de ecoinnovaciones en el contexto europeo orientadas a la generación de energías limpias y nuevos tipos de fibras, mientras que, en el contexto mexicano, los casos están relacionados con un modelo organizacional y tecnológico para la producción de maíz, biofertilizantes y captura de agua. Se concluye que el esfuerzo y apoyo institucional de los casos europeos responde a la visión de un futuro sostenible que está presente en su política pública, en tanto que las experiencias en México son una respuesta social que busca atender a necesidades inmediatas y a una visión de conservación de sus recursos naturales comunes, debido a que no está en las prioridades del gobierno impulsar una política de ecoinnovación. Con base en la revisión del concepto de sustentabilidad, realizado en la introducción, en este capítulo se encuentra el soporte teórico en las propuestas de la economía verde (ONU, 2009) y el crecimiento verde (OCDE, 2009), donde se mantiene la lógica de crecimiento y la inversión en nuevas tecnologías ecológicas o verdes.

El tercer capítulo que presenta Massieu, *Maíz transgénico en México: sustentabilidad, movimiento social y tecnología*, aborda la evolución del debate que se ha generado, en los últimos veinte años, en el ámbito público y en los

movimientos sociales en torno al problema del maíz transgénico en México. Desde los planteamientos de la ecología política que reconoce la explotación de las personas y de los recursos, así como la desigualdad y la crisis de la civilización, se analiza cómo el modelo capitalista impone un dominio tecnocientífico que agudiza y explica la crisis global.

Desde el análisis que la autora expone, la liberación comercial del maíz transgénico representa una extensión del dominio hegemónico de la agricultura comercial en contra de la conservación de la biodiversidad y como un atentado a la riqueza genética del maíz criollo que se expresa en 64 razas con sus respectivas variedades. La introducción de las variedades transgénicas como una nueva tecnología no solo va en contra de la sustentabilidad sino también, desde la perspectiva de Feenberg (2005), se convierte en una forma de dominio y poder, que desde la perspectiva de quienes la promueven es una solución, ignorando las dificultades socioeconómicas que generan en los pequeños productores y los problemas ambientales que impactan sobre el entorno.

El capítulo señala que en el caso de México se vivió una doble vía, por un lado, la revolución verde marcó una trayectoria tecnológica para el campo con variedades híbridas del grano, que garantizó la producción comercial y, por otro lado, se dieron acciones paralelas vinculadas a la academia para la preservación de las especies criollas y los métodos agroecológicos. A la par de políticos y científicos la sociedad civil se ha manifestado en contra de los cultivos transgénicos, tomando tal fuerza que han logrado incidir en decisiones tecnológicas y de política pública con fuertes tensiones a nivel nacional e internacional entre activistas y grandes empresas, a lo que se suma la presión en los acuerdos comerciales. La autora concluye que en México prevalece una contraposición entre el impulso a la agroecología, —incluso declarado en la

política federal actual—, y el acuerdo comercial con Estados Unidos y Canadá que abre espacios para los transgénicos.

En el capítulo cuarto, *Sistema socio-ecológico del Cañón del Usumacinta: interacciones entre unidades productoras de miel y la naturaleza*, Martínez, Vera y Ceballos, nos presentan un estudio de caso sobre los enlaces del proceso productivo de la miel y cómo a partir de estos procesos favorecen “la convivencia del ser humano con la flora del lugar que la abeja poliniza al tiempo que se generan mejores condiciones sociales y económicas que respetan los ciclos de vida de las especies de la región.” Se parte del estudio de los sistemas sociales y ecológicos como sistemas complejos adaptativos que coevolucionan y así se crea un “Sistema Socio-Ecológico” (SSE).

Este estudio analiza el conjunto de interacciones que se presentan en el SSE localizado en el territorio del Cañón del Usumacinta. El enfoque teórico-metodológico se sustenta en la teoría de grafos y de esta forma presentan un conjunto de redes de interacción complejas al incluir a todos los actores involucrados en la producción de miel y los eventos que conservan la biodiversidad de la región. Para la interpretación de la información, las autoras y el autor recuperan el trabajo de Merino (2014) sobre los bienes comunes y las formas de gobernanza y acción colectiva.

Después de la presentación de las redes densas y complejas, los autores concluyen que la interacción de los diferentes actores sociales con la población de abejas, en un entorno de área protegida como es el Cañón del Usumacinta, “muestran un patrón de comportamiento histórico por su dimensión simbólica, temporal y espacial”, lo que permite conceptualizarlo como patrimonio biocultural. Este artículo contribuye al enfoque que Barkin (2018), denomina, “De la protesta a la propuesta”, es decir, la construcción de un entramado

multiparticipativo en la producción de miel y se convierte en una propuesta que permite construir un futuro diferente en donde se logra una interacción armoniosa con la naturaleza, su flora y su fauna. Como se menciona en la introducción este capítulo responde a los planteamientos teóricos heterodoxos donde se cuestiona la ausencia de las consideraciones ambientales en los modelos económicos desde una perspectiva sistémica, al vincular al sistema económico con los ecosistemas naturales en una relación de equidad.

En el quinto capítulo, *Las energías renovables ¿Alternativa ambiental? Una visión global y local de su implementación en México*, García y Azamar, abordan el papel de las energías renovables en el mundo y en México, considerando los planteamientos de Malm (2016) en su concepto de capitalismo fósil, para explicar cómo los energéticos tradicionales (gas, carbón y petróleo) siguen anclados en los procesos productivos del sistema económico actual. La pregunta que guía su trabajo es ¿Las energías renovables son sustentables? Las autoras realizan un recorrido histórico de las fuentes y uso de la energía con fines productivos, analizan diferentes indicadores sobre el uso de energías fósiles y renovables; para luego concluir que las tecnologías renovables no funcionan y no otorgan resultados de la manera que esperaban el sector privado y el gubernamental.

Siguiendo a Malm (2016), las autoras hacen eco a sus argumentos sobre el impulso de las energías renovables como una estrategia de adaptabilidad y producción del capital, en donde no se cuestiona el modelo de producción y consumo que ha conducido a la crisis climática actual.

Las autoras concluyen, retomando su cuestionamiento central, que las energías “renovables no pueden ser concebidas como un símbolo del desarrollo sustentable porque no contribuyen a mitigar la injusticia socioeconómica

ni socioambiental". En el caso de México las políticas energéticas que ha impulsado el presidente Andrés Manuel López Obrador han sido rechazadas por el sector privado y los grupos de ambientalistas, según ellos, al considerar que existe un retroceso al impulsar el uso de combustibles fósiles, en realidad, estos combustibles nunca se han ido y seguimos siendo dependientes de ellos, situación que se ha agravado a partir de la guerra entre Ucrania y Rusia. Este capítulo se circunscribe en los planteamientos de la ecología política con la crítica al modelo económico hegemónico. La mirada Latinoamericana, considera a este modelo de desarrollo depredador y generador de pobreza, exclusión y destrucción de la naturaleza.

El segundo apartado del libro denominado *Experiencias en la Aplicación de Tecnologías Sustentables*, está integrado por cuatro capítulos que muestran evidencia relacionada con el uso de técnicas o nuevos conocimientos para contribuir a mitigar los efectos adversos de la producción en el medio ambiente.

El sexto capítulo corresponde al artículo presentado por Muñoz y Valle titulado *Un paradigma taxonómico para las tecnologías de paneles fotovoltaicos*. Los autores centran su interés en realizar una propuesta de taxonomía para jerarquizar las nuevas tecnologías de paneles solares, el eje de selección lo realizan a partir de criterios que contribuyen a la sustentabilidad. Su trabajo integra un recorrido teórico sobre el desarrollo sostenible y su implicación ambiental.

Desde la posición de la teoría crítica, las propuestas presentadas se centran en alternativas para mitigar el impacto del sistema capitalista actual en los problemas ambientales que provoca la producción, distribución y consumo y la propuesta de la transición energética como una de las claves para mitigar la crisis climática. En este capítulo, como tal, no se realiza una crítica al modelo

de desarrollo, más bien, la evidencia presentada, se circunscribe como una alternativa limpia a los esquemas actuales de producción y suministro de energías fotovoltaica. Como se menciona en la introducción se considera el desarrollo tecnológico como un elemento fundamental para mitigar la destrucción natural y la crisis climática, los autores realizan una revisión histórica del concepto sostenible, sin presentar un posicionamiento crítico al modelo económico.

Muñoz y Valle, nos presentan la situación de México con respecto al indicador per cápita de emisiones de CO₂, si bien tiene una baja contribución proporcional en el impacto climático, el indicador demográfico tiene un mayor impacto. Al considerar el número de habitantes, "los valores absolutos de la huella ecológica generada por la población mexicana alcanzan un peso significativo a nivel regional."

En el caso de México, explican los autores, si bien las alternativas de energías renovables iniciaron a finales del siglo XX, será hasta el siglo XXI que se tiene un incremento, pero este proceso es largo e inacabado, principalmente porque se tienen que modificar los procesos de producción y los hábitos de consumo energético de la población.

Los argumentos de los autores en este artículo resultan de "aplicar la lógica difusa al paradigma taxonómico de alternativas tecnológicas para paneles solares" y realizar una explicación muy didáctica sobre su utilización. En sus conclusiones Muñoz y Valle destacan la importancia de los aspectos socioculturales y socioambientales en los criterios de priorización de su taxonomía.

En el séptimo capítulo, *Revalorización de residuos contaminantes para la restauración de cuencas. Producción de biocombustibles a partir de las descargas de la industria de la tequilera en la cuenca alta del río Santiago*, los

autores Peniche, García, Pérez y Quintero exponen la problemática actual del desecho de residuos industriales, particularmente, el del agua contaminada en el proceso de elaboración del tequila en la cuenca alta del río Santiago; sus planteos teóricos basados en la Economía Biofísica les permiten trazar un vínculo entre dos campos del conocimiento, la economía —que parte del principio de recursos limitados— y la física; para ello, hacen uso de la categoría de termodinámica y argumentan que existen límites biofísicos que posibilitan equilibrar el sistema social con el ambiental; con base en este abordaje los autores se posicionan en la visión sistémica la cual permite entender las relaciones y entramados que se gestan entre la economía, la sociedad y el ambiente para proponer una alternativa de sustituibilidad del biodiesel por el gasoil; lo anterior implicaría una reorganización y adaptación de la industria tequilera, desde la perspectiva de la reutilización de los desechos pero no se cuestiona una reducción en los procesos de producción; ni tampoco el desarrollo tecnológico para la mitigación del impacto ambiental. En este artículo se logra la vinculación entre nuevas tecnologías y sustentabilidad.

En el octavo capítulo, *Captación de lluvia como opción para los usuarios industriales comerciales. Una experiencia en el Corredor Industrial de Guanajuato*, los autores Tagle, Caldera, Rodríguez y Medina abordan una problemática actual y emergente —el estrés hídrico—; proponen una metodología basada en un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) y valoran la factibilidad de su aplicación para llevarla a cabo en una empresa. En este documento los autores cuestionan las decisiones de los actores institucionales locales y estatales encargados de la administración del uso del agua al mencionar la poca aceptación que han tenido algunas ecotecnias como la SCALL señalando que la preocupación mayor de la Administración Pública se centra en intereses socioeconómicos, como lo refieren en el caso del municipio de León,

Guanajuato en donde incorporar la SCALL supondría una pérdida de ingresos para estas instituciones toda vez que ellas se encargan de la distribución y comercialización del agua.

A través del diseño de la SCALL en una empresa llamada Promotora Ambiental de la Laguna (PASAL), se presentan resultados que confirman que la implementación de esta tecnología genera beneficios económicos y, además, la empresa se posiciona como un caso de éxito que induce a replicar este tipo de práctica en otras empresas. Los autores advierten de la necesidad de estrechar esfuerzos que partan de una estrategia integral que promueva el diseño de políticas públicas, la integración del sector privado, la generación de conciencia en el uso racional del agua entre los ciudadanos y la convergencia de la voluntad política del gobierno municipal en esta materia. Este capítulo presenta una propuesta práctica para mitigar el estrés hídrico, como se mencionó en la introducción a partir de la crisis económica del 2008, los organismos internacionales impulsaron propuestas de la economía verde. En este parteaguas surgen varias propuestas operativas con el surgimiento de ecotecnias que permiten la reactivación de la economía mundial y mitigar los efectos adversos del modelo económico.

El último capítulo de este libro, el noveno, las autoras Ramírez y Cortés presentan el trabajo *Economía circular en el flujo de material automotriz en México con base en los principios del desarrollo sostenible*; en el cual el foco de interés está situado en la correcta gestión y aprovechamiento de los residuos sólidos resultantes del uso y producción de los automóviles; para ello recurren a una revisión de la normatividad que regula la gestión de residuos sólidos lo que les ayuda a contrastar la realidad industrial con la regulación medioambiental; su análisis está situado en la correcta gestión y aprovechamiento de los residuos sólidos resultantes del uso y producción de los automóviles, para ello

recurren a una revisión de la normatividad que regula la gestión de residuos sólidos lo que les ayuda a contrastar la realidad industrial contra la regulación medioambiental; su propuesta fundamental se centra en la implementación de la economía circular considerando los objetivos del desarrollo sostenible que plantea la ONU a través de la agenda 2030.

Las autoras sostienen que se han hecho varios esfuerzos para mitigar la contaminación generada por la emisión de contaminantes de aire, pero existen pocas acciones para gestionar los residuos que genera la producción de un vehículo, de esta manera, el valor de este texto está en el desarrollo de propuestas de aplicación de los principios de la economía circular aplicados en la industria automotriz a través de la aplicación de acciones concretas como son reducir, reutilizar, reciclar, rediseñar, recuperar, remanufacturar y, alargar la vida útil. Proponen la implementación de rutas hacia la sustentabilidad en la industria automotriz.

El libro que la lectora y el lector tiene en sus manos pretende iniciar una nueva reflexión y discusión para repensar sobre las posibilidades de integrar prácticas sustentadas en la tecnología como una alternativa para mitigar los efectos del uso indiscriminado de los recursos naturales, por ello estamos convencidos que este texto será del interés para el público que esté haciendo esfuerzos tanto en la teoría como en la praxis para encontrar alternativas sustentables mediadas por la tecnología y que a través de los capítulos presentados se tengan referentes teóricos y metodológicos que constituyan un avance en la reflexión del vínculo entre la sustentabilidad y la tecnología.

*Graciela Carrillo González
Griselda Martínez Vázquez
Ruth Ríos Estrada*

Referencias

- Antonelli, M., Cerutti, D., Marín, M., Orellana, M., y Gómez, M. (2015). Constelación de violencias y violentamientos en el contexto de la megaminería en Argentina. En M. Svampa, y U. N. Sarmiento (Eds.), *El desarrollo en disputa. Actores, conflictos y modelos de desarrollo en la Argentina contemporánea* (pp. 299-328). Ediciones UNGS.
- Avesani, M. (2020). Chap. 2. Sustainability, Sustainable Development, and Business Sustainability. In J. Ren and S. Toniolo (Eds.), *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making* (pp. 21-38). Elsevier.
- Barkin, D. (2018). *De la protesta a la propuesta. 50 años imaginando y construyendo el futuro*. Siglo XXI y UAM-X.
- Boulding, K. (1966) The Economics of the Coming Spaceship Earth. In H. Jarrett (Ed.), *Environmental Quality in a Growing Economy, Resources for the Future* (pp. 3-14) Johns Hopkins University Press.
- Cabeza, M. (1996). The concept of weak sustainability. *Ecological Economics*, 17(3), (pp. 147-156).
- CMMAD (1987). *Nuestro futuro común*. Editorial Alianza.
- Carrillo, G. (2015) Crecimiento verde vs. metabolismo social. En J. M. Corona (Coord.), *Desarrollo Sustentables. Enfoques, políticas, gestión y desafíos*. (pp. 83-104). UAM.
- Coase, R. (1994). El problema del coste social. En F. Aguilera y V. Alcántara (Coord). *De la economía ambiental a la economía ecológica*. Economía Crítica FUHEM.
- Constanza, R., Cumberland, J., Daly, H., Godland, R. y Norgaard, R. (1999). *Introducción a la economía ecológica*. Ed. Reverté.
- Daly, H. (1992). *Allocation distribution and scale: towards an economics that is efficient just and sustainable*. *Ecological Economics*, 6, (pp. 185-193).
- De Sousa, B. (2010). *Descolonizar el saber, reinventar el poder*. Extensión Universidad de la República y Ediciones Trilce.
- Dussel, E. (2004). Sistema mundo y "Transmodernidad". En S. Dube, I. Banerjee Dube, y W. Mignolo (Eds.), *Modernidades coloniales: otros pasados, historias presentes* (pp. 201-226). El Colegio de México.
- Economía sustentable. (02 de marzo de 2020). *Nuevos paradigmas: el 85% de los consumidores pagarían más por productos sustentables*. [economiasustentable.com](https://economiasustentable.com/noticias/nuevos-paradigmas-el-85-de-los-consumidores-pagarian-mas-por-productos-sustentables). <https://economiasustentable.com/noticias/nuevos-paradigmas-el-85-de-los-consumidores-pagarian-mas-por-productos-sustentables>.



- Escobar, A. (2003). Mundos y conocimientos de otro modo. *Tabula Rasa*,1, (pp. 51-87).
- Exposto, E. (2022). *Las Máquinas Psíquicas*. Crisis, Fascismos y Revueltas.
- Gavito, M.E. *et al.*, (2017). Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México, en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Instituto de Biología UNAM, núm. 88, (pp. 150-160). <http://www.ib.unam.mx/revista/>
- Giddings, B., Hopwood, B., O'brien, G. (2002). Environment, economy and society: Fitting them together into sustain-able development. *Sustain. Dev.* 10 (4), (pp. 187-196).
- Gudynas, E. (2 de marzo de 2016). *Ciclo de conferencias: Energía, cooperación y desarrollo: Reflexiones y experiencias. Nuevos debates sobre desarrollo*. <https://www.youtube.com/watch?v=L81swWWHxIA>
- Kapp, W. (1978). El carácter de sistema abierto de la economía y sus implicaciones. En Aguilera K. y Alcántara V. (Eds.) *De la economía ambiental a la economía ecológica*. FUHEM-Icaria.
- Klein, N. (2020). *Los años de reparación*. Buenos Aires Argentina. CLACSO.
- Kidd, V. (1992). The evolution of sustainability. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 5, (pp. 1-26).
- Leff, E. (2003). La ecología política en América Latina. Un campo en construcción. CLACSO (Ed.), *Los tormentos de la materia. Aportes para una ecología política latinoamericana*. (pp. 2-17). CLACSO.
- Malm, A. (2016). *Fossil Capital. The rise of steam power and the roots of global warming*. Verso.
- Martínez, G., Espinosa, A., y Galván, M. (2020). La cultura y los procesos de ecoinnovación En San Martín Tilcajete Oaxaca. En Carrillo, G. y Ríos, Ruth y UAM-X (Eds.), *Una mirada a la ecoinnovación en organizaciones locales en México. Nuevos marcos explicativos* (pp. 107-142). UAM Xochimilco.
- Mckeown, R., Hopkins, A., Rizzi, R., and Chrystallbridge, M. (2002). *Manual de Educación para el Desarrollo Sostenible*. Number 865.
- Meadows, D. and Meadows, D. (1972). *The limits to growth*. A Potomac Associates Book. Universe Books.
- Morteza, G. (2020): Industry 4.0, digitization and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*. Vol. 252, 10 april. Elsevier.
- ONU (1972). *Conferences Environment and sustainable development*. Stockholm, Sweden. OECD, Eurostat. (2018). Oslo Manual; Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- ONU (1992). *Rio Declaration on Environment and Development 1992*. <http://www.jus.uio.no/lm/>

- environmental.development.rio.declaration.1992/portrait.a4.pdf .
- Ortiz, T. (2009). *Bordando paradigmas para el desarrollo. Metodología para abordar el turismo rural desde el sujeto social*. (1 ed.). UAM-Universidad Latina.
- Panceri, J. (2021). *Sustentabilidad. Economía, Desarrollo y Medio ambiente*. Editorial Biblos.
- Pearce, D., Atkinson, G., (1998). The concept of sustainable development: an evaluation of its usefulness ten years after Brundtland. *Swiss J. Econ. Stat.* 134 (3), (pp. 251-269).
- Pearce, D., Turner, R., (1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*. Johns Hopkins University Press.
- Petrides, D., Papacharalampopoulos, A., Stavropoulos, P., y Chryssolouris, G. (2018). Desmaterialization and environmental sustainability: Challenges and rebound effects. *Procedia CIRP* 72, (pp. 845-849).
- Ribeiro, S. (10 de septiembre de 2022). Colonialismo climático. *La jornada*.
- Roegen, G. (1977). ¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y la biología? En Aguilera K. Y Alcántara V. (Eds.) *De la economía ambiental a la economía ecológica*. FUHEM-Icaria.
- Sachs, I. (1977). Eco-development: Meeting human needs. *India International Centre Quarterly*, 4 (4), (pp. 337-350).
- Sotelsek, D. (1997). *Crecimiento y desarrollo sostenible. Una visión crítica*. Otros temas, (pp. 115-131).
- Svampa, M. (2016). *Debates latinoamericanos. Indianismo, desarrollo, dependencia y populismo*. Edhasa.
- (2020). *Serie de conversatorios virtuales. Ecología política de las pandemias*. Youtube. https://youtu.be/4i6Ri_rneow.
- Tetreault, D. (2004). Una taxonomía de modelos de desarrollo sustentable. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*, (pp. 45-77).
- Tierra, A. (abril de 2021). Recuperado el 20 de agosto de 2022, de Amigos de la tierra: <https://www.foei.org/es/publicaciones/unicornios-mercados-carbono-cero-neto/>, <https://www.foei.org/es/publicaciones/gran-estafa-clima-cero-neto/>.
- Toledo, V. (2015). ¿De qué hablamos cuando hablamos de Sustentabilidad? Una propuesta ecológico-política. *Revista interdisciplina UNAM*, (pp. 35-55).
- (1 de mayo-junio de 2022). The global crisis is a crisis of civilization: a political ecology perspective. *Revista de estudios globales. Análisis histórico y cambio social*, (pp. 119-129).
- Víctor, P. (1991). Indicators of sustainable development: some lessons from capital theory. *Ecological Economics*. 4 (3), (pp. 191-213).

PARTE I.
VÍAS HACIA LA SUSTENTABILIDAD



LA CONSTRUCCIÓN DE POLÍTICAS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN AMÉRICA LATINA

*Graciela Carrillo González**
*José Ignacio Ponce Sánchez***

Introducción

La crisis ambiental con dimensiones planetarias que enfrentamos actualmente, tiene su génesis en la revolución de la industria manufacturera que orientó su modelo productivo hacia la fabricación en masa y por ende a un creciente consumo de recursos naturales, que conformaron parte de sus insumos de producción. Este fenómeno tuvo como consecuencia un aumento paulatino del consumo de bienes finales que también fue modificando los patrones tradicionales por bienes de mayor impacto sobre el medio ambiente.

* Profesora-Investigadora del Departamento de Producción Económica, UAM-Xochimilco.

** Profesor Investigador del Departamento de Estudios Institucionales, UAM-Cuajimalpa.

Este modelo que impulsó la revolución industrial vino operando bajo una lógica de producción lineal que se responsabilizaba de los insumos y procesos solo dentro de la “caja negra” sin prestar mayor atención al origen de los insumos y al destino de los residuos. Sin embargo, el mismo ámbito competitivo del mercado como las manifestaciones sociales que empezaron a llamar la atención sobre el daño al planeta, a finales de los años setenta del siglo pasado han movido muy lentamente algunas iniciativas de producción en una lógica distinta.

El siglo XXI presenta un escenario donde se coincide en la necesidad de transitar de un modelo de producción y consumo lineal hacia un modelo circular más sustentable. Para las empresas privadas el cambio está surgiendo tanto por una cuestión de eficiencia económica como por una cuestión de aceptación social que se expresa en las decisiones de compra; para los gobiernos por una responsabilidad asumida y por la necesidad de legitimarse.

Esta transición se define claramente a partir del año 2009, cuando la Organización de Naciones Unidas (ONU) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) impulsan una tendencia para la recuperación económica de los países basada en un crecimiento de las inversiones hacia el sector ambiental. La idea de la Economía Verde y el Crecimiento Verde impulsados por la ONU y la OCDE, respectivamente, marcan la ruta económica del nuevo siglo, incorporando las preocupaciones sociales por la crisis ambiental ya abiertamente reconocida.

Si bien es cierto que, en el contexto de la economía verde, las empresas juegan un papel protagónico frente a la necesidad de modificar las características de su oferta, también es cierto que esa transición no sucede sin una acción decidida por parte de los gobiernos nacionales. Esto se ha hecho evidente al

observar avances diferenciados entre regiones y países del mundo, mientras que en la Unión Europea se ha impulsado una fuerte política de transición hacia la economía circular soportada con un marco normativo sólido, programas de apoyo y financiamiento específico que está siendo canalizado hacia toda la región, en América Latina los esfuerzos aún son insuficientes y aislados ya que se destina poco presupuesto, la definición de marcos legales está en proceso y los programas de economía circular son escasos, lo cual se expresa en la tímida respuesta que dan las empresas privadas para la transición.

Tanto la ONU a través de su Programa para el Medio Ambiente (PNUMA) como la OCDE siguen marcando las tendencias que podrían redefinir el tipo de políticas que deben adoptar los países y el grado de avance entre naciones, que como ya se mencionó ha sido diferenciado, hacia un crecimiento que incorpore los criterios de sostenibilidad entre sus indicadores básicos, sin dejar de colocar en primer lugar la eficiencia del mercado, lo cual ha sido cuestionado desde posturas más empáticas con la dimensión ambiental.

América Latina como una región rica en recursos naturales y con una visión que se orienta hacia la adopción de criterios ambientales desde la política pública y desde diversas iniciativas privadas, ofrece oportunidades para la transición hacia la economía circular. Sin embargo, la construcción de dichas políticas en ese sentido enfrenta otros desafíos que van más allá de la ausencia de marcos legales específicos y de presupuesto, existe una debilidad de sus instituciones, poca vinculación entre los desarrollos tecnológicos y los mercados, y escasa información sistematizada, además de heterogénea entre países, que permita medir resultados.

Por tanto, es indispensable desarrollar investigaciones que proporcionen resultados e información útil a los políticos y tomadores de decisiones



ofreciéndoles una perspectiva más amplia y sistemática sobre la transición a la EC. Estudios como este generan elementos para una mayor comprensión en temas nuevos como es la EC y sus efectos en la innovación tecnológica sostenible e impulsan para que al diseñar las políticas públicas se preste atención a las tendencias internacionales, a la dinámica del mercado en el contexto actual y la reducción de impactos que puede propiciar una innovación tecnológica sostenible.

El objetivo de este trabajo es identificar en un grupo de ocho países de América Latina el potencial y el grado de avance de desarrollo para la construcción de políticas a favor de la EC.

La metodología utilizada es la búsqueda bibliográfica y hemerográfica de las políticas implementadas en el sentido de la EC, para identificar los países latinoamericanos con una mayor orientación hacia este enfoque. El análisis de los documentos oficiales de los países detallados de la región se realiza mediante minería de textos.

El trabajo se organiza en cuatro apartados: El primero presenta una discusión sobre la relación entre la sustentabilidad y la EC; el segundo presenta un breve escenario de la situación de las políticas públicas orientadas a la economía circular en dos regiones del mundo, la Unión Europea y América Latina, con mayor énfasis en esta última; el tercer apartado refiere a la metodología utilizada; el cuarto presenta los resultados del análisis de los documentos identificados en ocho países de la región latinoamericana; finalmente se señalan algunas conclusiones.

Sostenibilidad y economía circular

A finales de la primera década del siglo actual con el “Nuevo Acuerdo Verde Global” publicado en 2009 por el *Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente* (PNUMA), se define una ruta más clara que engloba las alternativas de política pública y de financiamiento hacia la transición de los modelos de producción, esta discusión da nuevos aires al debate en torno a la crisis ambiental de cuatro décadas atrás y permite el surgimiento y resurgimiento de una serie de alternativas concretas para el cambio.

En el marco del Nuevo Acuerdo Verde Global, el PNUMA lanza un proceso de discusiones para la construcción de una iniciativa denominada Economía Verde, con el fin de impulsar una serie de recomendaciones de política pública y un paquete de inversiones que facilitara la transición hacia una visión más ambientalista de la economía que garantizara el crecimiento del empleo y disminuyera la pobreza. Esto se concreta en 2011 con la publicación del documento “Hacia una Economía Verde. Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza”, donde se define a la Economía Verde como “aquella que tiene bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente”. Plantea que, en una Economía Verde, el aumento de los ingresos y la creación de empleos deben derivarse de inversiones públicas y privadas destinadas a reducir las emisiones de carbono y la contaminación, a promover la eficiencia energética, así como en el uso de los recursos, y a evitar la pérdida de diversidad biológica y de servicios de los ecosistemas” (PNUMA, 2011, p. 1).



En el mismo periodo el Secretario General de la OCDE presenta un informe señalando que la desaceleración económica no debería debilitar los esfuerzos para lograr a largo plazo un crecimiento económico con bajas emisiones de carbono. Propone una recuperación basada en la innovación tecnológica verde y proyectos de infraestructura con una larga vida útil. El informe recomendaba una recuperación que hiciera frente a las finanzas, la competencia, y la gobernanza, y que al mismo tiempo abonara hacia un crecimiento económico sostenible, llamado el crecimiento verde.

También en 2011, la OCDE publica el documento *"Hacia el crecimiento verde. Un resumen para los diseñadores de políticas"*. En este se señala que el "Crecimiento verde significa fomentar el crecimiento y el desarrollo económicos y al mismo tiempo asegurar que los bienes naturales continúen proporcionando los recursos y los servicios ambientales de los cuales depende nuestro bienestar. Para lograrlo, debe canalizar inversión e innovación que apuntalen el crecimiento sostenido y abran paso a nuevas oportunidades económicas" (OCDE, 2011, p. 4).

Ambos organismos colocan en el centro la ruta a seguir para la recuperación económica y la construcción de un mundo "más sustentable", promoviendo y facilitando la inversión privada y apoyándose en incentivos que derivan del uso de instrumentos económicos, ampliamente promovidos desde la economía neoclásica.

Es en el marco de este impulso al crecimiento y la Economía Verde que se complejiza el concepto de sustentabilidad y surge la alternativa de la EC, como una propuesta nueva y transformadora de la cual derivan políticas definidas que reorientan al mercado y ofrecen posibilidades para redefinir el modelo de producción vigente y marcar una senda hacia una sociedad más cercana a la sustentabilidad.



Un punto central en este proceso de cambio está en la definición del papel que juega la economía circular en la ruta hacia la sostenibilidad. Algunos autores como Ekins, *et al.*, (2019) establecen una diferencia entre el sentido que se le da al concepto de sostenibilidad, que proviene de la ecología, el cual hace referencia a como los sistemas biológicos se mantienen productivos a lo largo del tiempo en relación a su entorno, y el que corresponde al concepto de desarrollo sostenible, el cual se identifica con un proceso (el desarrollo) en tres dimensiones: social, económica y ambiental, equiparando una diversidad de indicadores en tres dimensiones que pueden ser muy diferentes, mientras que una se expresa principalmente a partir del crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB); una segunda pone el énfasis en los satisfactores de bienestar y una tercera en la preservación de los ecosistemas y su entorno, por lo tanto esa complejidad dificultan el alcance de las metas, que a partir de 2015 se concentraron en los llamados Objetivos de Desarrollo Sostenible y también confunde cuando se utiliza como sinónimo sostenibilidad y desarrollo sostenible.

La EC es una de estas alternativas que surge en el sendero hacia una economía verde, vinculada al enfoque que marcan los organismos internacionales se coloca como un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, pero en particular con la perspectiva multidimensional del desarrollo sostenible. Una definición más amplia está en el trabajo de Kirchherr, *et al.*, (2017), quien sintetiza de 114 descripciones que "la economía circular describe un sistema económico que se basa en modelos de negocios que reemplazan el concepto de 'fin de vida' con la reducción, reutilización alternativa, reciclaje y recuperación de materiales en producción/distribución y consumo operando así a nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques eco-industriales) y nivel macro (ciudad, región, nación y más allá), con el objetivo de lograr

un desarrollo sostenible, lo que implica crear calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras” (Kirchherr, *et al.*, 2017, pp. 224-225).

Otro actor relevante en la promoción de la EC, ha sido la Fundación Ellen MacArthur (EMF), que la define como “un sistema industrial restaurador o regenerativo por intención...que se desplaza hacia el uso de energías renovables, eliminando el uso de químicos tóxicos que perjudican la reutilización y el retorno a la biosfera” (EMF, 2015).

El concepto se apoya en el llamado modelo mariposa. Braungart, *et al.*, (2007) han difundido a través de la Ellen McArthur Foundation la propuesta del “Modelo Mariposa” que divide los flujos de materiales en técnicos y biológicos como dos aspectos que se interrelacionan, el flujo de materiales físicos y el desplazamiento de estos flujos en la economía. El flujo de materiales implica un cambio de perspectiva al pasar de considerarlos residuos a valorarlos como subproductos o materias primas secundarias para un nuevo producto. En estos flujos se involucra el uso de energía que se invierte en la recuperación y el impacto positivo para la regeneración de los ecosistemas.

Ekins, *et al.*, (2019), discute la idea de equiparar a la economía circular con el desarrollo sostenible a partir de las tres dimensiones: la económica, la ambiental y la social; ya que los costos y beneficios de alcanzar los objetivos de cada dimensión no solo difieren, sino que en ocasiones se contraponen. Se sugiere entonces instrumentar el enfoque en los niveles micro (la empresa y/o decisiones de compra del individuo); meso (parques y zonas industriales, agrícolas o de servicios); y macro (políticas públicas federales, regionales o municipales), “A nivel macro, los incentivos para la economía circular deben incorporarse gradualmente con los intereses de la sociedad y de las partes

interesadas. Según la clasificación de Geng y Doberstein, aquí es donde la economía circular podría encontrarse con el desarrollo sostenible” (Sauvé *et al.*, 2016, p. 55). Tampoco se puede perder de vista que la economía circular tiene un mayor énfasis en sus dimensiones económica y ambiental dejando prácticamente de lado la dimensión social.

La coincidencia de objetivos, desde las tres dimensiones constituye un primer reto para la implementación de las políticas públicas para la economía circular; un segundo reto está en las diferencias regionales lo que limita la opción de políticas a nivel federal; un tercer reto se define por las trabas o retrasos institucionales; finalmente un cuarto lo marca la brecha tecnológica. Es bajo estas consideraciones que se pueden observar diferencias importantes entre las rutas seguidas y su grado de avance entre la Unión Europea y América Latina.

El escenario de las políticas de economía circular en América Latina

La transición hacia una economía verde que han delineado los organismos internacionales (ONU y OCDE) marcó la ruta de las iniciativas de política pública y programas específicos que se están siguiendo en distintas regiones y países del mundo, lo cual se ha facilitado por una fuerte tendencia en la movilidad de flujos financieros vía recursos internacionales y movilidad de capitales privados en la búsqueda de oportunidades de inversión en el sector de medioambiente con alta rentabilidad (Carrillo, 2015).

Sin embargo, instrumentar acciones concretas a favor de iniciativas específicas como la economía circular suele ser algo más complejo aún

y exige, sumar al uso de políticas ambientales tradicionales otro tipo de acciones más persuasivas que involucren de forma directa a los distintos actores. Desde una visión tradicional, la política ambiental ha seguido una tendencia que transita desde la regulación directa y estricta, que se dio con auge en los años setenta del siglo xx, pasando por una regulación inducida y hasta un modelo donde el mercado y la competencia dirigen las decisiones de los privados en relación con el ambiente.

Este tipo de políticas suele utilizarse de manera alterna en distintos países. La regulación directa se basa en permisos o licenciamientos y en la fijación de límites de emisión de contaminantes, mediante sistemas de comando-control-verificación-sanción; la regulación inducida o concertada se apoya en acuerdos con empresas individuales o con asociaciones de industriales en relación a los niveles de mejoramiento ambiental, asimismo se manifiesta con la creación de incentivos a través de una variedad de mecanismos económicos, como el uso de impuestos ambientales y los derechos de emisión; los esquemas de mercado aluden a la responsabilidad de los actores a partir de brindarles información de mercado.

Acciones más específicas que incentiven la EC se desprenden de las propuestas presentadas por la EMF, a partir del año 2015, con la publicación *"Delivering the Circular Economy: A Toolkit for policymakers"*, cuyo objetivo fue ayudar a "los formuladores de políticas que han decidido hacer la transición a una economía circular en el diseño de una estrategia para acelerar este proceso" (EMF, 2015, p. 39). Este tipo de acciones es aplicable en los distintos niveles de gobierno y responde a los contextos y prioridades de cada país, aunque en muchos casos se ha hecho evidente que los programas específicos de economía circular suelen aplicarse principalmente en el ámbito de las ciudades.

Las principales opciones de política ambiental se han orientado hacia la configuración de sociedades público-privadas, el aumento de la inversión pública, el uso de impuestos, la aplicación de subsidios, permisos comercializables, incentivos fiscales para I+D, concentraciones de tecnologías de propósito general, garantías de préstamo para nuevos proyectos en red, adecuación de la legislación, nuevas iniciativas de ley, implementación de normas y regulaciones, programas de fomento sectorial. (OCDE, 2011). La EMF propone cinco categorías de intervención de políticas que busca abarcar ciertos fallos en el mercado y que de no cumplirse limitarían la adopción de una economía circular, estas son: el marco regulatorio; el marco legal; la educación; información y concientización; la contratación pública para infraestructura; los esquemas de impulso a la innovación a partir de las plataformas de colaboración. (Drummond y Lotti, 2019).

Establecer políticas y estrategias específicas para dar una orientación al manejo de los recursos hacia la circularidad ayuda a guiar las acciones en todos los niveles de gobierno, el establecimiento de los marcos legales y regulatorios es indispensable para soportar otro tipo de estrategias que involucran el uso de instrumentos concretos.

Para el caso de la Unión Europea (UE), en 2014 se publica el documento "Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa", mismo que se suma a las directivas de gestión de residuos para formar parte del primer "Paquete de economía circular" (CEP) de la región. McDowall, *et al.*, (2017), señala que el concepto de economía circular ganó importancia entre los responsables políticos europeos, en gran parte debido a la preocupación por los altos precios de las materias primas. Los objetivos clave de ese paquete fueron impulsar el reciclaje y evitar la pérdida de materiales valiosos, crear

puestos de trabajo, fomentar el crecimiento económico, demostrar cómo los nuevos modelos de negocio, el ecodiseño y la simbiosis industrial podían contribuir a la transición a 'residuo cero', y reducir emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y otros impactos ambientales, así como aumentar la productividad de los materiales en un 30% entre 2014 y 2030. (Domenech y Bahn-Walkowiak, 2019).

En 2015 se adopta un nuevo paquete en la región titulado "Cerrando el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular", con los objetivos generales de contribuir 'a los esfuerzos de la UE para desarrollar un entorno sostenible, bajo en carbono, eficiente en el uso de los recursos y con una economía competitiva' (*European Commission, 2015, p. 2*) en el cual se propone la instrumentación de 54 acciones para el año 2020, un enfoque central de este nuevo paquete estaba dirigido al tema del manejo de residuos mediante el reciclaje y la recuperación a partir de un marco legal y fiscal sólido, otro énfasis se puso en la categoría de educación, proporcionar información y concientizar a la población, así como la intervención en plataformas de colaboración y apoyo a la innovación.

En 2020 se reforzó la estrategia del Pacto Verde con la publicación del Nuevo Plan de Economía Circular dando un sentido transversal a sus objetivos y colocando como eje el crecimiento sostenible para acelerar la transición hacia un modelo de crecimiento regenerativo basado en la reducción del impacto ambiental desde el diseño de los productos, y promoviendo principios de sostenibilidad como: la durabilidad, la reutilización y la reparación de los productos; aumentar de materiales reciclados en el diseño y la producción;

fomentar la re fabricación y el reciclado; limitar los productos de un solo uso y de obsolescencia prematura; promover la sustitución de productos por servicios; potenciar la digitalización; y recompensar los productos circulares, todo ello con el fin de reducir la huella ecológica y de carbono. El avance en paralelo de las distintas categorías de política pública ha permitido que esta región se posicione a la cabeza de los avances en materia de EC.

En el caso de la región Latinoamericana, la EC se ha enfocado en el desarrollo de nuevos productos y procesos desde la lógica de la recuperación, el reúso y el reciclaje lo cual se explica por las condiciones de pobreza y desigualdad social, que les exige el máximo aprovechamiento de sus recursos. El reciclaje informal y la reutilización de diversos productos es parte de la cultura y prácticas de sectores importantes en esta región. En ese contexto se ha hecho indispensable el desarrollo de instituciones formales (leyes, programas, proyectos, financiamiento y organismos públicos) en estos países para crear un marco adecuado que integre políticas públicas basadas en enfoques sistémicos y orientadas hacia la sustentabilidad, que promuevan la coherencia de las estrategias nacionales con los principios de la economía circular. Cerna, *et al.*, (2019), señalan que hasta el año 2019 se habían identificado en América Latina 80 iniciativas públicas de economía circular (Tabla 1).

Tabla 1. Iniciativas públicas de economía circular en América Latina

País	Iniciativas	País	Iniciativas
Chile	17	Colombia	3
Perú	8	Puerto Rico	3
Ecuador	7	República Dominicana	3
Argentina	6	Bolivia	2
Costa Rica	5	México	2
El Salvador	4	Nicaragua	2
Panamá	4	Cuba	1
Paraguay	4	Guatemala	1
Uruguay	4	Honduras	1
Brazil	3	Venezuela	0

Recuperado de: Cerna, L., Aravena, A., Castello, N. y Urrutia, R. (2019).

Desde hace muchos años, existen varios emprendimientos y experiencias de empresas con características de economía circular que han surgido en varios de estos países por incentivos de mercado y eventualmente por algún apoyo público, pero esto último no ha sido sistemático. De modo que es a través de la revisión de las políticas y programas públicos que se han instrumentado a diferentes niveles (federal, regional o local) y de manera diferenciada en los distintos países de la región, que se puede hacer una aproximación para identificar el grado de comprensión y avance en el impulso a la EC entre los ocho países que han publicado el mayor número de documentos relacionados con el tema.

Diseño metodológico

Para cumplir con los objetivos planteados en este documento, la metodología de este trabajo se basa en la revisión de diversos artículos que analizan, por un lado, la ruta seguida hacia la sustentabilidad y por otro el debate en torno a los aportes de las nuevas propuestas para tal fin, centrado en el concepto de la economía circular. Una segunda parte corresponde a la identificación y análisis de documentos oficiales de política pública de ocho países latinoamericanos, que se obtuvieron mediante el uso de herramientas de búsqueda, para la extracción y análisis de leyes, programas y estrategias de economía circular utilizando la herramienta de minería de textos.

A partir de la búsqueda sistemática de leyes, programas y estrategias de EC, se identificaron ocho países que ofrecen una mayor cantidad de documentos enfocados a transitar hacia modelos más sustentables y circulares, y se utilizaron dichos documentos oficiales para el análisis a través de la minería de texto.

La minería de texto se define como “la aplicación de algoritmos y métodos de los campos del aprendizaje de máquina y la estadística sobre los textos con el objetivo de encontrar patrones útiles” (Vidhya y Aghila, 2010, p. 613). La minería de texto es una herramienta empírica que tiene la capacidad de identificar a partir de una colección de documentos los temas implícitos y que son desconocidos mediante la implementación de herramientas para mostrar la frecuencia de términos y su nivel de asociación (Gupta y Lehal, 2009; Manzano, *et al.*, 2019).

Una vez que se construyó la base de documentos a analizar de los cuatro países, las herramientas de análisis fueron implementadas en el cuerpo



completo de cada documento. Las herramientas de minería de texto utilizadas fueron: *Word Cloud* o nube de palabras, coeficiente de asociación y n-gramas.

La nube de palabras permite detectar palabras claves (por su frecuencia de aparición en el conjunto de documentos analizados) y presentarlas de forma visual. Si un término es relevante dentro de la *Word Cloud*, puede ser considerada como clave en los documentos estudiados mientras más frecuente sea en ellos, por lo que describe una relación positiva entre importancia de un término dentro de un texto y la frecuencia con la que fue utilizado:

$$I=f(A)$$

La identificación de palabras clave en la *Word Cloud* permite calcular el grado de asociación con otras palabras dentro del grupo de documentos, mediante el coeficiente de asociación. Este coeficiente determina la distancia entre dos palabras y su obtención es mediante el método euclidiano:

$$r=\text{deuc}X,Y=\sqrt{i=1n(Xi-Yi)^2}$$

Donde X es la palabra más importante dentro de la *Word Cloud*, y Y la palabra con la que se busca saber su grado de asociación. El coeficiente de asociación, r , oscila entre 0 y 1. Un r tiende a 1 señala una alta asociación entre x y y , mientras que uno que tiende a 0 una disociación.

El n-grama es una herramienta utilizada en la minería de textos que incorpora los resultados de la *Word Cloud* y el coeficiente de asociación para proporcionar conjuntos n de palabras, elegidas de acuerdo con los objetivos del investigador. La creación de estos n-gramas reúne dos condiciones: i) coeficientes de asociación cercanos a 1, y, ii) altas frecuencias de aparición en el conjunto

de documentos, esto indica que su cercanía y frecuencia dentro del texto conllevan alta importancia para el mismo (Manzano *et al.*, 2019, p. 9).

La siguiente sección presenta los resultados obtenidos en las tres herramientas desarrolladas para la minería de texto mediante la utilización de algoritmos para cómputo estadístico y gráfico R.

Análisis y discusión de resultados

Análisis de la minería de textos

El análisis de minería de textos se realizó procesando 35 documentos en español de ocho países, Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, México y Perú. Aunque Brasil es otro país que mostró indicadores favorables y también destaca por el impulso a la construcción de una institucionalidad a favor de la EC, no fue posible considerarlo por la distorsión que se generaba en el modelo al correr documentos en otro idioma.

La nube de palabras generada (Imagen 2) a partir del análisis de las 185,836 palabras o términos del grupo de documentos analizados, muestra que las dos palabras más destacadas son "Residuos" y "Gestión", también aparecen, en un segundo nivel, las palabras: manejo, ambiental, sólidos, disposición y aprovechamiento. Este resultado permite identificar elementos que definen el concepto y el objetivo de la economía circular en los países analizados, se intuye que el enfoque apunta hacia un manejo y gestión más eficiente de los residuos que es una parte esencial dentro de la EC. Sin embargo, en la revisión de los documentos relativos a política planes y programas de los países de

Tabla 2. Coeficientes de Asociación

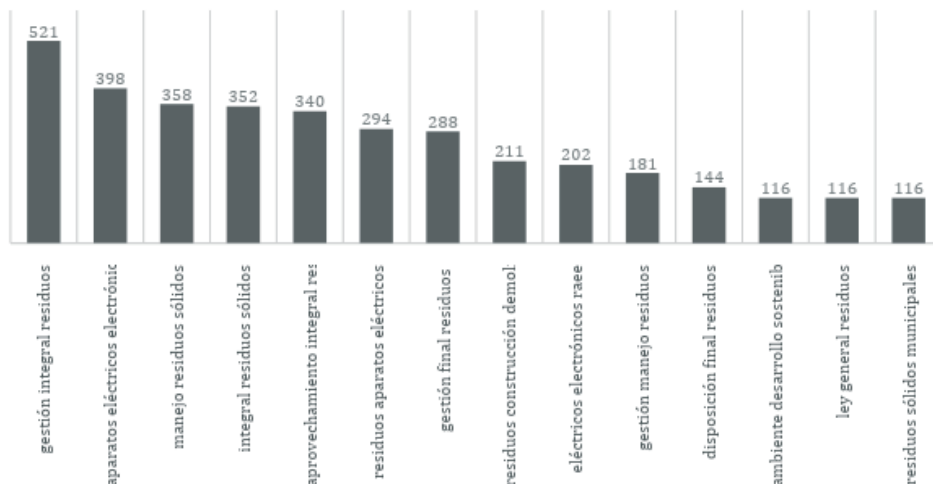
Términos con mayor asociación	Coefficiente de asociación
Sólidos	0.9118
Manejo	0.9021
Nacional	0.9021
Ambiental	0.8924
Municipales	0.8924
Disposición	0.8633
Integral	0.8536
Aprovechamiento	0.8439
Sectorial	0.8439
Gestión	0.8148
Final	0.8148
Ley	0.7178

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que arroja el n-gram presentado en la Gráfica 1, muestran una clara complementariedad con los hallazgos antes señalados. Al aplicar esta última herramienta se observa que los temas más utilizados y que se combinan en los documentos son: gestión integral residuos, gestión manejo de residuos, gestión residuos sólidos, integral residuos sólidos y manejo residuos sólidos. Estas asociaciones de palabras son las más recurrentes en los documentos oficiales que se revisaron de los ocho países analizados.

Otros temas que también están presentes en los documentos indican la relevancia de los residuos eléctricos y electrónicos, ya que se repiten en diferentes formas: aparatos electrónicos y eléctricos, eléctricos electrónicos rae y residuos aparatos electrónicos, como se observa en la Gráfica 1.

Gráfica 1. N-gram frecuencia



Fuente: Elaboración propia.

Reflexiones Finales

Los avances que se tienen en América Latina respecto de EC distan mucho de las iniciativas que han encabezado los países que lideran estas tendencias, como son los países de la UE. El rol del reciclaje, la reutilización y la reducción es limitado en los planes, leyes y programas analizados, donde se centran en la gestión de los residuos sólidos y en los electrónicos. En cuanto a las iniciativas públicas como planes y programas específicos de economía circular existen muy pocas propuestas a nivel nacional en los países de la región.

En este escenario, más o menos generalizado, destacan los ocho países que fueron analizados a mayor profundidad con la herramienta de minería de textos. Sobre la información disponible se puede concluir que en estos

países predomina la tendencia a legislar sobre el tema de residuos lo que ha dado lugar a un mayor número de documentos oficiales (planes, programas, etc.) que apunta más hacia la EC, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, México y Perú reportan una propuesta a nivel nacional. y el resto más bien se han generado documentos de cobertura local en ciudades o regiones muy concretas, por tanto, no predomina una línea clara de carácter nacional que impulse sólidamente esta vía en toda la región.

Referencias

- Braungart, M., McDonough, W., y Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions—a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of cleaner production*, 15(13-14), (pp. 1337-1348).
- Carrillo, G. (2015). Crecimiento verde vs. metabolismo social. En: J.M. Corona (Coord.), *Desarrollo Sustentables. Enfoques, políticas, gestión y desafíos*. UAM, México. (pp. 83-104). ISBN: 978-607-28-0377-0.
- Cerna, L., Aravena, A., Castello, N. y Urrutia, R. (2019). *Economía circular y políticas públicas: Estado del arte y desafíos para la construcción de un marco político de promoción de economía circular en América Latina*, Konrad- Adenauer-Stiftung, <https://www.kas.de/es/web/energie-klima-lateinamerika/einzeltitel/content/economicircular-y-politicas-publicas>
- Chatham, H. (2020). *Circular Economy Earth*. (The Royal Institute of International Affairs) Recuperado el 16 de julio de 2020, de Circular economy policy map and waste dashboard: <https://circulareconomy.earth/>
- Domenech, T. y Bahn, B. (2019). Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States, *Ecological Economics*, Vol. 155, Elsevier, Amsterdam, (pp. 7-19).
- Drummond y Lotti, (2019). Policies for a circular economy en Ekins, P., *et al.*, The Circular Economy: What, Why, How and Where, Background paper for an OECD/EC Workshop. On 5 July series *Managing environmental and energy transitions for regions and cities*, Paris.
- EMF. (2015). *Delivering the Circular Economy: A Toolkit for Policymakers*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>
- European Commission. (2015). *Closing the Loop – An eu action plan for the Circular Economy*, European Commission, Brussels
- Ekins, P., Domenech, T., Drummond, P., Bleischwitz, R., Hughes, N. y Lotti, L. (2019). The Circular Economy: What, Why, How and Where, Background paper for an OECD/EC Workshop on 5 July 2019 series “*Managing environmental and energy transitions for regions and cities*”, Paris.
- Gupta, V., y Lehal, G. (2009). A survey of text mining techniques and applications. *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, 1(1) (pp. 60-76), August, 1(1), (pp. 60-76).
- Kirchherr, J., Reike, D., y Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, (pp. 221-232).
- Manzano, F., Martínez, N., y Rivera, D. (2019). ¿Qué temas integran la innovación social?: Un análisis de la literatura a través de minería de texto. En *Innovación social: Desarrollo teórico y experiencias en México 2*. *Foro Consultivo Científico y Tecnológico*. (pp. 17-26). México.

- McDowall, W., Geng, Y., Huang, B., Bartekova, E., Bleischwitz, R., Turkeli, S., Kemp, R., Domenech, T. (2017). Circular Economy Policies in China and Europe. *Journal of Industrial Ecology*. 21 (3), pp. 651–661.
- OCDE. (2011). *Hacia el crecimiento verde. Un resumen para los diseñadores de políticas*. www.ocde.org/greengrowth
- PNUMA. (2011). *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Síntesis para los encargados de la formulación de políticas*; Ed. ONU. Francia. www.unep.greeneconomy
- Sauvé, S., S. Bernard and P. Sloan (2016). Environmental sciences: sustainable development and circular economy: alternative concepts for trans-disciplinary research, *Environmental Development*, Vol.17, pp.48–56.
- Vidhya, K., y Aghila, G. (Diciembre de 2010). Text minning process, techniques and tools: an overview. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2(2), (pp. 613-622).

Anexo 1.

Lista de documentos para el análisis de minería de texto.

País	Documento	Resumen
Argentina	Ley 13868 bolsas plásticas	Prohíbe el uso o la venta de bolsas de plástico no biodegradables en los supermercados y otros centros comerciales de Buenos Aires.
	Estrategia Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos 2005-2025	La política sectorial del gobierno argentino está definida en la Estrategia Nacional de Gestión de Residuos Sólidos. Se rige por los principios de preservación de la salud pública, preservación del medio ambiente y eliminación sostenible de los residuos.
	Ley Nacional N° 24.051 sobre residuos peligrosos generados por la industria	La Ley 24.051 regula la gestión de los residuos peligrosos generados por las actividades industriales y de servicios, incluidos los residuos de los establecimientos sanitarios.
	Ley Nacional N° 25.916 de gestión de residuos domésticos	La Ley 25.916 establece los requisitos mínimos de protección ambiental en materia de gestión de residuos domiciliarios. Si bien esta ley es obligatoria, las provincias pueden dictar normas complementarias ya que tienen autoridad y poder de policía para la gestión de los residuos sólidos.
Chile	Ley Nacional N° 20.920 sobre Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida y Reciclaje	La Ley tiene como objetivo proteger la salud pública y el medio ambiente mediante la reducción de la generación de residuos, así como promover el reciclaje, la reutilización y otras formas de valorización. Además, introduce algunos conceptos nuevos para el diseño de productos, como el Ecodiseño, y aplica el Convenio de Basilea, que regula la importación, exportación y tránsito de residuos peligrosos.
	Ley Nacional N° 20.920 de Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida y Reciclaje	La Ley 20.920 establece un marco legal para la gestión de residuos, regulando la denominada "Responsabilidad Extendida del Productor", imponiendo así una nueva carga a los productores o primeros importadores de productos incluidos en una nueva lista de productos prioritarios.
	La Ley Nacional N° 21.100 prohibió el uso comercial de bolsas de plástico	La Ley Nacional 21.100 tiene como objetivo proteger el medio ambiente mediante la prohibición del uso comercial de bolsas de plástico para compras en todo el territorio nacional.
	Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040	El objetivo general de la hoja de ruta es lograr una economía circular regenerativa que facilite el desarrollo sostenible, la gestión responsable de los recursos naturales, la producción y el consumo sostenibles, y la creación de empleos verdes y oportunidades para las empresas en todo Chile para el año 2040. Existen varios objetivos específicos para la creación de empleo, el reciclaje, la gestión de residuos y la productividad de los materiales, con puntos de control en 2030.

Continúa en la siguiente página.

Colombia	Estrategia Nacional para la Economía Circular 2018-22	La estrategia relanzada en 2019 apunta a un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de los ciclos de los materiales, el agua y la energía, la creación de nuevos modelos de negocio y la promoción de la simbiosis industrial, con el objetivo de optimizar la eficiencia en la producción y el consumo de materiales y reducir la huella de carbono. Como parte de esta estrategia, el objetivo es aumentar la tasa de reciclaje y reutilización de los materiales de desecho, del 8,7% al 17,9% para 2030.
	Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2030	El objetivo principal es implementar la gestión integral de los residuos sólidos como política nacional social, ambiental y de salud, así como contribuir a la promoción de la economía circular, el desarrollo sostenible, la adaptación y mitigación del cambio climático.
	Ley N° 1672	La Ley 1672 establece los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) que incluya el principio de responsabilidad extendida del productor.
	Colombia: Estrategia Nacional de Bioeconomía (2020)	Promover el desarrollo socioeconómico del país, desde y para las regiones, a través del manejo eficiente y sostenible de la biomasa, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos para la generación de productos y procesos de alto valor agregado a través de la ciencia, la tecnología y la innovación.
Costa Rica	Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050	El plan proporciona una hoja de ruta para la transición del país a una economía baja en carbono, proporcionando estrategias de mitigación para todos los sectores de la economía. Incluye disposiciones sobre la gestión de residuos y la modernización del sector industrial mediante el diseño de productos "de la cuna a la tumba".
	Política Nacional de Producción y Consumo Sustentable 2018-2030	La Política Nacional abarca los siguientes sectores: agricultura, turismo, estilos de vida sostenibles, construcción, compras públicas y producción sostenible e incluye objetivos en torno al uso del enfoque de economía circular para crear parques industriales sostenibles y programas de educación para el sector manufacturero sobre economía circular.
	Plan Nacional Integrado de Residuos Sólidos 2010-2021	El plan contiene estrategias para orientar a las instituciones públicas, al sector privado y a las organizaciones sociales en materia de gestión de residuos.
	Ley de Gestión Integral de Residuos, N° 8839	La Ley N° 8839 reconoce el concepto de responsabilidad extendida del productor, donde los productores o importadores tienen la responsabilidad del producto a lo largo de su ciclo de vida, incluyendo las fases postindustrial y postconsumo. A los efectos de esta Ley, este principio sólo se aplica a los residuos de manejo especial.
	Ley de Gestión Integral de Residuos, N° 8839	La Ley N° 8839 fue puesta en vigor como ley marco nacional por el Ministerio de Salud en 2010. Entre otras estipulaciones, la Ley responsabiliza a los municipios de la gestión integral de los residuos generados en sus municipios, incluyendo la elaboración de planes de gestión de residuos sólidos que guíen sus acciones.
	Estrategia nacional para la sustitución de plásticos de un solo uso por alternativas renovables y compostables (2017-2021)	La estrategia proporciona directrices para el sector público, el sector privado y la sociedad civil sobre cómo eliminar los plásticos de un solo uso para 2021, sustituyéndolos por alternativas renovables y compostables. Como parte de la estrategia nacional, incluye la prohibición del poliestireno, prohibiendo la importación, comercialización y distribución de envases de poliestireno.

Continúa en la siguiente página.



	Pacto de Economía Circular	El Gobierno Nacional junto con representantes del sector privado, la academia y organismos internacionales han firmado un pacto por la economía circular, centrado en torno a nueve pilares temáticos: el aprovechamiento e industrialización de los residuos, el ecodiseño, la relación con la Academia, la producción limpia, la infraestructura sostenible y resiliente, la educación para promover patrones de consumo responsable, los negocios sostenibles, la sustitución progresiva de los plásticos de un solo uso y el desarrollo de indicadores.
Ecuador	Libro Blanco de la Economía Circular del Ecuador	El Libro Blanco de la Economía Circular para el Ecuador recoge los conceptos de la economía circular, proponiendo que se integre como parte del modelo de desarrollo regenerativo y restaurador para el país. El documento define las líneas estratégicas y las acciones propuestas para lograrlo. El documento se divide en 4 ejes principales: Política y Financiamiento; Producción Sustentable; Consumo Responsable; y, Gestión Integral de Residuos Sólidos.
	Programa Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos	El programa adopta un enfoque integral y sostenible para promover la gestión de los residuos sólidos en los municipios de Ecuador, con el objetivo de reducir la contaminación ambiental, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y promover la conservación de los ecosistemas.
	Política Nacional de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), Acuerdo Ministerial N° 190	Establece la prohibición de la quema y disposición final de equipos eléctricos y electrónicos en desuso que sean reciclables o tratables fuera del país.
	Plan maestro de gestión integral de residuos 2015-2025	El plan introduce estrategias basadas en el principio de cero residuos.
	Programa Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos	Tiene como objetivo establecer sitios de tratamiento para la disposición final de los residuos sólidos mediante el desarrollo de nuevas infraestructuras.
El Salvador	Guía técnica para la gestión integral de residuos eléctricos y aparatos electrónicos en El Salvador (GIRAEE)	Proporciona los lineamientos técnicos para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. La guía también indica los roles de los actores que participan en el flujo de RAEE.
	Ley Especial de Residuos Peligrosos	Regula la introducción, el transporte, la distribución y el almacenamiento de sustancias peligrosas. Actualizada en 2018.
	Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento del Reciclaje	La ley tiene como objetivo promover la reutilización de los residuos y garantizar una disposición final sanitaria y ambientalmente segura, con el fin de promover el modelo de economía circular. Este objetivo se logrará reduciendo la generación de residuos y promoviendo la reparación, reutilización y reciclaje. También incluye la formalización de microempresas y cooperativas para la gestión de residuos.

Continúa en la siguiente página.

México	Plan de Acción de la Ciudad de México para una Economía Circular	El plan tiene como objetivo el residuo cero a través de una serie de estrategias: la reducción de la cantidad de envases, la regulación para reducir los productos de un solo uso, la gestión adecuada de los residuos, incluyendo una mejor infraestructura, la creación de cooperativas y microempresas para la gestión de residuos, campañas de educación y la reducción de las emisiones en un 73%.
	Visión Nacional de Cero Residuos	La Visión Nacional tiene como objetivo transformar el modelo tradicional de gestión de residuos en un modelo de economía circular. En particular, sienta las bases y desarrolla los mecanismos e instrumentos para implementar un enfoque de economía circular que fortalezca la gestión sostenible de los materiales, con una visión de residuo cero.
	Plan de Gestión de Vehículos al Final de su Vida Útil	El Plan Nacional de Gestión de Vehículos al Final de su Vida Útil tiene como objetivo reducir el impacto ambiental negativo causado por la manipulación inadecuada de los vehículos al final de su vida útil y maximizar su valorización, estableciendo un esquema de responsabilidad compartida.
	La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	Tiene por objeto garantizar el derecho a un medio ambiente sano y promover el desarrollo sustentable a través de la minimización, valorización y gestión integral de los residuos peligrosos, residuos sólidos urbanos, así como prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y realizar su remediación. El artículo 5 incluye el concepto de responsabilidad compartida.
Perú	Hoja de ruta de la economía circular para la industria	La hoja de ruta contiene acciones que el Estado desarrollará para promover la transición a la economía circular. Esto incluye la promoción de fondos de innovación, la visibilización de buenas prácticas en economía circular, la creación de espacios de diálogo entre el sector público y el privado, y el apoyo al fortalecimiento de las acciones de economía circular en las micro, pequeñas y medianas empresas.
	Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos- PLANRES 2016-2024	El plan proporcionará un marco para la gestión integral de residuos a nivel nacional, convirtiéndose en un instrumento que permitirá articular los esfuerzos de los tres niveles de gobierno (nacional, regional y local), a través de lineamientos de política, metas medibles e indicadores.
	Decreto Supremo N° 014- 2019-EM	La norma cuenta con reglas claras sobre los procedimientos de evaluación de impacto ambiental e incorpora el concepto de economía circular, promoviendo la prevención, minimización, recuperación y valorización de los residuos sólidos de las actividades eléctricas.
	Ley N° 1278 de Gestión de Residuos Sólidos	Los productores, importadores y distribuidores deben utilizar productos y envases que utilicen normas de ecoeficiencia que minimicen la generación de residuos o permitan su valorización. Deben participar en los diferentes estados del ciclo de vida del producto.

Fuente: Elaboración propia con información de Chatham House, 2020.

MANIFESTACIONES DE LA ECOINNOVACIÓN: ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE CASO

*Sergio Solís Tepexpa**
*Hilda Teresa Ramírez Alcántara***
*Alfonso Tonatiuh Torres Sánchez****

Introducción

En un mundo basado en el mercado que ha propiciado el consumo desenfrenado, principalmente en los países desarrollados, empiezan a surgir algunas iniciativas que desde el enfoque de la ecoinnovación, proponen mejores tecnologías medioambientales que miden, detectan y tratan la contaminación, la evitan en su origen y garantizan que el producto final tenga una vida útil con un impacto medioambiental mínimo. En este sentido Rennings (2000) plantea que las dimensiones "ecológica, económica y social"

* Profesor-Investigador del Departamento de Producción Económica, UAM-Xochimilco.

** Profesora-Investigadora del Departamento de Producción Económica, UAM-Xochimilco.

*** Doctorante en Estudios Organizacionales, UAM-Iztapalapa.

de la ecoinnovación exigen un enfoque interdisciplinario combinado con las ideas de economía medioambiental, innovación, los cambios organizativos y sociales para mejorar la competitividad y sostenibilidad.

El presente trabajo tiene como objetivo identificar y analizar a través de estudios de caso las diversas manifestaciones de la ecoinnovación en países europeos y en México con el fin de determinar las similitudes y diferencias. La metodología utilizada se basa en la investigación documental. La estructura del trabajo se divide en tres partes: una revisión conceptual sobre ecoinnovación; el análisis de los casos seleccionados de ecoinnovación en México y Europa; por último, la identificación de las similitudes y diferencias de dichos casos. Estos fueron seleccionados bajo la directriz de la ecoinnovación, con base en los siguientes criterios que brindaran solución a una problemática o necesidad inmediata a través de la ecoinnovación, que tuvieran un enfoque sustentable y que contribuyeran a la mejora en la calidad de vida.

La conclusión general es que los casos de México exigen de procesos innovadores, de un carácter frugal, de la creación de procesos socialmente inclusivos, de la satisfacción de las necesidades locales y del respeto al medio ambiente; pero faltan políticas públicas para el combate de la crisis económica, social y ambiental, así como, el fomento a la salvaguarda y rescate de las comunidades. En contraste, para los europeos, las ecoinnovaciones se originan desde una visión de mercado y buscan un “consumo sustentable”, lo que facilita la relación empresas-universidades-gobierno generando productos o servicios que disminuyan las huellas del ser humano en el medio ambiente. Como ya se mencionó, lo que hace converger los casos es la ecoinnovación, y con ello, la conservación de los recursos naturales con menor impacto en el medio ambiente.

Ecoinnovación

La OCDE (2011) plantea que en el ámbito verde es necesario un crecimiento y desarrollo económico paralelo al aseguramiento de los bienes naturales que proporcionen los recursos y servicios ambientales necesarios para nuestro bienestar, a partir de una alta productividad, la innovación y el aprovechamiento de los nuevos mercados. En este contexto, la presencia de las ecoinnovaciones se vuelve esencial para alcanzar el objetivo de minimizar el impacto de la producción en el medio ambiente. Según Hazarika y Zhang (2019), la ecoinnovación enfatiza el logro de un consumo mínimo de recursos naturales y la degradación mínima del medio ambiente. Es importante mencionar que las teorías sobre ecoinnovación surgen en el ámbito empresarial y se identifica como las oportunidades estimuladas por políticas y contextos específicos que dan paso a nuevas formas de crear valor y atender los problemas ambientales.

Asimismo, la ecoinnovación surge a partir de la categorización del debate ambiental que ha evolucionado desde la perspectiva tecnocéntrica y se dirige a lo ecocéntrico.² Por lo que se identifica que los estudios sobre ecoinnovación han avanzado desde una visión tecnológica a una relación entre el hombre y la naturaleza con una perspectiva política, cultural y social, por lo tanto, “las ecoinnovaciones desde lo local toman otro sentido, como un medio para el crecimiento económico, la cohesión social y la preservación de los recursos naturales, y no con un fin meramente lucrativo” (Carrillo, Ríos, *et al.*, 2020,

² De acuerdo con Hazarika y Zhang (2019), el *tecnocentrismo* se concentra en el desarrollo tecnológico que es capaz de proveer un desarrollo sostenible ... una solución eficiente para superar las deficiencias ambientales y como una herramienta para la modernización de las empresas sin afectar el medio ambiente. Por su parte el *ecocentrismo* corrige los desequilibrios entre el hombre y la naturaleza mediante la mejora del conocimiento y la información (2019, p. 66).

p. 223). Sin embargo, aún con la evolución del concepto, persiste la idea de fomentar la ecoinnovación desde un punto empresarial-lucrativo, otorgando un peso menor a sus aportaciones al bienestar social. Algunas definiciones del concepto se observan en la siguiente Tabla.

Tabla 1. Concepto de ecoinnovación

Autor	Concepto
Comisión Europea, 2011, p. 3.	Es cualquier forma de innovación que persiga un avance significativo y demostrable hacia el objetivo del desarrollo sostenible, mediante la reducción de las repercusiones negativas sobre el medio ambiente, mejorando la resistencia a las presiones medioambientales, o mediante la consecución de un aprovechamiento más eficiente y responsable de los recursos naturales.
Oliver-Solá, Farreny y Cormenzana, 2017, p. 10.	Es una aproximación que aspira a dar respuesta a los retos ambientales y a aprovechar las oportunidades de negocio, incorporando cambios en toda la empresa, desde el modelo de negocio y la estrategia empresarial, hasta el diseño de los productos, los servicios y los procesos productivos considerando toda la cadena de valor.
Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2017, p. 15.	Es un proceso que, actuando en el ámbito de la cadena de generación de valor de una empresa, puede programar un cambio sistémico en la misma. Puede contribuir de manera considerable al desarrollo sostenible en el mercado y la sociedad.
Carrillo, Ríos, <i>et al.</i> , 2020, p. 222.	Se posiciona también como un fenómeno a contracorriente de la tendencia dominante de las políticas públicas, en un acto de resistencia social y surge en un escenario donde se hace presente la intervención de grupos de poder local enmarcados en las instituciones formales e informales que actúan en detrimento de los avances de las propias organizaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En este contexto, Oliver-Solá, Farreny y Cormenzana (2017) proponen cuatro criterios para el desarrollo de las ecoinnovaciones en las empresas: capacidad de reconocer la importancia de los retos que la sostenibilidad plantea para su sector a largo plazo; tomar medidas para convertir estos retos en oportunidades; la necesidad de liderazgo, una cultura empresarial abierta y receptiva, y adoptar una visión más holística de su actividad bajo un enfoque de ciclo de vida. Si bien la visión de los criterios es empresarial, pueden ajustarse a la realidad de las organizaciones rurales que tienen como fin común el bienestar y desarrollo local. Una forma de sintetizar todo lo anterior lo proponen Carrillo y Villavicencio:

El concepto de ecoinnovación cobra relevancia porque refiere la adopción de tecnologías, procesos, productos o servicios innovadores en un espacio geográfico definido, desde una perspectiva ambiental, cuyas motivaciones devienen de la creatividad o del avance científico, pero también de la necesidad de resolver problemas inmediatos de la población a una escala masiva o local. (2020, p. 18).

Asimismo, para lograr resolver problemas locales, se requiere de la colaboración entre sectores y las cadenas de generación de valor ofrecen formas más amplias de ecoinnovación, lo que puede dar lugar a la transformación de los sistemas de consumo y producción, pero también se requiere de políticas públicas y regulaciones estatales, una creación de cultura ambiental, el fomento de la responsabilidad empresarial y la modificación de los patrones de consumo, todo esto es posible con la ecoinnovación (PNUMA, 2017). Otro aspecto importante para este trabajo es la identificación del nivel, grado o tipo de ecoinnovación, que permita visualizar con mayor precisión el alcance de los diferentes

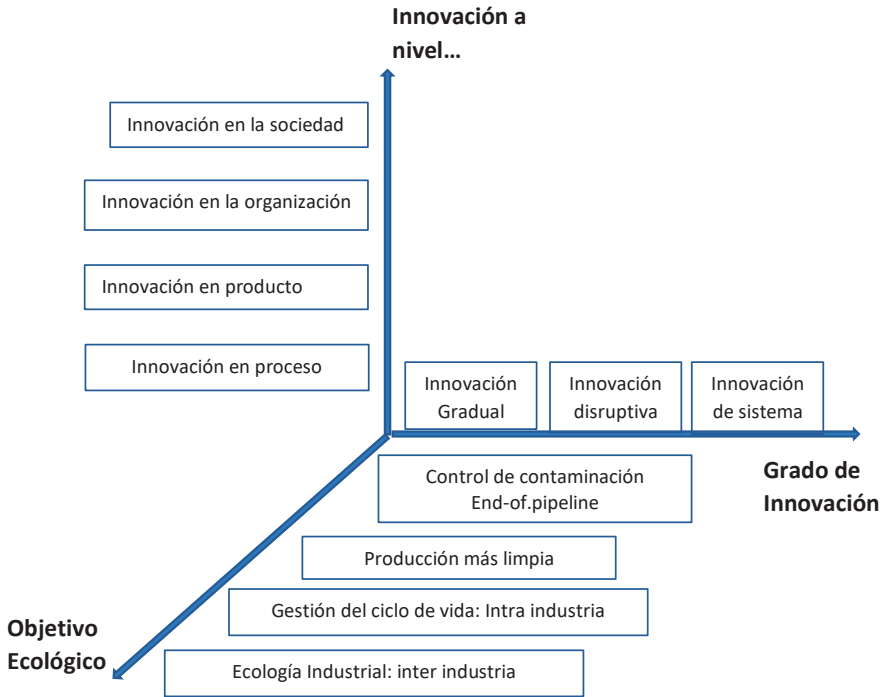
desarrollos encontrados en los casos que se presentan más adelante. Para ello se utiliza el modelo desarrollado por Demirel y Kesidou (2011), que incluye las siguientes características específicas de cada tipo de ecoinnovación:

- a) Tecnologías de control de la contaminación de final de línea. Estas soluciones tecnológicas se incorporan a los procesos de fabricación existentes en la fase final y no son partes esenciales del proceso de producción. Las tecnologías de final de línea dejan el proceso de producción prácticamente sin cambios; por lo tanto, se consideran innovaciones incrementales.
- b) Tecnologías integradas de producción más limpia. Este tipo de ecoinnovación hace referencia a instalaciones de producción nuevas o modificadas, que son más eficientes que las tecnologías anteriores y contribuyen a la reducción de la contaminación al reducir la cantidad de insumos utilizados para la producción y/o al sustituir los insumos por alternativas más respetuosas con el medio ambiente. Otro aspecto importante es que las tecnologías integradas son menos costosas en comparación con el continuo aumento de los costes de las tecnologías de final de línea, ya que tienen el potencial de ahorrar costes al reducir el uso de materias primas, energía y los costes de cumplimiento de la normativa.
- c) I+D medioambiental. Su principal objetivo es mejorar los productos y procesos aportando soluciones para una producción y un consumo más limpios. Este tipo de ecoinnovación tiene un mayor impacto tecnológico en comparación con las otras categorías debido a: 1) mejora la capacidad de absorción, ya que la I+D medioambiental amplía los horizontes de la empresa en materia medioambiental y, 2) el alcance de la I+D medioambiental no se limita a las innovaciones de proceso, sino que también abarca las innovaciones de producto.

Si bien, la tipología anterior ayuda a identificar de manera más general las iniciativas o desarrollos de la ecoinnovación, Dong Y. *et al.* (2013), retoman las clasificaciones de Rennings (2000), Laurentis y Cooke (2008) y Oltra y Saint (2009), Reid y Miedzinski (2008) y MEI (2007) para desarrollar su propio instrumento de análisis. En este modelo de análisis es posible visualizar las tres dimensiones: innovación a nivel, grado de innovación y objetivo ecológico (Figura 1). En la primera dimensión las innovaciones están ubicadas a nivel de proceso, producto, organización o sociedad; en la segunda, se clasifica como innovación gradual, disruptiva y de sistema; y en la tercera se clasifica a partir del objetivo ecológico de la innovación y para ello se tienen cuatro niveles: control de contaminación *end-of-pipeline*,³ producción más limpia, gestión ciclo de vida (intra-firma) y ecología industrial (inter-firma). A partir de estas dimensiones y sus respectivos cruces es posible tipificar a alguna ecoinnovación que se encuentre ya en función.

³ Métodos utilizados para eliminar los contaminantes ya formados de una corriente de aire, agua, residuos, productos o similares. Estas técnicas se denominan "*end-of-pipeline*", ya que normalmente se aplican como última etapa de un proceso antes de que el flujo sea eliminado o entregado.

Figura 1. Dimensiones de las características de la Ecoinnovación



Fuente: Traducido y retomada de Dong, Y. (2013).

En contraste a estos tipos de ecoinnovación se encuentran las innovaciones locales o de base, que son aquellas capaces de satisfacer las necesidades inmediatas de comunidades marginadas manteniendo el aseguramiento de los recursos naturales. De acuerdo con Pansera y Sarkar (2016), las innovaciones locales son llevadas a cabo no por grandes empresas sino por aquellos miembros de las comunidades que carecen de educación formal, pero que al mismo tiempo poseen conocimientos tradicionales y tecnológicos suficientes para vivir y trabajar en entornos miserables. Al implementar las innovaciones

de base no sólo se satisfacen las necesidades de los consumidores, también logran impactar en el nivel de vida de los habitantes de las comunidades innovadoras al ser más productivos, sostenibles y reducir los niveles de pobreza (Pansera y Sarkar, 2016). En este sentido, la visibilización de las manifestaciones, características y factores específicos de las innovaciones en diferentes contextos han permitido definir los conceptos de ecoinnovación y los vínculos con la sustentabilidad tales como: *"la innovación frugal o innovación de base"* (Bound y Thornton 2012; Radjou, *et al.*, 2012), que se caracterizan por la generación de soluciones funcionales y accesibles para satisfacer necesidades y resolver problemas con recursos escasos, es decir, se redefine el modelo tradicional de producción para atender a las necesidades de los usuarios con bajo poder adquisitivo y con la posibilidad de ser un negocio escalable. La *"innovación grassroots"* aporta elementos de los modelos: sustentabilidad, conocimiento, trabajo en redes y creatividad de las comunidades. Y es a partir de este marco teórico que en el siguiente apartado se realiza la exploración de estudios ecoinnovadores de países desarrollados y de México con el propósito de identificar sus similitudes y diferencias a partir de elementos y características de innovación.

Estudios de las manifestaciones de la ecoinnovación

En esta sección se presentan seis estudios de caso de diversas manifestaciones de la ecoinnovación, tres de México y tres de Europa. Se utilizan ejemplos europeos ya que es la región del mundo donde el concepto y desarrollo de actividades, productos y servicios alrededor de la ecoinnovación se ha impulsado con mayor fuerza. Los casos en México son para contrastar la visión



europea con las iniciativas latinoamericanas. La elección de los casos fue a través del análisis documental y considerando que tuvieran a la ecoinnovación como uno de sus atributos o variables principales. Los casos mexicanos son: productores de maíz del estado de Guerrero, productores de hortalizas del estado de Durango y agricultores del estado de México. Los casos de ecoinnovación europeos son: la empresa Waydip, la Startup portuguesa; la empresa ECOR que se unió a DSM-Niaga, una Startup holandesa y la empresa Ecoalf (*Upcycling worldwide*) empresa española.

Estudios de ecoinnovación mexicanos

A. Productores de maíz de Tlalcozotitlán Guerrero. El caso se desarrolla en la localidad de Tlalcozotitlán, Guerrero, cuya actividad económica más importante es el cultivo del maíz para el autoconsumo. Un problema crítico de la localidad era el aumento de la incertidumbre ocasionado por las prácticas de cultivo, los cambios climáticos, el estrés hídrico, la incidencia de plagas como el gusano cogollero y el bajo nivel tecnológico. Ante dicha situación, los campesinos de Tlalcozotitlán aplicaron el modelo de Escuelas de Campo (ECA), que consiste en dar capacitación a los productores-promotores, el cual tiene siete componentes tecnológicos en las etapas de: el cultivo (pepitilla y testigo Dk), inoculación de semillas con micorriza e insecticida, abonos orgánicos (elaboración y aplicación de abono orgánico (*bocashi*)), fertilización, control de plagas (instalación de trampas con feromonas y trichogramma para el monitoreo y control del gusano cogollero), extracto vegetal y caldo mineral y selección de maíz (método de selección masal). En total capacitaron a 30 productores hombres, 50% de ellos con terreno ejidal y el resto con terreno comunal, donde el cultivo es asociado en un 30% y 70% es monocultivo.

Para la siembra, 27% utiliza el tractor y 77% la yunta, asimismo, 80% de los productores utiliza fertilizantes químicos y 30% herbicidas y control de plagas (Noriega *et al.*, 2019). La Tabla 2 muestra de manera sintética los resultados de la ecoinnovación de procesos implementada por los productores de maíz de la región a través prácticas agroecológicas del modelo ECA.

Tabla 2. Ecoinnovación: productores de maíz en Tlalcozotitlán, Guerrero

Objetivo	Ecoinnovación: implementación de prácticas agroecológicas	Resultados	Impactos
Incrementar al menos 20% de la producción de maíz por unidad de superficie.	Cultivo de maíz a través del modelo de Escuelas de Campo (ECA).	Incremento en 126% en dos el rendimiento de grano de maíz. Implementación de los cambios en los ciclos de primavera-verano 2017-2018. Adopción del 39% en los componentes de abonos orgánicos, extractos vegetales y caldos minerales.	Se adquirieron nuevas habilidades, competencias y conocimientos. Las tecnologías agrícolas introducidas contribuyeron al bienestar y a la disminución de la pobreza de los productores rurales. Disminuyó el costo de preparación y favoreció el empleo familiar. Incremento del rendimiento de maíz por unidad de superficie en 2.036 t/ha.

Fuente: elaboración propia con base en Noriega, Vásquez, Morales, Martínez, Salinas Cruz y Contreras, 2019.

Como se observa, este caso es posible identificarlo como innovación frugal y de base, ya que nace desde los campesinos el aprendizaje del modelo ECA para cultivar maíz, mejora el rendimiento por unidad de superficie en 2.036 t/ha. además, se realiza una combinación de conocimientos ancestrales y nuevos, con impactos en: disminución de la pobreza, reducción en los costos de producción, empleo, productividad y bienestar local. Adicionalmente dichas mejoras en las prácticas agroecológicas son amigables con el medio ambiente, es decir, buscan atender una problemática sin dañar o agotar los recursos naturales, lo cual le aproxima a la perspectiva de las ecoinnovaciones.

B. Bioinsecticidas para el control de plagas de hortalizas en Súchil, Durango.

El caso se desarrolla en la localidad de Súchil, Durango, donde los campesinos se dedican a la producción de hortalizas para el autoconsumo, sin embargo, sufrían de una plaga de insectos durante el ciclo agrícola afectando la producción (Gutiérrez y Maldonado, 2010). Para dar solución al problema, los campesinos elaboraron bioinsecticidas a base de hongos entomopatógenos y se capacitó a los productores de las comunidades en la producción artesanal y el uso adecuado de bioinsecticidas para cultivos de traspatio (Gutiérrez y Maldonado, 2010). En este proceso se consideró importante la inocuidad alimentaria y los sistemas de producción rural sustentable, ligados a la agricultura orgánica y la producción de alimentos libres de residuos de plaguicidas.

La Tabla 3 muestra los resultados de la innovación de los productores de hortalizas en la región de Súchil, Durango, que son: la capacitación a 30 productores cooperantes del ejido de San José para la elaboración artesanal de bioinsecticidas y el propio bioinsecticida a base de hongos y arroz amigables con el medio ambiente.

Tabla 3. Ecoinnovación: productores de hortalizas en Súchil, Durango

Objetivo	Ecoinnovación: Producción de bioinsecticidas	Resultados	Impactos
Elaborar y evaluar bioinsecticidas para el control de diversas plagas. Capacitar a los productores de las comunidades rurales en la producción artesanal y el uso adecuado de bioinsecticidas.	Obtención de las cepas de hongos del CIIDIR-IPN. Preparación del sustrato con granos de arroz quebrado sin cascara. Inoculación del hongo con el arroz y reposo en una sala de germinación y crecimiento para aumentar las esporas sobre cada bolsa y obtener el producto deseado.	Realización de un diseño experimental de parcelas de pequeños productores de hortalizas de 200 a 500 m ² . Se aplican bioinsecticidas como <i>bassiana</i> , <i>anisopliae</i> , <i>fumosoroseus</i> y agua de pozo en un intervalo de 15 días por aplicación. Impartición de asesorías a productores del ejido de San José, Durango a través del Programa de Capacitación a Productores Cooperantes (PCPC).	Los productores ahorran 5 veces más al utilizar bioinsecticidas. Producción de hortalizas orgánicas libres de plaguicidas. Los productores controlaron las principales plagas en los cultivos de hortalizas. El PCPC motivó a los productores a producir y aplicar bioinsecticidas.

Fuente: Elaboración propia con base en Gutiérrez y Maldonado (2010).

En este caso, la innovación es de productos, frugal y de base hecha por los afectados a través de la producción y evaluación de bioinsecticidas que solucionaron el problema de las plagas en cultivos de hortalizas, y que son elaborados con los recursos de la comunidad: arroz y hongos. Esta ecoinnovación es amigable con el medio ambiente porque no daña los recursos naturales, y tiene impactos en la economía de los productores de



hortalizas, en la producción de hortalizas orgánicas, mayor posibilidad de comercio, control de plagas y la implementación de asesorías para que otros productores mejoren su calidad de vida y su alimentación.

C. Sistema de recolección y almacenamiento de lluvia-planta potabilizadora en el Ejido Tres Barrancas, Almoloya de Juárez, Estado de México. El proyecto se lleva a cabo en el Ejido Tres Barrancas, en Almoloya de Juárez, Estado de México, sin acceso a agua potable, ni energía eléctrica (Delgado, Púlido y Morelos, 2000), es decir, la problemática de esta comunidad rural es no tener acceso al agua potable, ni energía eléctrica para sus actividades agrícolas básicamente el cultivo de maíz. Los habitantes del Ejido Tres Barrancas innovaron los procesos para la recolección, almacenamiento y abastecimiento de agua potable para consumo humano y animal de esta comunidad. Los resultados son: la construcción de un estanque con un sistema de bombeo, coagulación, sedimentación, filtración y desinfección de aguas de lluvia, un sistema de potabilización, un área diseñada como bebedero para el ganado y un tanque de almacenamiento de agua potable al alcance de los pobladores de la comunidad rural (ver Tabla 4).

En este caso la innovación es un proceso de base y frugal, ya que fue creada por los pobladores afectados, generando una solución al problema de falta de agua a través de la construcción de una planta potabilizadora para garantizar el acceso al agua potable a los pobladores del Ejido Tres Barrancas, utilizando los recursos de la comunidad. En este caso la planta potabilizadora usa el agua de lluvia y no daña al medio ambiente, es decir, a la innovación se suman los criterios ambientales. El agua potable es para consumo de las personas y los animales, por lo tanto, también es posible identificar innovación

grassroots dado que surge desde un ámbito local, utiliza sus propios recursos y realiza actividades productivas, lúdicas y solidarias que no sólo tiene fines de lucro, sino que también busca mejorar las condiciones de vida de la gente en un espacio geográfico muy delimitado.

Tabla 4. Ecoinnovación: planta potabilizadora en el Ejido Tres Barrancas, Estado de México

Objetivo	Ecoinnovación: Planta potabilizadora	Resultados	Impactos de la innovación
Garantizar el acceso a agua potable a través de la construcción de plantas potabilizadoras de agua para consumo humano y animal.	<p><i>Sistema de colección y almacenamiento.</i> Diseño de un sistema de bombeo hidráulico utilizando energía limpia que separa aguas tratadas. Diseño de un bebedero para ganado que proviene de la bomba hidráulica. Construcción del sistema de abastecimiento y potabilización de agua de lluvia.</p> <p><i>Planta de tratamiento y desinfección.</i> El sistema empleado tiene como base las operaciones de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección con dispositivos de bajo costo y fáciles de operar. Para la mezcla rápida y el floculador se utilizaron tubos de PVC de diferentes medidas y posiciones para el tratado del agua. En la sedimentación se separan los mantos de lodos en la parte baja del sedimentador. En la filtración se elimina el floc que el dispositivo de sedimentación dejó pasar. Por último, se desinfecta el agua con hipoclorito de sodio dosificado por goteo.</p>	<p>Dotación de agua potable a pequeñas comunidades rurales de 200 habitantes.</p> <p>Construcción de un tanque de almacenamiento de agua potable para satisfacer las necesidades, usos y costumbres de los habitantes.</p>	<p>El costo de producción de la planta es más bajo que otras estrategias.</p> <p>La comunidad del Ejido Tres Barrancas tiene mayor acceso a agua potable.</p> <p>Mejóro la calidad de vida de los pobladores.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en Delgado, Púlido y Morelos (2000).



Estudios de ecoinnovación europeos

A. Sistema Waynergy Vehicles.⁴ La empresa Waydip es una startup portuguesa que ha trabajado en sistemas de captación de energía en el pavimento desde 2009. En 2014 desarrolló el sistema Waynergy Vehicles en colaboración con el Laboratorio de Mecánica de Pavimentos de la Universidad de Coimbra, el cual fue patentado en 2018. El sistema *Waynergy Vehicles* consiste en bloques de pavimento (en diferentes formas) con un mecanismo de generación de energía eléctrica que registra un pequeño desplazamiento en el eje vertical cada vez que un vehículo se mueve sobre ellos, lo que es suficiente para hacer funcionar el sistema electromagnético que genera energía eléctrica. Los bloques *Waynergy* son unidades de pavimentación de gran tamaño, entre 0.760 y 3.060 m², que pueden ser utilizados por los municipios en zonas urbanas para generar energía eléctrica para la iluminación pública, la publicidad exterior, los semáforos o el suministro eléctrico, o bien, pueden ser utilizados por empresas privadas en zonas con un alto volumen de tráfico motorizado (Véase Tabla 5).

Waynergy Vehicles fue diseñado para cosechar la máxima energía teniendo en cuenta el peso de los vehículos. Para maximizar la energía cosechada por rueda, se aumentó la superficie a 0,7 X 0,8 m², con ello se concluyó que con una configuración de dos generadores es posible convertir más energía cinética en energía eléctrica, y el prototipo se desarrolló utilizando este principio fundamental. Un prototipo fue instalado en el pavimento de la carretera de acceso al aparcamiento de la facultad de ingeniería de la Universidad de Beira Interior, lo que permitió probar la generación de energía eléctrica en este lugar.

⁴ <https://pavenergy.dec.uc.pt>

Tabla 5. Ecoinnovación: generación de energía limpia, Portugal

Objetivo	Ecoinnovación: Waynergy Vehicles	Resultados	Impactos
Generación de energía eléctrica limpia	Este sistema consiste en bloques con diferentes formas que pueden aplicarse en pavimentos de carreteras y calles, que contienen un mecanismo de generación de energía eléctrica que registra un pequeño desplazamiento en el eje vertical cada vez que un vehículo se mueve sobre los bloques, lo que es suficiente para hacer funcionar el sistema electromagnético que genera energía eléctrica.	Durante una hora pico, el sistema fue capaz de generar 37,800 J o 10.5 Wh. La energía eléctrica generada por varios módulos del sistema ubicados, por ejemplo, en badenes y reductores de velocidad, puede utilizarse no sólo para cargar las baterías de los vehículos eléctricos, sino también para el consumo general mediante la inyección en la red eléctrica o el uso directo por parte de equipos eléctricos, como el alumbrado público, los semáforos y la publicidad exterior.	Reducción en el consumo de energía eléctrica generada por combustibles fósiles. Obtención del grado de doctor del inventor Creación de la empresa PavNext con más de un sistema sustentable de generación de energía eléctrica.

Fuente: PAV energy (2016).
<https://pavenergy.dec.uc.pt> y Duarte (2017).

Resultados de las pruebas del prototipo de aplicación. Analizando todos los resultados, se pueden extraer las siguientes conclusiones (Duarte, *et al.*, 2016): En primer lugar, para un mismo peso, la energía eléctrica generada aumenta con la velocidad del vehículo, pero el aumento es menor para velocidades más altas. Cuanto mayor sea la rotación cuando la rueda trasera alcanza la superficie del prototipo, mayor será su potencia y su energía eléctricas. El mejor rendimiento del prototipo se obtuvo con vehículos que circulaban a 50 km/h, que es el límite de velocidad en las ciudades portuguesas. En segundo lugar, para la misma velocidad del vehículo, la energía eléctrica generada aumenta



con el peso del vehículo. Por ejemplo, a 50 km/h de velocidad del vehículo, el aumento de la energía eléctrica generada por un vehículo de 1350 kg en comparación con uno de 900 kg es de 37%. Para un vehículo que pesa 2000 kg comparado con uno de 1350 kg, el aumento de la energía eléctrica generada es de 114%. Por último, la potencia máxima generada por el prototipo no aumenta mucho entre cada velocidad del vehículo. Por ejemplo, para un vehículo de 950 kg, el aumento de la potencia máxima de 10 km/h a 50 km/h es de 23%. Para un vehículo de 1350 kg, el aumento de la potencia máxima es sólo del 10%, mientras que es de 19% para un vehículo de 2000 kg.

B. Niaga ECOR Panel (NEP). ECOR se unió a DSM-Niaga, una startup holandesa, para desarrollar un panel que puede combinarse, separarse y reutilizarse una y otra vez, nombrado como Niaga ECOR Panel (NEP). Los usos previstos son: muebles, tabiques, armarios de cocina, productos para la construcción de eventos y stands, y expositores para tiendas y actualmente, se está probando en entornos operativos. Un NEP puede reutilizarse directamente o mediante una fase de reacondicionamiento, en la medida en que su vida útil lo permita siguiendo una vía técnica (polímeros sintéticos y fibras naturales) y una vía biológica (fibras naturales).

Aplicar NEP en configuraciones circulares significa que hay que examinarla en relación con las vías adecuadas de suministro, funcionamiento y suministro inverso. Para ello, ECOR se centra en las materias primas secundarias de origen local y en las asociaciones basadas en la excelencia operativa, al tiempo que explora las opciones de los sistemas de recuperación. Los materiales de origen local pueden incluir cualquier material fibroso de celulosa que se desperdicie o se aplique en procesos de bajo valor. La mayoría de los residuos limpios (postindustriales) aplicables pueden ser utilizados por ECOR en etapas de procesos de valor añadido (ver Tabla 6).

Obtención de la materia prima

Los paneles ECOR Fiber Alloys® se fabrican utilizando mezclas de cartón ondulado viejo, fibras de papel y rechazos de la industria papelera. La selección de los paneles ECOR frente a otros tableros de fibra disponibles se ha basado en la compatibilidad de los estándares de circularidad y salubridad que tienen tanto el Adhesivo Niaga como los paneles ECOR. La adaptación de los paneles ECOR para obtener un rendimiento óptimo del producto y de la producción no se ha investigado en profundidad hasta la fecha, pero puede convertirse en un factor decisivo en la elección de las aleaciones de fibra ECOR®. En consecuencia, esto repercutirá en la elección de la materia prima. Para la producción de los adhesivos Niaga®, las materias primas se seleccionan de entre los bloques de construcción de polímeros fácilmente disponibles para los poliésteres aplicados en resinas industriales y de recubrimiento. En general, hoy en día se utilizan bloques de construcción de polímeros basados en el petróleo, mientras que cada vez hay más bloques de construcción de polímeros reciclados y de base biológica disponibles.

Fabricación

La producción responsable de los paneles ECOR está siendo evaluada de forma independiente como parte del proceso de certificación C2C. Estos paneles se laminan de forma relativamente sencilla en paneles NEP o paneles para muebles NEP que incluyen capas de acabado no ECOR, como HPL o chapas, al tiempo que cumplen funciones de personalización y protección. Por lo tanto, los procesos de fabricación asociados a estas capas superiores requieren evaluaciones separadas en relación con el rendimiento de *Circ-Flex*. Por lo que saben los autores, actualmente no hay productos HPL que cumplan los criterios *Circ-Flex*, debido a



las especificaciones de producción inherentes. Para los productos de chapa, en teoría, el cumplimiento de *Circ-Flex* sería menos complicado. Sin embargo, esto va más allá del alcance de este documento y requiere más investigación.

Tabla 6. Ecoinnovación: generación de paneles, Holanda

Objetivo	Ecoinnovación: Niaga Ecor Panel (NEP)	Resultados	Impactos
Fabricación de paneles Ecor Fiber Alloys® sustentables	Los paneles Niaga®Ecor® se fabrican con materiales de celulosa, calor, presión y agua para crear una gama de alternativas saludables y totalmente reciclables a los tableros de partículas MDF, los tableros de fibra y los tableros de espuma. Los NEP permiten la producción de muebles con un argumento comercial para el reciclaje.	Los paneles Ecor en bruto de 2,5mm de grosor (denominados Flatcor) pueden laminarse de forma reversible con el adhesivo Niaga en condiciones específicas: temperatura, humedad y presión. También puede aplicarse un núcleo de panal para reducir el peso y añadir grosor, y el producto en bruto puede acabarse con capas superiores decorativas. Tras una vida útil inicial, un NEP puede reutilizarse directamente o mediante una fase de reacondicionamiento, en la medida en que su vida útil técnica lo permita.	Reducción en desechos. Transición hacia la economía circular. La empresa ha animado a sus clientes a trabajar con su estrategia de la triple R (rediseñar, vestir, reutilizar) para los activos de exposición existentes. También se ha comprometido a reciclar o reutilizar el 40% de todos los accesorios de venta al por menor para 2022.

Fuente: <https://ecorbenelux.com/press-release/office-furniture-with-a-business-case-for-recycling/>

C. Ecoalf. La empresa Ecoalf (*Upcycling worldwide*) es una empresa española que se encuentra en el sector de ropa, calzado y accesorios. Es considerada una *Startup* y cuenta con 16 empleados y factura 4.5 millones de euros anuales. Ecoalf nació en el 2009 con el objetivo de crear una marca de moda verdaderamente sostenible y vanguardista, utilizando una nueva generación de tejidos 100% reciclados con aspecto y texturas de gama alta. A pesar de la juventud de la empresa, cuenta con una red internacional que distribuye en Japón, Europa y Estados Unidos, donde ha establecido alianzas estratégicas con grandes almacenes multimarca, con lo que ha logrado que 90% de su facturación provenga del mercado internacional.

Ante la inexistencia de unos tejidos reciclados que cumplieran con sus estándares de calidad, Ecoalf comenzó a investigar para crear una generación de textiles reciclados con las mismas prestaciones, diseño y propiedades técnicas que los textiles tradicionales. Desde entonces, Ecoalf ha trabajado con materiales reciclados como redes de pesca, botellas PET, posos de café, algodón, lana postindustrial e incluso neumáticos fuera de uso y ha establecido alianzas con otras compañías e instituciones para desarrollar los tejidos, forros, cintas, etiquetas, cordones y otros materiales reciclados que utiliza en la confección de sus productos. Uno de los casos más exitosos de alianza empresarial es la establecida con el Centro Tecnológico del Calzado de La Rioja y la empresa gestora de neumáticos fuera de uso SIGNUS, con el objetivo de desarrollar un caucho reciclado sin utilizar ningún adhesivo ni producto químico, para fabricar sandalias y suelas de zapatillas. La empresa ha logrado fabricar tejidos a partir de botellas PET, fabrica un metro de tejido con 70 botellas o 235 g de redes de pesca, reduciendo un 20% el consumo de agua, 50% la energía y 60% las emisiones respecto al proceso de materiales vírgenes. El proceso



innovador de la empresa ha continuado y desde 2009 ha desarrollado 15 tejidos nuevos al año. Lo cual los ha llevado a producir camisetas con 70 % de algodón reciclado; sandalias con materiales 100% recicladas. Además, Ecoalf se ha convertido en el socio de confección sustentable para marcas como Apple, Barneys New York, Goop, Helena Rohner y Laffayette, y ha logrado distribuir en 40 países con 250 puntos de venta y en almacenes de prestigio. El desarrollo de la ecoinnovación ha logrado ser patentado y recibió el Premio Fomento de las Artes y el Diseño del Ministerio de Medio Ambiente en 2009.

Tabla 7. Ecoinnovación: moda sostenible, España

Objetivo	Ecoinnovación: Ecoalf	Resultados	Impactos
Crear una marca de moda verdaderamente sostenible y vanguardista, utilizando una nueva generación de tejidos 100 % reciclados con aspecto y texturas de gama alta.	Generación de textiles reciclados con las mismas prestaciones, diseño y propiedades técnicas que los textiles tradicionales. Se utilizan materiales reciclados como redes de pesca, botellas PET, posos de café, algodón, lana post-industrial e incluso neumáticos fuera de uso.	La empresa ha logrado fabricar tejidos a partir de botellas PET, fabrica un metro de tejido con 70 botellas o 235 g de redes de pesca, reduciendo un 20 % el consumo de agua, 50 % la energía y 60 % las emisiones respecto al proceso de materiales vírgenes. El proceso innovador de la empresa ha continuado y desde 2009 ha desarrollado 15 tejidos nuevos al año. Lo cual les ha llevado a producir camisetas con 70 % de algodón reciclado; sandalias con materiales 100%recicladas.	Reducción en desechos. Alianza empresarial el Centro Tecnológico del Calzado de La Rioja y la empresa gestora de neumáticos fuera de uso SIGNUS. Confección sustentable para marcas como Apple, Barneys New York, Goop, Helena Rohner y Laffayette.

Fuentes: Ecolaf (2023), <https://ecoalf.com/es/>

Análisis de las similitudes y diferencias de los casos

Las diferencias entre las iniciativas de ecoinnovación en Europa y México son sustanciales. Para la Unión Europea (UE), la ecoinnovación y las tecnologías verdes son consideradas fundamentales para el futuro de Europa y están en el centro de sus políticas. La UE busca impulsar la ecoinnovación dentro de su industria, para alcanzar procesos de economía circular que permitan disminuir los impactos en el ambiente por los altos niveles de consumo de la sociedad europea.

Por ello, dentro de la llamada Estrategia Europa 2020, el objetivo es el crecimiento inteligente, sostenible e integrador y se retoman las directrices y experiencias de las iniciativas "Por una Europa que utilice eficazmente los recursos" y "Unión por la innovación", donde la ecoinnovación es vital. El Plan de Acción sobre Ecoinnovación (EcoAP) es, por tanto, un elemento importante del marco político europeo para el consumo y la producción sostenibles que a su vez refuerza iniciativas como el Sistema de Gestión y Auditoría Medioambientales (EMAS), la etiqueta ecológica de la UE, el sistema de Verificación de la Tecnología Medioambiental (VTA) y el proyecto piloto sobre la huella medioambiental de los productos. En este sentido, los tres casos europeos presentados son resultado de esfuerzos institucionales por instaurar políticas y programas que impulsen el desarrollo de ecoinnovaciones desde la industria. El objetivo de dichas innovaciones es muy claro, mitigar los efectos nocivos de los hábitos de consumo de la población europea, pero sin que eso implique un retroceso económico, sino que lo convierten en un proyecto de desarrollo empresarial y en un emprendedurismo.

En contraparte, los casos revisados en México son respuestas directas a problemáticas y necesidades de las comunidades, principalmente en el ámbito



rural. Se identifican ecoinnovaciones que ayudan a los grupos o población de una comunidad que manifiesta la problemática a atender, es decir, son iniciativas que provienen de la conciencia social de las comunidades y que en varias ocasiones no son atendidas por el Estado. Este último factor es importante destacarlo, pues la concientización sobre la importancia de reducir la huella ecológica del ser humano aún no se sitúa a nivel Estado. A diferencia de la UE, en México no existen políticas específicas dirigidas al impulso de las ecoinnovaciones. Esto implica que no existe financiamiento público para este tipo de innovaciones, lo cual también limita el financiamiento privado al no poder distribuir el riesgo de dichas inversiones.

En México, principalmente, los procesos de innovación sustentable dan solución a los problemas de falta de agua, control de plagas en cultivos, mejoramiento de la productividad agrícola, pesquera y ganadera a través de la adaptación de tecnologías. En los casos mexicanos analizados, las comunidades utilizan recursos propios y se realizan actividades productivas, lúdicas y solidarias que no sólo tienen fines de lucro, sino que buscan mejorar las condiciones de vida de la gente en un espacio geográfico muy delimitado. Ahora bien, la ecoinnovación surge de la necesidad de atender los problemas propios del medio ambiente, sin embargo, en diferentes contextos se utiliza para atender necesidades y diversos problemas complejos. No obstante, en dichos casos, el desarrollo sostenible exige de procesos innovadores creativos, de frugalidad humana y aprovechamiento del innovador de base de manera constante y continua, que ayude a la creación de procesos socialmente inclusivos que satisfagan las necesidades locales y se respete el medio ambiente.

En Europa, la visión está más centrada hacia el desarrollo de innovaciones desde el contexto de la relación empresas-universidades-gobierno y que

contribuyan a la introducción de nuevos productos o procesos con el fin de reducir las huellas del ser humano en el medio ambiente. En contraste, en países en desarrollo, como México más allá de contribuir a nivel global con la disminución en el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente, buscan satisfacer necesidades vitales para garantizar una calidad de vida en comunidades que no han sido beneficiadas por los programas nacionales de desarrollo, o peor aún, no han sido atendidas las necesidades de desarrollo expresadas por los habitantes. Los casos de México muestran que las ecoinnovaciones están cimentadas en el ámbito de lo rural, pero con impactos muy puntuales y medibles en torno a su valor social y de mejora de calidad de vida de los habitantes de la comunidad.

De este modo se manifiesta que las ecoinnovaciones desarrolladas en Europa y México contienen características muy específicas que permite diferenciarlas. Por ejemplo, el actor que impulsa la ecoinnovación en los casos europeos es la empresa, lo que vislumbra un enfoque económico, dueños de grandes capitales, por otro lado, los casos mexicanos son impulsados por comunidades rurales, indígenas en situación de pobreza y pobreza extrema que carecen de educación formal, pero que poseen conocimientos tradicionales y tecnológicos suficientes y tienen fuerte responsabilidad con el medio ambiente, es decir, aplican sus prácticas ancestrales ligadas a la naturaleza sumando nuevos conocimientos y técnicas que sustentan el medio ambiente.

Además, el origen de la ecoinnovación es resultado, para el caso europeo, del aprovechamiento de oportunidades empresariales o de la existencia de un mercado, en contraparte los casos mexicanos surgen de la urgencia por resolver problemas de escasos recursos o atender necesidades básicas como la alimentación. Esto a través de la adopción de sistemas, técnicas y



tecnologías apropiadas, la conformación de redes y el desarrollo de nuevos procesos o productos que atienden los problemas a resolver. Asimismo, los casos se distinguen por los fines que buscan, es decir, los objetivos que desean alcanzar, para los casos mexicanos el fin es mejorar la calidad de vida a través del rendimiento de la productividad agrícola y/o el acceso al agua como derecho humano, y en su mayoría están destinados a la agricultura o a las actividades turísticas. En contraparte los casos europeos van enfocados a la rentabilidad de la empresa.

Otro aspecto para diferenciar es la perspectiva desde la que parten las ecoinnovaciones. Los casos europeos tienen una perspectiva tecnológica para la rentabilidad empresarial y reducir el impacto ambiental, pero dejan de lado sus aportaciones al bienestar social, en contraste, los casos mexicanos parten de una perspectiva política, cultural y social para lograr la cohesión social y la preservación de los recursos, aunado a lo económico para mejorar el bienestar social y fomentar el desarrollo local con innovaciones locales y colaborativas. La última diferencia entre los casos analizados es que, si bien todos responden a la necesidad de conservar los recursos naturales mediante formas innovadoras, los casos europeos lo hacen, pero no es su fin último, es sólo un agregado para compensar su actividad empresarial, en contraste con los casos mexicanos que es una visión integral debido a que quienes desarrollan las ecoinnovaciones (comunidades rurales e indígenas) tienen una cosmovisión arraigada de la naturaleza y su cuidado. Sin embargo, se considera que en el ámbito de sus competencias todos los casos abonan hacia la construcción de una sociedad sostenible, tomando en cuenta los aspectos económicos, sociales y ambientales.

Reflexión Final

Los tres estudios de caso mexicanos permitieron centrarse en el eje central “La sustentabilidad y su relación con las nuevas tecnologías”. En el caso de los productores de maíz, los campesinos adquieren nuevas formas y procedimientos para realizar su trabajo por medio del aprendizaje de nuevas habilidades y competencias; en el caso de los productores de hortalizas los campesinos aprenden como producir hortalizas respetando el medio ambiente y en el caso planta potabilizadora del Estado de México los pobladores mejoran su calidad de vida por medio de la adquisición de tecnología dura y el aprendizaje de competencias para su funcionamiento.

Por otro lado, en los casos europeos el desarrollo de nuevas tecnologías es la base para aportar al objetivo de sustentabilidad establecido desde la UE. En la empresa de los paneles de pavimento se busca disminuir la utilización de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica a través de tecnología nueva; en el caso de los paneles con material reciclado, se busca disminuir la utilización de plásticos y se reutiliza material reciclado para su fabricación, mientras que Ecoalf ha desarrollado tecnología que transforma lo que aparentemente es basura en material textil contribuyendo con la economía circular de manera muy eficaz.

El análisis comparativo de casos que se presenta en este escrito es parte de un estudio más amplio, donde se tienen por objetivo identificar las diferentes manifestaciones de la ecoinnovación. Como se expone en el apartado teórico, la ecoinnovación ha sido un concepto impulsado con gran fuerza desde la UE como una respuesta al impacto nocivo que tiene la actividad humana en el medio ambiente. Sin embargo, la ecoinnovación desde la visión europea se



cimenta en la reducción de emisiones y en la economía circular sin trastocar los hábitos de consumo, es decir, sin buscar una reducción del consumo de bienes y servicios que mueven a la gran industria. Por otro lado, está la visión de países en desarrollo, como México, donde no hay una política gubernamental que genere directrices hacia la ecoinnovación, pero existen manifestaciones desde las comunidades que pretenden conservar los recursos naturales o tratan de generar procesos que apoyen las actividades económicas de la comunidad, pero con el menor impacto a los recursos naturales.

En este sentido, las diferencias entre ambas regiones son económicas, culturales y políticas. En Europa los países son desarrollados y cuentan con capital, y México es un país en proceso de desarrollo, con altos índices de pobreza y una comunidad rural marginada y excluida. La institucionalización y reconocimiento del impacto que tienen la ecoinnovación en Europa ha dado pie al surgimiento de mercados propicios para los desarrollos de innovación a nivel empresarial, al surgimiento de agentes especializados en el financiamiento de este tipo de proyectos, y al surgimiento de alianzas estrategias a nivel internacional que impulsan este tipo de innovaciones. Ante esto, México necesita de políticas públicas para fomentar el espíritu empresarial local, el desarrollo de innovaciones frugales, la creación de ecosistemas de innovación y el combate de la pobreza, la crisis económico-social y la crisis ambiental para lograr el desarrollo local. Sin embargo, el Gobierno mexicano actual no ha mostrado interés sobre este tipo de innovación y muestran cierta aversión a la interacción público-privada que es parte del "éxito" en Europa.



Referencias

- Bound, K. y Thornton, I. (2012). *Our Frugal Future: Lessons from India's innovation system*. Nesta. https://media.nesta.org.uk/documents/our_frugal_future.pdf
- Carrillo, G, y Villavicencio, D. (2020). La noción de ecoinnovación y el debate en el ámbito local. En Carrillo, G. Ríos, R. (Coord). *Una mirada a la ecoinnovación en organizaciones locales en México. Nuevos marcos explicativos*. MC Editores-UAM.
- Carrillo G., Ríos R., et al. (2020). Hallazgos y aportaciones al concepto de ecoinnovación en Carrillo G, Ríos Ruth. (Coord). *Una mirada a la ecoinnovación en organizaciones locales en México. Nuevos marcos explicativos*. MC Editores-UAM.
- Comisión Europea. (2011). *Innovación para un futuro sostenible. Plan de acción sobre ecoinnovación* (Eco-AP), Bruselas. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0899>
- Delgado, C., Púlido, D., y Morelos, C. (2000). Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora. *CIENCIA Ergo-Sum. Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 7(2).
- Demirel, P. y Kesidou, E. (2011). Stimulating different types of eco-innovation in the UK: Government policies and firm motivations. *Ecological Economics*, 70(8), (pp. 1546-1557).
- Dong, Y., et al. (2013). Effects of eco-innovation typology on its performance: Empirical evidence from Chinese enterprise. *Journal of Engineering and Technology Management*, 34, (pp. 78-98).
- Duarte, F., Champalimaud, J.P., y Ferreira A. (2016). Waynergy Vehicles: an innovative pavement energy harvest system. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal Engineer*, 169 (1), (pp. 13-18).
- Duarte, F. (2017). *Pavement Energy Harvesting System to convert vehicles Kinetic energy into electricity*. [Tesis doctoral, Universidad de Coimbra].
- Gente, V., y Pattanaro, G. (2019). The place of eco-innovation in the current sustainability debate. *Waste Management*, 88, (pp. 96-101).
- Gutiérrez, C., y Maldonado, M. (2010). Uso de bioinsecticidas para el control de plagas de hortalizas en comunidades rurales. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 6(1), (pp. 17-22).
- Hazarika, N. y Zhang, X. (2019). Evolving Theories of eco-innovation: A systematic review. *Sustainable Production and Consumption*, 19, (pp. 64-78).
- Noriega, D., Vásquez, R., Morales, M., Martínez, J., Salinas, E., y Contreras, J. (2019). Adopción de innovaciones en maíz bajo el modelo escuelas de campo en Tlalcozotitlán, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), (pp. 1903-1909).

- OECD (2009). *Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation: Framework, Practices and Measurement— Synthesis Report*. OECD, Paris. <https://www.oecd.org/innovation/inno/43423689.pdf>
- OCDE. (2011). *Hacia el crecimiento verde*. <https://www.oecd.org/greengrowth/49709364.pdf>
- Oliver-Solà, J., Farreny, R., y Cormenzana, M. (2017). *La ecoinnovación como clave para el éxito empresarial: Tendencias, beneficios y primeros pasos para ecoinnovar*. Libros de Cabecera.
- Pansera, M. y Sarkar, S. (2016). Crafting Sustainable Development Solutions: Frugal Innovations of Grassroots Entrepreneurs. *Sustainability*, 8(1), (pp. 1-25).
- Radjou, N., Prabhu, J. y Ahuja, S. (2012). *Jugaad Innovation: Think Frugal, Be Flexible, generate breakthrough growth (Primera Edición)*. Jossey-Bass.
- Rennings, K., (2000). Redefining innovation - eco-innovation research and the contribution. *Ecological Economics*, 32 (2), (pp. 319–332).
- Veerspeek, F. y Rabbiosi, L. (2017). *Integración de la eco-innovación en las Políticas de consumo y producción sostenibles*. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. http://unep.ecoinnovation.org/wp-content/uploads/2018/04/UNEP-157-Mainstreaming_SP-FINAL.pdf

MAÍZ TRANSGÉNICO EN MÉXICO: SUSTENTABILIDAD, MOVIMIENTO SOCIAL Y TECNOLOGÍA

*Yolanda Cristina Massieu Trigo**

Introducción

En este capítulo abordo la problemática del maíz transgénico en México, el debate público y el movimiento social que ha generado desde principios del Siglo XXI. Se parte de un marco teórico que comprende tanto la reflexión sobre la sustentabilidad desde los postulados de la ecología política de Toledo (2019) como la propuesta de Feenberg (2005) sobre democratización de la tecnología. Ambos enfoques se enmarcan en la propuesta de la sustentabilidad y su relación con las nuevas tecnologías. Siguiendo esta línea, hago una caracterización de la arena de disputa respecto al tema, que comprende diversos aspectos como la evolución del debate en torno a los cultivos transgénicos desde las

* Profesora-Investigadora del Departamento de Relaciones Sociales, UAM-Xochimilco.



ciencias sociales, la situación de los cultivos transgénicos y la relación de este modelo tecnológico con el de la Revolución Verde (RV) —principal fenómeno de modernización tecnológica de la agricultura en el Siglo xx—, el aspecto bioético en tiempos de pandemia, la ingeniería genética agrícola como revolución tecnológica, el movimiento social de resistencia, la regulación nacional e internacional de los Organismos Genéticamente Modificados (OGMs) y el Tratado Comercial entre México, Estados Unidos y Canadá y las políticas públicas.

Metodología

Con base en experiencia de investigación acción participativa de hace más de 20 años en diversos proyectos relacionados con la temática, y en mi involucramiento en diversas organizaciones involucradas, hago una caracterización y actualización de la problemática en torno al maíz transgénico en México, recientemente ligada a la eliminación gradual del uso del glifosato entre 2020 y 2024 por decreto presidencial de 2020.

Esta caracterización se enmarca temporal y espacialmente, para situar la complejidad del debate en torno al maíz transgénico en el país, esperando aportar al entendimiento de la situación actual. Asimismo, busco apoyar la discusión central de este libro en cuanto a la relación de la sustentabilidad con las nuevas tecnologías, a través del análisis de un caso concreto en nuestro país.

Considero un aporte en este sentido la contribución del movimiento social rural-urbano que se ha resistido a la liberación de estas nuevas plantas, con propuestas interesantes respecto al rescate de la milpa, los maíces nativos, la agricultura campesina, el consumo de alimentos sanos y la gastronomía

mexicana basada en la gramínea. Este recuento se trae a la reflexión actual, dado que en el presente gobierno cambia la correlación de fuerzas, y el colectivo de defensa del maíz se ve por primera vez en décadas favorecido por ciertas políticas gubernamentales, como la promoción de la agroecología y los maíces nativos, y el decreto presidencial de 2020, que prohíbe el maíz transgénico y ordena la eliminación gradual del herbicida cancerígeno glifosato en la producción agrícola.

Contemplo la virulenta respuesta de los promotores de los cultivos transgénicos y la propuesta hegemónica de un paquete tecnológico de monocultivo, riego, mecanización, semillas mejoradas y uso de agroquímicos como parte de la RV, utilizado y promovido por grandes empresarios agrícolas y semilleros, así como compañías transnacionales productoras de cultivos genéticamente modificados e insumos. La discusión toca el problema alimentario, ambiental y de salud. Los contenidos expuestos brindan material para una reflexión sobre el complejo entramado presente en la relación sustentabilidad-tecnología, considerando como las redes y acciones de las y los actores involucrados son determinantes para que se instaure una determinada tecnología con todas sus implicaciones socioambientales.

Desarrollo

Sustentabilidad y democratización de la tecnología ¿binomio necesario?

Para abordar la introducción de una nueva tecnología en el campo mexicano, como es el caso del maíz transgénico, parto de una breve reflexión teórica que se sustenta en dos ejes: 1) Ecología política y sustentabilidad, y 2)

Propuesta de democratización de la tecnología de Feenberg (2005). Estas dos propuestas contribuyen a enriquecer la discusión sobre sustentabilidad y nuevas tecnologías.

En el debate de la sustentabilidad, surgido desde los setentas con el documento "Los límites del crecimiento" del Club de Roma (FullBlog, 2011), y ratificado "oficialmente" en el documento de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) de 1987 "Nuestro futuro común" (ONU, 1987), y la llamada Cumbre de la Tierra de la misma organización en 1992, es de gran importancia el papel de las nuevas tecnologías. Se considera que la innovación tecnológica en el mundo actual es uno de los pilares del desarrollo y crecimiento económico, y por décadas este planteamiento no contempló la cuestión ambiental, pese a que el deterioro ecológico frecuentemente se debió y se debe a la aplicación de dichas innovaciones. El caso de la RV en la agricultura es paradigmático, pues en aras de obtener altos rendimientos se puso en práctica, desde mediados del siglo pasado, una tecnología causante de erosión genética por la promoción del monocultivo, y contaminación de agua y suelos por el uso indiscriminado de agroquímicos (Massieu, 2016).

En los debates sobre la sustentabilidad la ecología política es esencial; ésta propuesta tiene un origen anglosajón, como una disciplina crítica que analiza las múltiples desigualdades que se expresan en un acceso dispar a los recursos naturales y los conflictos consecuentes. Se resaltan las prácticas de poder y se toma distancia con enfoques que se centran sólo en los aspectos técnicos de las crisis y cambios ecológicos. Entre los autores más representativos en el mundo anglosajón encontramos a Wolf (1972), quien en su trabajo "Propiedad y ecología política", referente a la zona andina, plantea dos elementos clave: el acceso a la propiedad de los recursos, la visión de largo plazo, y la naturaleza

colectiva (Delgado, 2017, p. 174). “En América Latina la ecología política tomó un camino propio influenciado, al igual que otras ciencias sociales, por los cambios que ha sufrido la región en materia política y económica” (Moreano, *et al.*, 2017, p. 198). En nuestro continente se ha generado una vigorosa escuela de ecología política, que incluye la historia de la inserción al capitalismo global como proveedora de materias primas y los aspectos ambientales de esta relación, con un cariz decolonial.

Entre los autores que en nuestro país han hecho aportaciones importantes a la escuela están Toledo (2019) y Leff (2017). El primero destaca la presencia en el país de una población significativa de campesinos, tanto de autoconsumo como mercantiles en diversos grados, cuyo cultivo principal es el maíz, del cual estas y estos agricultores conservan variedades nativas, y por ello resultarían afectados por la liberación comercial de maíz transgénico.

El reto teórico es analizar el problema del maíz transgénico a la luz de los tres postulados principales de la ecología política: 1) El mundo actual y su colapso son fruto de la explotación desmedida del trabajo y la naturaleza, lo cual ha generado sociedades cada vez más desiguales; 2) La expresión espacial y la escala de esa doble explotación se pueden entender a la luz del sistema mundo planteado por Wallerstein (1974, 2011; Grosfoguel, 2016), como una contradicción ecológica a escala global; y 3) Se concibe como crisis civilizatoria porque el mundo actual, basado en capitalismo, tecnociencia, combustible fósil, ideología del progreso y desarrollo, lleva al ecosistema global al caos.

Los postulados sintetizados por Toledo (2019, pp. 38-39) sitúan directamente a la ecología política como el enfoque teórico necesario para explicar la crisis global presente, de la cual la pandemia del Covid-19 es una manifestación (Massieu, 2021). En cuanto al maíz transgénico, es claro el dominio de la



tecnociencia como un discurso de poder y una tecnología reciente, que busca la aprobación pública con argumentos científicos y ambientales para facilitar la siembra comercial. La polémica atraviesa la cuestión del acceso a los recursos genéticos y el conocimiento asociado, de manera que en la presión por generalizar estas nuevas plantas aparece la renovación del papel de los países latinoamericanos (México en este caso) como proveedores y exportadores de materias primas y receptores de tecnología importada de los países centrales. Dado que el maíz es una planta originaria de Mesoamérica y alimento básico principal de los mexicanos, en la disputa está presente la cuestión de la soberanía alimentaria (Ávila, *et al.*, 2014).

La presión por liberar la siembra comercial de maíz transgénico perpetúa el dominio hegemónico de la agricultura industrial, la cual atenta directamente contra la biodiversidad, esencial para el ecosistema y afectadas por la crisis civilizatoria presente, con la tasa de extinción más alta en muchos años, al grado de que se habla de la 6ª extinción del antropoceno, pues entre 1970 y 2016 se ha extinguido 58 % de los vertebrados (wwf, 2016). México, como centro de origen del maíz, tiene una riqueza genética del grano muy importante: 64 razas con sus respectivas variedades presentes sembrándose en campo. Esta gran diversidad se ve amenazada por la expansión del modelo hegemónico de agricultura industrial, basado en variedades mejoradas de monocultivo y aplicación de agroquímicos (Massieu, 2016). Los cultivos transgénicos representan una profundización de este modelo, y la tecnociencia aparece como un componente fundamental de la actual sociedad, presente de manera relevante en la discusión sobre la siembra comercial de maíz transgénico en México.

Para llevar la reflexión de los estudios sociales de Ciencia, Tecnología e Innovación al problema del maíz transgénico, me apoyo en la teoría crítica

de la tecnología de Andrew Feenberg (2005), quien privilegia la noción de eficiencia, considerando que en ella implicamos a la técnica. En nuestro caso, la etapa en la que se encuentra la posible siembra comercial de maíz transgénico ha puesto de manifiesto los posibles efectos de retorno que tendría la implantación definitiva de la tecnología transgénica. Un cuestionamiento a la aplicación de la ingeniería genética (que no biotecnología) en la agricultura es que no estamos tratando estrictamente con objetos, sino con seres vivos, es decir semillas, que además son bienes comunes (Castañeda y Massieu, 2017).

Un rasgo importante de los objetos técnicos en la modernidad es la ilusión de trascendencia, pese a que son de cualquier modo finitos. Feenberg (2005), retomando a Marcuse y Heidegger, ve esto como uno de los rasgos de la experiencia de la modernidad. “Los objetos entran en nuestra experiencia hasta que percibimos su utilidad en el sistema tecnológico”. En este sentido, relaciona la revelación tecnológica con las divisiones persistentes entre clases y entre dirigentes, dirigidas en instituciones de todos tipos mediadas tecnológicamente. La tecnología es así configurada de manera que reproduce “la regla de los pocos sobre los muchos” (Feenberg, 2005, p. 48). Entre las instituciones “medidas tecnológicamente” en nuestro caso, podemos distinguir a la CIBIOGEM (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados), que desde su creación ha sido un espacio de polémica, en el que gradualmente fue dominando el grupo promotor de los cultivos transgénicos, hasta el gobierno actual en que el grupo crítico ha ganado poder.

La tecnología es un fenómeno de dos caras: por una parte el operador y por otra el objeto, de manera que el poder tecnológico es la forma principal de poder en la sociedad y en el medio ambiente. Esto se ejerce mediante



un diseño que estrecha el rango de intereses y preocupaciones que pueden ser representadas en el funcionamiento técnico normal y las instituciones involucradas, "...este estrechamiento deforma la estructura de la experiencia y causa sufrimiento humano y daños al ambiente" (p. 49), si bien aquellos excluidos del diseño eventualmente sufren las consecuencias indeseables y protestan. Esto se ve claramente en la arena de disputa (Long, 2007) en que se ha convertido la regulación del maíz transgénico en México, aunque no se ha llegado al nivel de la siembra comercial legal de este grano. Creo que la protesta y movilización se deben, en parte, a que existe el antecedente de los daños y el control de la producción por parte de las empresas transnacionales provocados por la tecnología de la RV, que causa el daño ambiental mencionado y beneficia casi exclusivamente a las grandes empresas proveedoras de los insumos. Los cultivos transgénicos representan una profundización de dicho modelo y este ha sido un argumento del movimiento anti-maíz transgénico.

En contraposición a los estudios ahistóricos de la tecnología, Feenberg (2005) plantea, siguiendo a Marcuse en "El hombre unidimensional" (Marcuse, 1968), enfatizar que una elección técnica, más que una solución política o moral a un problema social, es política y moralmente significativa. En nuestro caso, llama la atención que ante el problema social alimentario y al problema socioambiental y tecnológico en la agricultura, los apologistas del maíz transgénico plantean la técnica como solución, ignorando los graves problemas socioeconómicos y ambientales.

Feenberg (2005) propone la "instrumentalización de la tecnología", idea que sostiene que la tecnología debe ser analizada a dos niveles: el de la relación original funcional con la realidad y el del diseño e implementación. El primer nivel simplifica los objetos y el segundo los integra al ambiente natural y social.

En el segundo hay un proceso de revelación, en el cual se concibe un nuevo mundo que involucra a los objetos y sujetos. En nuestro caso esta revelación no ha tenido lugar, ante la presión social, la medida cautelar de la demanda colectiva y ahora el decreto presidencial para no llegar a dicha etapa. En los argumentos a favor y en contra de liberalizar el maíz transgénico se plantean escenarios sociales.

En los enfoques deterministas e instrumentalistas la eficiencia es el único principio de selección entre tecnologías exitosas y fallidas, en un proceso en el que se toman prestados criterios de racionalidad científica. La filosofía de la tecnología desarma esta pretendida universalidad y necesidad de las decisiones técnicas, y los estudios constructivistas han demostrado esto empíricamente a través de muchos casos. Las elecciones sociales intervienen tanto en la definición del problema a solucionar como de su solución. La eficiencia no es decisiva en la explicación del éxito o fracaso de una tecnología, no es "racional" en el viejo sentido positivista, sino socialmente relativa, las decisiones técnicas constituyen un mundo que sostiene la forma de vida de uno u otro grupo de influencia social.

La ingeniería genética es un caso relevante si se analiza desde la decisión de iniciar su aplicación en la agricultura en los años ochenta, puesto que las primeras aplicaciones en medicina se hacían en laboratorios cerrados y el riesgo del flujo de transgenes en el medio ambiente era mucho menor. Druker (2015, pp. 53-76) ha demostrado como la aplicación en la agricultura de esta nueva tecnología (la siembra de cultivos transgénicos) se hizo en Estados Unidos de América (EUA) sin basarse en evidencia científica ante los riesgos, y obedeciendo a intereses y grupos de poder, de los que formaban parte algunos científicos.

Las tendencias tecnocráticas de las sociedades modernas se pueden interpretar como un efecto de limitación de los grupos que intervienen en el diseño de las y los expertos, así como las élites corporativas y políticas que preservan. Respecto al maíz transgénico en México, es claro que sus promotores han tenido poder político y corporativo, y que la aplicación de su decisión técnica (sembrar comercialmente el maíz transgénico) ha sido detenida por la movilización social. En este rasgo hay una coincidencia en torno a la problemática de la posible siembra generalizada de estas nuevas plantas en México con lo que Feenberg (2005) llama democratización de la tecnología, la única salida a un crecimiento de ésta que reproduce las desigualdades sociales. La expansión del conocimiento y la técnica por sí mismos no bastan, concibe una alianza técnica democrática amplia, que restaure la agencia de aquellos tratados como objetos en el código técnico dominante. Este último es uno de los conceptos fundamentales propuestos por el autor, que articula la relación entre requerimientos sociales y técnicos de la tecnología, como un criterio que selecciona entre posibles diseños técnicos en términos de una meta social.

El antecedente de la ingeniería genética en la agricultura es la expansión del modelo tecnológico de la RV, en el cual es claro el tratamiento de las y los agricultores como grupos excluidos del diseño, tendencia que continúa con la presión de grupos de interés para la siembra comercial de maíz transgénico. La resistencia ha venido de una alianza diversa de actrices y actores sociales rurales y urbanos, movilizados ante los posibles riesgos de la siembra de estos granos, dando así un paso importante hacia la democratización. En el apartado siguiente hago una caracterización de la arena de disputa con respecto al maíz

transgénico en nuestro país, que incluye los contextos nacional e internacional, y los elementos de análisis que considero necesarios, lo cual evidencia lo que concibo como un avance hacia la democratización de la tecnología, para posteriormente abordar en las conclusiones los aportes de la resistencia.

Caracterización de la arena de disputa:

¿Por qué el maíz transgénico es cuestionado en México?

En la descripción del proceso sociopolítico en torno al maíz transgénico en México, se identifican las y los actores clave en las diferentes etapas, caracterizando la arena de disputa y se dan elementos para fundamentar el proceso hacia la democratización de la tecnología en este caso. Inicio con una reflexión sobre la evolución del debate sobre los cultivos transgénicos en las ciencias sociales.

Debate en las ciencias sociales sobre los cultivos transgénicos

Es importante abordar los diferentes puntos de vista de los científicos sociales sobre los cultivos transgénicos a partir de que empezó la preocupación pública en los años ochenta. En 2008 el debate mostraba cambios si se compara con el de las décadas de 1980 y 1990, cuando se partía de que se estaba ante una nueva tecnología con gran poder transformador de la agricultura, la medicina, la energía, la industria química y petrolera (Massieu, 2009). En esos años se hablaba de la biotecnología como parte de la Tercera Revolución Científico Técnica o Tercera Revolución Industrial (Ominami, 1986), componente fundamental de un nuevo paradigma tecnoeconómico (Pérez, 1986). En cuanto a la agricultura, se discutía a si estábamos ante una nueva revolución tecnológica que transformaría radicalmente la producción y el consumo de alimentos (Buttel, 1995); también se analizaban los impactos diferenciados en los países industrializados y los

latinoamericanos (Otero, 1995). En los ochentas ya se aplicaba la tecnología en medicina, con microorganismos modificados genéticamente en condiciones confinadas. La forma en la cual se aprobó en Estados Unidos que los OGMs salieran del confinamiento y se liberaran al medio ambiente agrícola expresa cómo la verdad científica es objeto de disputa y la aplicación de la tecnología está sesgada por intereses económicos y políticos (Druker, 2015, pp. 51-76). El análisis de las repercusiones socioeconómicas y políticas de la ingeniería genética agrícola tenía como objetivo el control de esta nueva tecnología, una de las estrategias fundamentales de las corporaciones para el control de la producción, la comercialización y el consumo de la agricultura mundial, parte esencial del régimen global agroalimentario (McMichael, 1999). También se consideraban los cambios que estas innovaciones tecnológicas traerían en el contexto global de la agricultura, ya en el siglo XXI el debate ha cambiado. Por una parte, es claro que, por lo menos a la fecha, no estamos ante una tecnología que haya transformado radicalmente la producción agroalimentaria, sobre todo si comparamos la agrobiotecnología con la RV.

Cultivos transgénicos y revolución verde

La RV se generó a nivel de investigación en las décadas de 1940 y 1950 en nuestro país y se impuso como el modelo tecnológico hegemónico en los granos básicos en todo el mundo, desde la década de 1950 y hasta la fecha (Massieu, 2016). Fue un proyecto mundial, con inversión pública y decidida intervención estatal, y se originó en México por iniciativa de la Fundación Rockefeller, a partir de la cual se creó el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en los años cincuenta. El objetivo era abatir el hambre en el mundo por medio de la creación de semillas de alto rendimiento de los principales cultivos alimentarios.

Se fundó el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT), cultivos en los que se centró la innovación, con financiamiento internacional, en Texcoco, Estado de México, donde también se localizan los campos experimentales del entonces INIA (hoy Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). El proyecto contó con la entusiasta colaboración de los gobiernos mexicanos de Ávila Camacho y Miguel Alemán. Si bien se logró obtener variedades de alto rendimiento dichas gramíneas, para que estas nuevas semillas rindieran todo su potencial, era necesario un paquete tecnológico que incluía el riego, la maquinaria y el uso de agroquímicos en tierras planas. Estas no eran las características agroecológicas de la mayor parte de las tierras del país, por lo que los beneficios de la nueva tecnología sólo fueron accesibles a un pequeño número de empresarios agrícolas que podían hacer las inversiones necesarias, mientras que quedaron al margen los agricultores minifundistas de maíz y frijol, los alimentos básicos, que se producen a la fecha principalmente en temporal y ladera (Hewitt, 1975). En la actualidad, es frecuente encontrar productores de maíz medianos y pequeños que adoptaron algunos de los insumos, dependiendo de los recursos, como el fertilizante químico y los plaguicidas, lo que ha causado un problema de degradación de los suelos después de varias décadas de aplicación (Noriero y Massieu, 2018).

Una de las consecuencias socioeconómicas de la modernización agrícola de la RV en México fue la ampliación de la brecha entre productores empresariales con altos rendimientos, que concentran hasta hoy la mayoría de los recursos, y la mayoría de campesinos pobres de autosubsistencia o mercantiles (Hewitt, 1975). Durante el proceso de generación y difusión de la RV también hubo voces de científicos mexicanos que, ante la realidad de la mayoría de los



productores temporaleros de maíz y su riqueza en conocimientos y variedades nativas de algunos cultivos, como el maíz, abogaron por la investigación de tecnologías adecuadas a las condiciones de éstos. Desafortunadamente sus planteamientos no fueron escuchados por los directivos del proyecto, aunque estos científicos, entre ellos Efraín Hernández Xolocotzin, crearon en la Universidad Autónoma de Chapingo la escuela fundacional de etnobotánica en el país, que ha consolidado la enseñanza e investigación de la agroecología en diversas instituciones (Hernández, 1985; Díaz de León y Cruz, 1998; Cruz, 2008).

La RV iniciada en México se difundió por el mundo y los organismos internacionales encargados de promoverla, básicamente la Fundación Rockefeller y el Banco Mundial, la publicitaron como todo un éxito. Se formó un consorcio internacional gubernamental-privado, que centralizaría la investigación agrícola en granos básicos, el Grupo Consultivo de Investigación Agrícola Internacional (CGIAR, por sus siglas en inglés), y se fundaron otros centros internacionales siguiendo el modelo del CIMMYT, como el del arroz en Filipinas y el de la papa en Perú. Este modelo transformó radicalmente la producción de alimentos básicos a nivel mundial y las variedades híbridas de alto rendimiento obtenidas siguen siendo las que se siembran mayoritariamente en el mundo. También tuvo éxito en cuanto a consolidar la intervención privada en el manejo de los recursos fitogenéticos para la alimentación mundial. Fue el CGIAR y no la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), de carácter público, el que centralizó la investigación sobre alimentos. Cuando surgió el proyecto hubo debates internacionales sobre la pertinencia de que el sistema quedara a cargo de la FAO, iniciativa que no prosperó y se creó el sistema paralelo de los centros internacionales de investigación del CGIAR (Pistorius, 1997).

En comparación con la RV, la actual revolución biotecnológica sólo ha incidido principalmente en la producción de cuatro cultivos (soya, maíz, algodón y canola), con básicamente dos transformaciones genéticas: resistencia a herbicidas y a insectos. Sin embargo, sí hay un avance sostenido en superficie sembrada en el mundo, si bien las superficies mayores a nivel comercial se encuentran en cinco países: Estados Unidos de América, Brasil, Argentina, Canadá e India (ver Tabla 1), quienes siembran 91% del área global de cultivos transgénicos (190.4 millones de hectáreas). Esta nueva tecnología no ha sido adoptada por la mayoría de los países en el mundo, lo que si sucedió con la RV (Buiatti, 2005). ISAAA (Servicio Internacional para la Adquisición de Agrobiotecnología Aplicada), un organismo internacional dedicado a promover la siembra comercial de cultivos transgénicos, reconoce que en 2019, a 24 años de su comercialización, se producen en 29 países, con una ligera disminución de 1.3 millones de hectáreas comparadas con las 191.7 de 2018 (ISAAA, 2019).

Tabla 1. Área de cultivos transgénicos en los 5 principales países de siembra en 2019 (millones de hectáreas)

País	Superficie (millones de hectáreas)	Cultivos
EUA	71.5	Maíz, soya, algodón, alfalfa, canola, remolacha, papa, papaya, calabaza y manzana.
Brasil	52.8	Soya, maíz, algodón y caña de azúcar.
Argentina	24	Soya, maíz, algodón y alfalfa.
Canadá	12.5	Canola, soya, maíz, remolacha, alfalfa y papa.
India	11.9	Algodón.

Fuente: ISAAA (International Service for the Acquisition of Agribiotech Application) (2019). Executive Summary. Biotech Crops Drive Socioeconomic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. ISAAA Brief 55-2019
<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>

Aunque los cuatro cultivos principales de siembra comercial son maíz, algodón, canola y soya, existe otro grupo numeroso de plantas que se siembran en menor escala, como alfalfa, remolacha, papa, calabaza, caña de azúcar, piña y berenjena, que en 2019 cubrieron 1.8% de la superficie total mundial (1.8 millones de hectáreas). La más sembrada es la soya, con 48.2% (91.9), seguida del maíz con 32% (60.9), el algodón, con 13.5% (25.7) y la canola con 5.3% (10.1). En México, ISAAA reporta 223,000 hectáreas en ese mismo año, presumiblemente de algodón, pues no aparece la soya (ISAAA, 2019). Es en el maíz en el que encontramos una decidida resistencia por parte del movimiento social, ahora con respaldo gubernamental, mientras que el algodón Bt resistente a insectos se siembra en el norte del país y la soya en la península de Yucatán, donde ha sido cuestionada, pero las protestas no han podido detener las siembras. Retomando la discusión sobre sustentabilidad y democratización de la tecnología expuesta en el primer apartado, puede deducirse el asombro de las grandes corporaciones y sus aliados promotores de los cultivos transgénicos ante una resistencia tan tenaz en el caso del maíz en nuestro país. Ésta ha sido respondida con argumentos generalizadores que ensalzan las virtudes ambientales, productivas, sociales y económicas de todos los cultivos transgénicos, además de que los presentan como la única vía posible para resolver el hambre en el mundo. En el libro coordinado por Bolívar (2017), hay un interesado énfasis en la resistencia a insectos como el objetivo principal del proyecto científico-tecnológico de los cultivos transgénicos, mientras que se ignora la resistencia a herbicidas (glifosato), que permite una aplicación mayor de este agroquímico con consecuencias muy destructivas de la biodiversidad y la salud humana. Lo descrito da elementos para abordar la discusión sobre la ingeniería genética agrícola como una revolución tecnológica.

Ingeniería genética agrícola y revolución tecnológica.

En el debate internacional y nacional respecto a los impactos ambientales, socioeconómicos, políticos y culturales de la agrobiotecnología y genómica agrícola ya no se discute el carácter revolucionario de esta tecnología. Considero que sí estamos ante una revolución científica, en el sentido clásico manejado por Kuhn (1993), pues el conocimiento y la manipulación del ácido desoxirribonucleico (DNA) introdujeron un nuevo paradigma científico. Se debe recordar que para Kuhn éste consiste en un cuerpo de conocimientos que es aceptado unánimemente por una comunidad científica como cierto, hasta que aparece un nuevo descubrimiento que lo cuestiona y conforma el nuevo paradigma con implicaciones bioéticas. Una consecuencia es el debate ético que aparece con la manipulación de los genes, expresivo de esto es que en muchos medios y estudios los cultivos transgénicos son llamados plantas Frankenstein (Massieu y Verschoor, 2011), y este cuestionamiento ha conformado una nueva área de la bioética (Cely, 2008), que cuestiona si es válida la manipulación humana de la materia hereditaria, más inquietante con la manipulación del genoma humano (González, 2005).

Otro aspecto ético es el concerniente a los cultivos transgénicos industriales o de tercera generación. Si bien aún no están en el mercado, la transformación acarrea fuertes impactos, pues se busca transformar a la planta en un reactor industrial para producir fármacos, combustibles o plásticos. Hay un dilema ético al transformar plantas alimenticias de esta manera, por los riesgos de liberar estas nuevas variedades en el ambiente. En plantas de polinización abierta (como el maíz), la posible cruza entre una variedad alimenticia y una transgénica que fabrique plásticos o combustibles llevaría a hacer inutilizable al cultivo alimenticio (Chauvet y González, 2008).

La preservación de la diversidad genética de cultivos alimentarios importantes, como el maíz en México, su centro de origen, se da en la agricultura tradicional campesina. La riqueza en variedades nativas de maíz, importante para la alimentación de las y los mexicanos y para contender con el cambio climático, se ve amenazada por las nuevas plantas transgénicas y el modelo de agricultura industrial, fenómeno ya iniciado con los híbridos de la RV. Las variedades criollas o nativas que siembran los campesinos pobres, tanto mestizos como indígenas, constituyen un reservorio de genes de importancia mundial. Si bien muchas veces no tienen rendimientos espectaculares, conservan información genética valiosa para la resistencia a condiciones ambientales adversas y plagas. Si los transgénicos se comienzan a sembrar libremente y se llegan a cruzar con estas variedades nativas, es factible la desaparición de éstas si el cultivo modificado posee características que lo hagan más fuerte (Rissler y Mellon, 1996; Boege, 2006; Turrent, 2009). Pese a lo que plantean los apologistas de la ingeniería genética agrícola, la manipulación del DNA no es tan controlable al interactuar con los ecosistemas, como se refleja bien en la polémica descrita por Druker (2015) cuando se optó en EUA OGMS en la agricultura en los años noventa.

Se agrega a lo anterior una cosmogonía de las culturas originarias diferente de la capitalista, en cuanto a una visión de mayor respeto por la naturaleza, destaca la presencia de una ética ambiental distinta que cuestiona los transgénicos como parte de un modelo productivista y depredador desde el punto de vista socioambiental. No planteo una idealización de una visión siempre respetuosa y armónica de dichos pueblos con la Naturaleza. Más bien se trata de una relación más horizontal, en la que los humanos somos parte de la Naturaleza, no sus dueños. En estos grupos humanos encontramos mayor

preservación de maíces nativos, parte integral de una gran riqueza biocultural (Massieu, 2018).

Ante los daños ambientales crecientes por el modelo de agricultura y ganadería industrial, es necesaria una nueva bioética que considere y respete lo alimentario y ambiental ante la manipulación genómica, que privilegie el respeto a la Naturaleza y la salud del consumidor por encima de los intereses de las corporaciones, y que promueva una nueva forma de hacer ciencia en la que quepan y se respeten tanto la participación social (Cely, 2008) como la democratización de la tecnología (Feenberg, 2005). Esto es especialmente relevante en los actuales tiempos de pandemia, pues el *Coronavirus* proviene de animales silvestres cuyos hábitats han sido crecientemente destruidos y las otras zoonosis pandémicas recientes (influenza, gripe aviar) han provenido del hacinamiento de animales con el sistema inmunológico debilitado en granjas industriales cercanas a las ciudades. Todo ello ha facilitado que los virus de los animales pasen a los seres humanos, con las consecuencias catastróficas que estamos viviendo (Leff, 2020; Massieu, 2021). Los movimientos sociales, y específicamente el de resistencia al maíz transgénico en México, pueden contribuir al logro de esta nueva bioética.

Movimiento social

El movimiento social contra los cultivos y alimentos transgénicos, presente tanto a nivel nacional como internacional, es una muestra notable de cómo la sociedad puede incidir en las decisiones tecnológicas y de política pública; y una manifestación de la tendencia a la democratización de la tecnología que plantea Feenberg (2005), con resultados diversos y desiguales en el mundo y en América Latina. Podemos rastrear sus orígenes en el movimiento



altermundista iniciado en Seattle en 2000. Otra organización internacional que ha manifestado una posición contraria a estas plantas y las empresas transnacionales, y a favor de la agricultura diversa en pequeña escala es la Vía Campesina, cuyo origen se remonta a 1993, comprende 182 organizaciones en 81 países en África, Asia y América, y promueve la agricultura campesina, la soberanía alimentaria y la agroecología (La Vía Campesina, s/f).

La Vía Campesina forma parte de una propuesta que se ha ido consolidando en la crítica a la agricultura industrial y los cultivos transgénicos, que ante las afectaciones presentes de la pandemia a la producción alimentaria se ve cómo cada vez más urgente: la producción de alimentos sanos con base en la agroecología y la agricultura campesina. En este aspecto hay cambios interesantes en el presente gobierno mexicano, que en programas como "Producción para el Bienestar", "Sembrando Vida" y "Jóvenes construyendo el futuro" promueve otro enfoque de la producción alimentaria, que explícitamente busca la autosuficiencia, la sustentabilidad y la valorización de la agricultura campesina (Massieu, 2021; Subsecretaría de Alimentación y Competitividad, 2020). Pese a ello, debido a la sequía (manifestación del cambio climático), estos programas no han rendido los frutos esperados y las importaciones de cultivos alimentarios importantes, como el maíz, alcanzaron cifras récord en 2021. La sequía causó un descenso de 12.5% del volumen producido en Sinaloa en el ciclo 2019-2020 (GCMA, 2020), lo cual condujo a que de enero a septiembre de 2021 se importaran 12.4 millones de toneladas, 6% más que el mismo periodo de 2020 (Pérez, 2021). El valor de las importaciones de maíz al primer semestre de 2021 es de \$ 2,331,819 miles de dólares (Statista, 2021).

En México, la movilización social respecto al maíz transgénico tuvo una confluencia con las organizaciones que demandaban soberanía alimentaria

basada en la agricultura campesina, y se desata con el descubrimiento de transgenes en parcelas de maíz en Oaxaca en 2001. En este movimiento antitransgénicos hay presencia de Organizaciones No Gubernamentales (ONG) internacionales, como Greenpeace y Erosión, Concentración, Tecnología (ETC, antes RAFI) desde fines de la década de 1990, así como organizaciones campesinas nacionales como la Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras (ANEC), la UNORCA (Unión Nacional de Organizaciones Rurales (Unión Nacional de Organizaciones Regionales Campesinas y Autónomas), ONG locales como Semillas de Vida, uccs (Unión Nacional de Científicos Comprometidos con la Sociedad), El poder del Consumidor, Grupo Vicente Guerrero y Campaña sin Maíz no hay País, ente otras, así como académicos, chefs, artistas y mercados alternativos u orgánicos. La coalición creció en pocos años, y para el caso del maíz hubo un logro importante en 2013 con la presentación de una demanda colectiva por parte de un grupo de ciudadanos y organizaciones ante las instancias jurídicas correspondientes, con el fin de detener la siembra comercial de maíz transgénico, ya aprobada por las autoridades en esos años.

Regulación nacional e internacional

Otro ámbito de análisis necesario para caracterizar la arena de disputa respecto al maíz transgénico es la regulación. Es una paradoja que, en un mundo crecientemente privatizado, la custodia de la diversidad biológica se siga depositando en los estados nacionales. Así está establecido tanto en el Convenio de la Diversidad Biológica de la Organización por parte de la ONU (1992) como en el Protocolo de Bioseguridad de Cartagena (PSCB-CDB, 2005). Ello ha conducido a la mercantilización de la Naturaleza y los recursos genéticos, entre ellos los agrícolas (Rodríguez, 2012). Ambos acuerdos



internacionales han sido firmados por México, y han afectado las acciones del gobierno mexicano respecto a la bioseguridad y fuga de transgenes en México, centro de origen del maíz.

Otro acuerdo internacional que concierne a la regulación internacional de los transgénicos en la agricultura es el Acuerdo de la FAO respecto a los recursos fitogenéticos, elaborado en 2001 y puesto en vigor en 2004 con la firma de 40 países (entre los cuales no está México). Trata de conciliar objetivos difícilmente compatibles, como el uso sustentable de recursos fitogenéticos, permitiendo el acceso tanto público como privado a éstos. También pretende una distribución equitativa de los beneficios derivados y reconocer los derechos de los agricultores, sin mencionar en ningún momento las evidentes desigualdades entre los campesinos pobres y las grandes corporaciones multinacionales (FAO, 2007). Si el cuidado de la biodiversidad requiere de políticas públicas, los intereses de las empresas transnacionales y sus socios generan dificultades para tomar acuerdos al respecto. Se trata de diversas fuerzas políticas en pugna (empresas transnacionales, productores agropecuarios, ONG campesinas y ambientalistas, consumidores), y nos encontramos con confrontaciones fuertes y situaciones en las que se avanza muy difícilmente hacia objetivos de equidad y sustentabilidad. Esto se expresa en las reacciones al decreto presidencial de 2020, que establece la eliminación gradual del herbicida glifosato hasta 2024 y la prohibición del maíz transgénico en el país. La presión de las corporaciones para liberalizar la siembra de transgénicos no es privativa de México, es una tendencia mundial.

Un problema crítico de la regulación son los costosos estudios de riesgo e impacto de los transgénicos liberados, en un contexto de escasos fondos públicos para la investigación y poder económico creciente de las corporaciones.

En el papel de la regulación pública aparece la pugna en el comercio internacional, que en el caso de nuestro país comprende anteriormente lo pactado en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y hoy en el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (TMEC). En ambos México se encuentra en una situación delicada, al ser el país más diverso biológicamente de los tres involucrados y tener una regulación restrictiva respecto a los OGMS. Canadá y EUA, además de ser potencias agrícolas exportadoras, son de los mayores productores de transgénicos en el mundo, lo que ha tenido repercusiones en cuanto a la fuga de transgenes de maíz, como se expresó en el proceso de elaboración y difusión del informe de la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA) del TLCAN en 2004 (Antal y Massieu, 2006). El aspecto de las políticas públicas y el TMEC merece detenernos para avanzar en la explicación del tema que nos ocupa.

Resulta por lo menos paradójico que el TLCAN se haya modificado a raíz de los requerimientos del presidente Trump de EUA en 2019, cuando había sido una demanda constante de los productores agropecuarios mexicanos, entre los que son muy importantes los productores de maíz, puesto que el tratado les resultaba desfavorable. También es una paradoja que esta firma del TMEC se haya dado justo en el presente gobierno mexicano, llamado de la 4ª Transformación, en el que hay importantes cambios cualitativos a favor de la agricultura campesina y la promoción de la agroecología, así como la prohibición de maíz transgénico comercial.

El cambio es trascendente porque en los regímenes neoliberales desde los años 80 y hasta 2018, la tendencia fue favorecer el agronegocio y dedicar los escasos apoyos gubernamentales a los grandes productores, principalmente de agroexportación, y a las empresas transnacionales, mientras que a las y



los pequeños productores campesinos de temporal se les destinaron políticas asistenciales, sin considerar su potencial productivo, y se optó por el abasto de granos básicos con base en importaciones. Hay un giro radical con el actual programa Producción para el Bienestar, en el cual se dirigen apoyos directos a pequeños productores temporales de menos de cinco hectáreas, algo que no se había hecho en décadas, para lograr la autosuficiencia alimentaria. Es un giro radical porque las políticas agrícolas y alimentarias de los gobiernos anteriores consideraban que a los pequeños y medianos productores había que expulsarlos del campo para dejar paso a las y los grandes productores "modernos" y "productivos". Los agricultores de más altos ingresos (3.3% del total) recibieron 59.3% del financiamiento del FIRA (Fideicomisos Instituidos en relación a la Agricultura, de fondos públicos) en el sexenio anterior. El costo fue que se produjo mayor desigualdad en el campo, se disparó la migración, la delincuencia organizada y la violencia dominan muchas regiones y se desestimuló la producción interna de alimentos básicos, incrementándose la importación. Pese a que algunas tecnologías de la RV si han sido adoptadas a lo largo de décadas por pequeños y medianos productores, en la medida de sus posibilidades, la mayor parte de las y los agricultores en México no compran semilla comercial, se calcula que apenas un 15% del total adquieren estas simientes, mayoritariamente producidas por compañías transnacionales. Este tipo de productores son la mayoría en el país, aproximadamente el 85% del total de unidades productivas (SADER, 2021).

Con respecto a la disputa sobre el maíz transgénico y los recursos genéticos, hay varios elementos pactados en el TMEC aprobado por las Cámaras de Diputados y Senadores que son cuestionables si lo que se busca es la autosuficiencia alimentaria con base en la agroecología y la agricultura

campesina. El Apartado 3-a del documento se refiere a biotecnología, y hay cuestiones que se prestan a la entrada y liberalización de cultivos transgénicos. Se habla de “facilitar el comercio de productos de la Biotecnología Agrícola, al tiempo que cumplen objetivos legítimos, incluyendo mediante la promoción de la transparencia y la cooperación, y el intercambio de información relacionada con el comercio de productos de la Biotecnología Agrícola”. Esto se presta a facilitar la importación de semillas transgénicas, dependiendo de qué se considere “objetivos legítimos” y quién va a decidir sobre ello, si bien se aclara que “esta Sección no obliga a una Parte a emitir una autorización de un producto de la Biotecnología Agrícola para que esté en el mercado”. Asimismo, en la lectura del texto se infiere que se da por hecho que habrá contaminación por transgenes, y se habla de “ocurrencia en bajos niveles” (Apartado 3-A-4) (TMEC, 2020).

Otro punto crítico del TMEC es el de los recursos genéticos y los derechos del agricultor. Los tratados internacionales referentes a este punto son los la UPOV (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales), institución internacional creada en 1961, que ha tenido varias versiones. México está adherido a UPOV 78, y con el TMEC aprobado hay un compromiso para adherirse a UPOV 91, dando un plazo de cuatro años (TMEC, 2020). Esta última versión implica la negación de derechos colectivos sobre las semillas como bien común y una mayor presión para la privatización y mercantilización de los recursos genéticos. Dicha presión contrasta con el manejo colectivo de las semillas en comunidades campesinas, en las cuales hay intercambios y mercados informales, y en el país hay acciones de resistencia respecto a la protección de semillas de maíz nativo, como parte del movimiento social que ha actuado contra la siembra comercial de maíz transgénico.



La presión del TMEC para adherir al país a UPOV 91 se expresa en la propuesta de reforma a la Ley de Variedades Vegetales hecha por un diputado en 2019, en la cual se criminaliza el uso de semilla propia (Sistema de Información Legislativa de la Secretaría de Gobernación, 2019), inclusive con multas y penas de cárcel. Los diversos colectivos que han promovido desde los años noventa la defensa de los maíces nativos y la prohibición de la siembra de maíz transgénico en el país se movilizaron y dicha iniciativa quedó congelada en la Cámara de Diputados, pero el plazo perentorio quedó establecido en el TMEC y el país se debe adherir a UPOV 91 en 2023. La propuesta de reforma criminaliza el uso de semilla “protegida” (se entiende que propiedad de alguna empresa semillera) (artículo 54) (SILSG, 2019). En el caso del maíz, que es una planta de polinización abierta, se da el paso de polen de una variedad protegida a una que no lo está, así como el mejoramiento empírico que hacen muchos campesinos al cruzar en sus parcelas variedades híbridas comerciales con propias.

Hay contradicción entre lo planteado en el TMEC y una política agropecuaria que busca un cambio cualitativo profundo, y los intereses confrontados de la arena de disputa siguen en pie. Esto se evidencia también en las airadas reacciones de las empresas transnacionales y algunos sectores del empresariado agrícola contra el decreto presidencial de 2020, que han incluido la presentación de amparos contra el decreto, y la creación de un fondo específico por parte del Consejo Nacional Agropecuario (que agrupa a los empresarios agrícolas), el cual considera 12 millones de pesos iniciales para la presentación de 10 amparos (Enciso, 2021). Monsanto obtuvo una suspensión provisional de la aplicación del decreto en abril de 2021 (Usla, 2021), pero un mes después otro juez rechazó el intento del CNA por detener el decreto (Aristegui Noticias, 2021). Curiosamente, buena parte de la polémica ha



enfaticado la eliminación gradual del glifosato y la prohibición de siembra de maíz transgénico no ha sido tan mencionada, en una discusión en que se dan argumentos respecto a la característica carcinogénica del herbicida. Ante las presiones de EUA, en diciembre de 2022, el presidente López Obrador suaviza la prohibición de la importación de maíz transgénico en el decreto, u declara que la prohibición sólo se refiere a maíz para consumo humano. En este último, que es maíz blanco, somos autosuficientes, es decir, se regresó al estado de cosas anterior, en el que nuestro país importa maíz transgénico amarillo para la ganadería y la industria (Sun, 2022).

El tema del glifosato es relevante en cuanto al maíz y otros cultivos transgénicos porque se aplica masivamente en los resistentes a este herbicida. Se trata de un mercado rentable cuyas importaciones alcanzaron los 1,667 millones de dólares entre 2010 y 2020, con cifras que aumentan cada año. Es el herbicida más utilizado en el mundo (de 1996 a 2021 su aplicación aumentó en 1500% con la siembra de cultivos transgénicos), fue introducido en 1974 por la empresa Monsanto (con el nombre comercial de Roundup). En 2015 fue considerado como probable carcinógeno por la Organización Mundial de la Salud en 2015, lo cual fue ratificado por el Departamento de Salud de EUA en 2019, que publicó un reporte toxicológico. En 2020 se publicó la Antología toxicológica del glifosato, integrada por 1,108 investigaciones científicas sobre los efectos de este herbicida en la salud y el medio ambiente (Conacyt, s/f, pp. 1-2). El decreto y la polémica que desató han causado fisuras al interior del gobierno, y posiblemente estuvieron relacionadas con la salida del jefe de la oficina de la presidencia Alfonso Romo, quien forma parte del poderoso lobby que ha promovido los transgénicos y el uso del herbicida. Es un grupo poderoso



en el cual se encuentran el Secretario de Agricultura, Víctor Villalobos y el asesor jurídico de la Presidencia, Julio Scherer, así como:

Asociaciones, corporaciones transnacionales como Monsanto (que fue comprada por Bayer en 2018), que pertenecen a la red de transnacionales agrupadas en CropLife internacional con asociaciones regionales en Norteamérica (CropLife America), Latinoamérica (CropLife Latin América) y otras en todo el mundo (Melgoza y Rincón, 2021).

A pesar del poderío de este lobby, llama la atención la persistencia y tenacidad del movimiento social de defensa del maíz y contra el maíz transgénico, quien en octubre del mismo 2021 obtuvo otro logro: la Suprema Corte de Justicia de la Nación negó un amparo a Monsanto, Syngenta Agro, PHI México para combatir una decisión judicial de 2016. Esta última consistía en la prohibición de la siembra de maíz transgénico en el país. En la demanda participó como tercero interesado la Colectividad de Titulares del Derecho al Medio Ambiente Sano para el Desarrollo y Bienestar de Todas las Personas (Barragán, 2021), organización derivada de la Demanda Colectiva de 2013.

La medida cautelar decretada que impide la expedición de permisos comerciales para liberar al ambiente OMGs de maíz (transgénicos), así como la restricción para la emisión de permisos experimentales y piloto al uso de medidas de contención y a la supervisión judicial, para proteger al medio ambiente y a la diversidad de maíces nativos, se decretó en tanto se resuelve el juicio principal, toda vez que de no concederse podría causarse un daño irreversible al medio ambiente, ante una situación de incertidumbre científica acerca de los riesgos, los daños y los agentes causales (SCJN, 2021).

Si bien esta medida cautelar no significa la prohibición definitiva del maíz transgénico en México (para eso se requiere la resolución del "juicio principal"),

es un paso importante, aunque en México no necesariamente las medidas legales se cumplen, como se observa en la siembra de soya transgénica en el sureste del país, donde continúa la producción ilegal con graves repercusiones ambientales y económicas. De cualquier manera, la reciente decisión de la Suprema Corte es una expresión más de una política contradictoria y un avance hacia la democratización de una tecnología que a la fecha sigue siendo polémica y en torno a la cual hay intereses encontrados. Es una manifestación de la vitalidad de las y los diversos actores involucrados y su participación en las decisiones tecnológicas y socioeconómicas, que en este caso han salido del ámbito de los expertos y sus decisiones (elemento fundamental para la democratización de la tecnología según Feenberg) para abrirse a la participación social.

Reflexiones finales

En México se vive una situación de claroscuros: por una parte, se promueve la agroecología, la agricultura campesina y la prohibición del maíz transgénico, y a la vez se firma un tratado comercial que implica avanzar en la posible siembra e importación de estas plantas y semillas, mientras que la promoción de la agroecología se expresa en el Decreto presidencial de 2020 y en programas gubernamentales. El decreto ha levantado airadas respuestas de las corporaciones agroalimentarias y biotecnológicas y sus aliados en el país, mientras que el TMEC ha generado diversas acciones de resistencia a la autorización de la siembra comercial de maíz transgénico.

La democratización de la tecnología y la sustentabilidad aparecen como componentes esenciales de una arena de disputa con intereses confrontados

y dificultad para soluciones negociadas. En ello tiene un papel fundamental la regulación gubernamental e internacional, el entramado legal y las acciones de las y los actores sociales. Se observan cambios con el presente gobierno que han implicado la apertura de espacios para el movimiento social contra el maíz transgénico, por la preservación de maíces nativos y la promoción de la agricultura campesina y la soberanía alimentaria, en el cual hay una presencia importante de actores y actrices sociales urbanos y rurales. Creo que en los logros de este movimiento influye la fuerte cultura alimentaria e histórica respecto al maíz.

Los elementos vertidos en el texto expresan la manifestación de los postulados de la ecología política (Toledo, 2019) respecto a la sobreexplotación de la naturaleza y el trabajo, presentes en el modelo del monocultivo industrial de la RV, hoy agudizado con la siembra de transgénicos, así como una tecnociencia que genera y reproduce sociedades desiguales. La arena de disputa descrita abona a entender la resistencia a la siembra comercial de maíz transgénico en el país como un paso hacia la democratización de la tecnología en el sentido de Feenberg (2005), pues en las decisiones al respecto está presente una sociedad civil activa y participativa.

Referencias

- Antal, E. y Y. Massieu (2006). La regulación en bioseguridad en un mundo desregulado: la Unión Europea y los países del TLCAN. *Agencias ambientales: Europa y América del Norte. Perspectivas y alcances*. UAM-Azcapotzalco y Cuajimalpa/Pomares, (pp. 121-151).
- Aristegui Noticias (24 de mayo de 2021). Juez rechaza intento del CNA por detener prohibición a maíz transgénico y glifosato. Redacción. *Aristegui Noticias*. <https://aristeginoticias.com/2405/mexico/juez-rechaza-intento-del-cna-por-detener-prohibicion-a-maiz-transgenico-y-glifosato/>
- Ávila, F., Massieu, Y., Castañeda, Y., Noriero, L., y González, A. (2014). Los productores de maíz en Puebla ante la producción de maíz genéticamente modificado. *Sociológica* 29 (82), (pp. 45-82).
- Barragán, S. (2021). "Suprema Corte niega amparo a Monsanto y trasnacionales sobre transgénicos". *Aristegui Noticias*. <https://aristeginoticias.com/1310/mexico/suprema-corte-niega-amparo-a-monsanto-y-trasnacionales-sobre-transgenicos/>
- Boege, E. (2008). El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI).
- Bolívar, F. (Ed.). (2017). *Transgénicos. Grandes beneficios, ausencia de daños y mitos*. Academia Mexicana de Ciencias, El Colegio Nacional, Instituto de Biotecnología-UNAM .
- Buiatti, M. (2005). *Biologies, Agricultures, Biotechnologies. Tailoring Biotechnologies*, 1, (p. 1).
- Buttel, F. (1995). *Biotechnology, an epoch-making technology?. The Biotechnology Revolution?*.
- Castañeda, Y. y Massieu, Y. (2017). Las semillas de maíz: artefacto, bien común y ser vivo. *Revista Sociedades Rurales. Producción y Medio Ambiente*, (p. 32).
- Chauvet, M. y González, R. (2008). Biocombustibles y cultivos biofarmacéuticos: ¿oportunidades o amenazas?. *El Cotidiano*, 147, (pp. 51-61).
- Cely, G. (Ed.). (2008). Organismos modificados genéticamente y futuro alimentario. En G. Cely Galiendo (Ed.), *Bioética Humanismo científico emergente*. Pontificia Universidad Javeriana, Instituto de Bioética. Colección Bioética.
- Conahcyt (s/f). *Expediente científico sobre el glifosato y los cultivos GM*. <https://conahcyt.mx/expediente-cientifico-sobre-el-glifosato-y-los-cultivos-gm/>
- Cruz, A. (2008) De la tecnología tradicional a la etnoagronomía: hacia la construcción de una propuesta. En *La dimensión cultural en procesos de desarrollo rural regional: casos del campo mexicano*. UACH, Dirección de Centros Regionales Universitarios, (pp. 113-127).

- Delgado, G. (2017). Hacia la conformación de nuevas perspectivas socio-ecológicas: una lectura desde el caso de la ecología política. En *Ecología política latinoamericana. Pensamiento crítico, diferencia latinoamericana y rearticulación epistémica*, (pp. 167-195). CLACSO-UAM.
- Díaz de León, M. y Cruz, A. (1998), *Nueve mil años de agricultura en México. Homenaje a Efraín Hernández Xolocotzi*. México: Grupo de Estudios Ambientales (GEA) y Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Druker, S. (2015). *Genes alterados, verdad adulterada*. Icaria
- FAO. (2007). *Tratado internacional sobre los recursos filogenéticos para la alimentación y la agricultura*. www.fao.org/ag/cgrfa/spanish/itpgr.htm
- Enciso, A. (2021). El CNA arma estrategia para atacar el decreto contra el uso de glifosato. *La Jornada*. Sociedad y Justicia. <https://www.jornada.com.mx/2021/02/19/sociedad/034n1soc>
- Feenberg, A. (2005). Critical theory of technology: an overview. *Tailoring Biotechnology. Potentialities, Actualities and Spaces*. 1 (p. 1).
- FullBlog. (2011). Tratados de protección ambiental. *Informe del Club de Roma 1972*. <http://compromisoambiental.fullblog.com.ar/informe-del-club-de-roma-1972.html>
- González, J. (2005). *Genoma humano y dignidad humana*. UNAM/Anthropos.
- Grosfoguel, R. (2016). Caos sistémico, crisis civilizatoria y proyectos descoloniales: pensar más allá del proceso civilizatorio de la modernidad/colonialidad. *Tabula Rasa* 25, (pp. 153-174).
- GCMA. (2020). *Menor producción de maíz elevará importaciones en 2020*. <https://gcma.com.mx/menor-produccion-nacional-de-maiz-elevara-importaciones-en-2020-gcma/>
- Hernández, E. (1985). Xolocotzia. Tomo I. Obras de Efraín Hernández Xolocotzin. *Revista de Geografía Agrícola*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Hewitt, C. (1975). *La modernización de la agricultura mexicana. 1940-1970*. Siglo XXI Editores.
- ISAAA. (2019). *ISAAA Brief 55-2019: Executive Summary*. Biotech Crops Drive Socioeconomic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>
- Kuhn, T. (1993). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Breviarios, Fondo de Cultura Económica, México
- La Vía Campesina. (s/f). Movimiento campesino internacional. <https://viacampesina.org/es/la-via-campesina-la-voz-las-campesinas-los-campesinos-del-mundo/>
- Leff, E. (2017). Las relaciones de poder del conocimiento en el campo de la ecología política: una mirada desde el sur. En *Ecología política latinoamericana. Pensamiento crítico, diferencia latinoamericana y rearticulación epistémica*, (pp. 129-165). CLACSO-UAM.

- Leff, E. (2020). A Cada Quien su Virus. La Pregunta por la Vida y el Porvenir de una Democracia Viral, HALAC - Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña, *Revista de la SOLCHA*, 139-177, <http://halacsolcha.org/index.php/halac>
- Long, N. (2007). *Sociología del desarrollo. Una perspectiva centrada en el actor*. CIESAS y Colegio de San Luis.
- Marcuse, H. (1968). *El hombre unidimensional. Ensayo sobre la ideología la sociedad industrial avanzada*. Planeta. <https://docs.google.com/file/d/0Bxp578lu7b6yU0wyMVgwTFRudVU/edit?resourcekey=0-DmgkCU65GgUCnlFva6F2Rg>
- Massieu, Y. (2009). Cultivos y alimentos transgénicos en México. El debate, los actores y las fuerzas sociopolíticas. *Argumentos*, 59 (22), 8pp. 217-246).
- Massieu, Y. (2016). Sustentabilidad, soberanía alimentaria y políticas públicas en México: ¿misión imposible?. En *Reflexiones sobre seguridad alimentaria. Búsqueda y alternativas para el desarrollo de México*. IIEc-UNAM.
- Massieu, Y. (2018). *Mirada de jaguar. Venturas y desventuras de la biodiversidad en América Latina*. UAM-Xochimilco.
- Massieu, Y. (2021). Crisis civilizatoria y socioambiental en tiempos de coronavirus. *Argumentos*, 96 (1), 8 (pp. 21-40).
- Massieu, Y. (2021). Producción para el Bienestar: inclusión y soberanía alimentaria. *La Jornada* <https://www.jornada.com.mx/2021/08/21/delcampo/index.html>
- Massieu, Y. y Verschoor, G. (2011). Frankenstein y sus pasos por la milpa: el maíz transgénico en México. En *La encrucijada del México rural. Contrastes regionales en un mundo desigual. Tomo V. Sustentabilidad y desarrollo, alternativas tecnológicas y productivas*. UAM-AMER.
- McMichael, P. (1999). La política alimentaria global. *Cuadernos Agrarios. Nueva época*, 17 (18), (pp. 9-28).
- Melgoza, A. y Rincón, S. (2021). La batalla por erradicar el glifosato. Ponerle fin a los agrotóxicos libró una guerra en el gabinete de AMLO. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/interactivos/2021/glifosato/>
- Moreano, M., Molina, F., y Bryant, R. (2017). Hacia una ecología política global: aportes desde el sur". Ecología política latinoamericana. En *Pensamiento crítico, diferencia latinoamericana y rearticulación epistémica*, Vol. I, CLACSO, (pp. 197-212).
- Noriero, L. y Massieu, Y. (2018). Campesinos maiceros en Tlaxcala: viabilidad, caracterización y respuestas ante el maíz transgénico. *Sociedad y Ambiente*, 6(16), (pp. 179-206).
- Ominami, C. (1986) Tercera Revolución Industrial y opciones de desarrollo. *La Tercera Revolución Industrial. Impactos Internacionales del Actual Viraje*. RIAL. Anuario. Grupo Editor Latinoamericano.

- ONU. (1987). Informe de la Comisión sobre medio ambiente y desarrollo. Nuestro futuro común. <https://drive.google.com/file/d/1VHuacfetduxOc7DQz60qlemAfGbHdo5Y/view>
- Otero, G. (1991), El contexto global del análisis de impactos de la biotecnología en la agricultura. En J. Walter (Ed.), *Análisis de impacto de las biotecnologías en la agricultura: aspectos conceptuales y metodológicos*. IICA.
- Pensis Tec. (2015). *La revolución del nuevo siglo*, Tecnológico de Costa Rica. <https://www.tec.ac.cr/pensis/articulos/revolucion-nuevo-siglo>
- Pérez, C. (1986). Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto. En C. Ominami (Ed), *La tercera revolución industrial, Impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Grupo Editor Latinoamericano.
- Pérez, J. (3 de diciembre de 2021). Se dispara importación de maíz blanco a México en 2021. *Los noticieristas*. <https://losnoticieristas.com/post/136326/se-dispara-importacion-de-maiz-blanco-a-mexico-durante-2021/>
- Pistorius, R. (1997). *Scientists, Plants and Politics. A history of the plant genetic resources movement*. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia.
- PSCB-CDB (2005). Decreto Promulgatorio del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, en Bartra *et al.*, *Transgénicos, ¿quién los necesita?*, Grupo Parlamentario del PRD, Cámara de Diputados, Congreso de la Unión, LIX Legislatura, México, pp. 217-248.
- Rissler, J. y Mellon, M. (1996). *The ecological risks of engineered crops*. Londres: The MIT Press.
- Robbins, P. (2010). *Political Ecology. A critical introduction*. EUA/ Reino Unido/Australia: Blackwell Publishing.
- Rodríguez, S. (2012). *El despojo de la riqueza biológica: de patrimonio de la humanidad a recurso bajo la soberanía del Estado*.
- SADER. (2021), *Razones para apostar por el cambio a favor del campo. Comparativo producción para el bienestar versus Procampo-Proagro, Subsecretaría de Alimentación y Competitividad*, Gobierno de México, <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/663825/Comparativo-bienestar-completo.pdf>
- SISLSG. (2019). *Iniciativa que reforma y adiciona diversas disposiciones a la Ley Federal de Variedades Vegetales, a cargo del diputado Eraclio Rodríguez Gómez, del grupo parlamentario de Morena*. <http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2019/04/asun-3871075-20190429-1550605264.pdf>
- Statista. (2021). *Valor de la importación de algunos cereales a México en el primer semestre de 2021*. Agricultura. 6 de septiembre. Statista Research Department. <https://es.statista.com/estadisticas/646049/valor-total-de-importacion-de-cereales-desde-el-mundo-a-mexico/#:~:text=En%20el%20primer%20semestre%20de,d%C3%B3lares%20durante%20el%20mismo%20periodo.>

- Subsecretaría de alimentación y competitividad. (2020). La política pública en la cuarta transformación. En O. Acuña y M. Meza (Coord.), *La autosuficiencia alimentaria en la coyuntura de la cuarta transformación*. (pp. 25-62). UAM-Xochimilco.
- Sun (2022). López Obrador rechaza maíz amarillo para consumo humano. *Informador.mx*. <https://www.informador.mx/mexico/AMLO-Rechaza-Presidente-maiz-amarillo-para-consumo-humano-20221209-0062.html>
- SCJN. (14 de octubre de 2021). Comunicados de prensa. No. 316. <https://www.internet2.scjn.gob.mx/red2/comunicados/noticia.asp?id=6624>
- Toledo, V. (2019). *Los civilizacionarios. Repensar la modernidad desde la ecología política*. UNAM-IIES.
- TMEC. (2020). Protocolo por el que se sustituye el Tratado de Libre Comercio de América del Norte por el Tratado entre los Estados Unidos Mexicanos, los Estados Unidos de América y Canadá. *Diario Oficial de la Federación*, <http://dof.gob.mx/2020/SRE/TMEC-290620.pdf>
- Turrent, A. (13 de enero de 2009). Potencial productivo del maíz en México. *La Jornada del campo*. Suplemento informativo de La Jornada, núm. 16,
- Usla, H. (2021). Monsanto gana 'round' al gobierno sobre glifosato y maíz transgénico. *El Financiero*. <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2021/04/26/monsanto-gana-round-al-gobierno-sobre-glifosato-y-maiz-transgenico/>
- Wallerstein, I. (1974). *El moderno sistema mundial. La agricultura capitalista y los orígenes de la economía-mundo europea en el siglo XVI*. Siglo XXI Editores.
- Wallerstein, I. (2011). El debate en torno a la economía política de El Moderno Sistema Mundial, Mundo Siglo XXI, *revista del CIECAS-IPN*, 24 (6), (pp. 8-12).
- Wolf, E. (1972). Ownership and Political Ecology. *Anthropological Quarterly*, 45 (3), (pp. 201-205).
- WWF. (2016). Informe Planeta Vivo. Riesgo y resiliencia en una nueva era. WWF, ZSL, *Global Footprint Network*. [<http://www.wwf.org.co/?282650/Informe-Planeta-Vivo-2016-Riesgo-y-resiliencia-en-una-nueva-era>]

SISTEMA SOCIO-ECOLÓGICO DEL CAÑÓN DEL USUMACINTA: INTERACCIONES ENTRE UNIDADES PRODUCTORAS DE MIEL Y LA NATURALEZA

*Ángel José Martínez Salinas**
*Paola Selene Vera Martínez***
*Erika Guadalupe Ceballos Falcón****

Introducción

Los Sistemas sociales y los ecológicos son sistemas complejos adaptativos que coevolucionan, forman lo que se denomina Sistema Socio-Ecológico (SSE), en este sentido las interacciones humanas van más allá del ámbito social porque se acoplan a los eventos que emanan del medio ecológico. Con el propósito de comprender esta relación de sistemas, el presente escrito desarrolla un análisis de una red compuesta con elementos involucrados en la producción de miel que conservan la biodiversidad, es una representación de la relación entre los bienes comunes y las Soluciones Basada en las Naturaleza (SbN).

* Doctorante en Ciencias de la Administración, UNAM.

** Profesora Titular de la Facultad de Contaduría y Administración, UNAM.

*** Profesor-Investigador de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



El Diario Oficial de la Federación de México (DOF) menciona que "Los bienes comunes se encuentran en el ambiente natural, en el presente estudio se localizan por el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón del Usumacinta (APFFCU), localizada en el municipio de Tenosique, en el Estado de Tabasco" (DOF, 2015a, p. 2). El trabajo, siguiendo a Merino (2014), considera a los bienes comunes "como aquellos bienes compartidos cuya gobernanza y uso sostenido requieren acción colectiva (pp. 78-79). En este sentido, el SSE es el entorno en que se toman decisiones a partir de una organización administrativa que llamamos Solución Basada en la Naturaleza (SbN), que como menciona Martín, *et al.*, (2021):

Las SbN incluyen todas las acciones y estrategias de gestión destinadas a mantener y mejorar la función del ecosistema, al tiempo que proporcionan beneficios sociales y económicos. SbN destaca el papel de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales para abordar la seguridad alimentaria, la pobreza, la escasez de agua, el cambio climático u otros desafíos sociales, (p. 2).

En este contexto, el ser humano es un elemento del sistema que reconoce las propiedades y las puede explicar en sus múltiples niveles de organización con el propósito de comprender su permanencia en el tiempo por la evolución histórica desarrollada en el SSE. Dicha evolución se expresa como la interacción entre los servicios ecosistémicos, los hechos sociales y los hechos económicos los cuales dan lugar a la emergencia de espacios delimitados territorialmente. En este sentido, una convergencia sustentable sería aquella en la que la innovación permite mantener los bienes comunes, como lo señalan Merino (2014) y Wolkmer, *et al.*, (2022). La razón es que al tener una interacción con el ambiente natural, social y económico emergen prácticas de los bienes comunes que favorecen el cuidado del SSE.

En este sentido es donde la relación entre la sustentabilidad y la innovación resultan un elemento de suma importancia para explicar fuentes relacionales entre los múltiples niveles de organización de vida que aportan a una producción dinámica que mantienen el SSE, es decir permite comprender las retroalimentaciones que dan mantenimiento o degradan al ambiente natural.

Con el fin de contar con una representación de las interacciones entre los bienes comunes y la SbN, decidimos analizar la actividad de la meliponicultura desarrollada en el APFFCU; en este tratamiento de la información es posible comprender en primer término, las interacciones de las que emanan actividades que sustentan el sistema o lo degradan. En un segundo, se encuentra la convergencia entre la actividad productora de miel con el componente cultural porque la meliponicultura en la región "ha representado una actividad muy importante dentro de la cultura maya [Tabasco es una región con origen maya], desde tiempos ancestrales previos al contacto hispano" (Negrín, 2016, p. 3). La actividad de la meliponicultura que se desarrolla en el área protegida tiene el fin de proporcionar un sustento a las familias que residen en el lugar, las cuales conforman unidades productivas de miel.

Además, esta actividad contribuye a conservar el ambiente natural, lo que a su vez, fomenta la preservación de los servicios ecosistémicos, en lo anterior se observa lo señalado por Avendaño Leadem, *et al.*, (2020), que manifiesta como "incluir las preocupaciones ecológicas en términos económicos, destacar la dependencia de la sociedad en los ecosistemas naturales, así como promover el interés público en la conservación de la biodiversidad" (p. 65). Observamos que dichos elementos han sido integrados históricamente porque fomentan e impulsan hechos que por largo tiempo han generado actividades mieleras que van desde conocer la floración, debido a la polinización de la abeja, hasta la recolección y cuidado de los depósitos de miel.



La actividad de meliponicultura va acorde con los ciclos naturales, por lo que su proceso fomenta la convivencia con el ecosistema, estas formas de vida “son sostenibles, ya que utilizan flujos naturales de materia y energía, aprovechan las soluciones locales y siguen los cambios estacionales y temporales de los ecosistemas” (Keestra *et al.*, 2018, p. 998). Es decir, no son actividades artificiales impuestas por las actividades humanas, sino que hay una capacidad humana que reconoce la dinámica del sistema, identificando los ciclos de vida. En este sentido, al hacer un estudio de la relación que converge entre los ámbitos ambientales, sociales y económicas que conciernen a la actividad de la meliponicultura en el área protegida que aporta al conocimiento de la relación entre la sustentabilidad con la innovación y el conocimiento tradicional que refiere a la preservación del SSE. Lo anterior, en contraste de como lo hace la forma de producción que no considera los ciclos de vida del ambiente natural. Así, el estudio de la actividad de la meliponicultura en el APFFCU permite visualizar conocimientos desarrollados en largos periodos de tiempo, por tanto, con un peso histórico pero que son innovaciones al preservar la convergencia de actividades que dan beneficios en el ambiente natural, social y económico. Es decir, que contribuyen a la resiliencia del SSE, que en palabras de Prieto (2013) es “la capacidad del sistema para conservar su estructura interna frente a las perturbaciones, asimilando así cambios sin tener que tergiversar lo cualitativo, es decir, sin perder las propiedades que lo caracterizan” (p. 25). Para Toledo (2019), comprender estos procesos lleva a “conciencia doble, que es social y ecológica” (p. 52), es una relación compleja asumida por actores sociales que con interacciones a pequeña escala impactan en múltiples escalas al SSE.

Con lo anterior, se participa en el eje analítico que refiere a las aportaciones sobre el estudio de la sustentabilidad y su relación con las nuevas tecnologías, por el trato multidimensional que permite representar una red con las interacciones entre aspectos sociales, económicos y del ambiente natural, que hace pensar en la integración de avances tecnológicos a las SbN para facilitar una gestión destinada a mantener y mejorar la preservación del SSE. Con la caracterización de la red, se cumple con el objetivo de realizar un recorrido sobre diferentes narrativas que abordan la problemática teórico-metodológica de la sustentabilidad y su relación con la tecnología. La interpretación de las medidas de la red proporciona una sistematización que contribuye a la diversidad de enfoques y evidencias empíricas, las cuales se han desarrollado en torno a la sustentabilidad. Las relaciones dentro de la red, vistas a través de las medidas de centralidad, permiten identificar actividades derivadas de la interacción entre los servicios ecosistémicos y las unidades productivas de miel. Estas actividades promueven el mantenimiento del SSE al comprender los ciclos naturales que fomentan la diversidad natural, al tiempo que se integran acciones sociales y económicas que respetan el ecosistema planetario.

Marco conceptual

La interdependencia entre el ser social y la naturaleza que caracteriza a la meliponicultura es visualizada en procesos administrativos comprendidos como sistemas adaptativos complejos, los cuales pueden ser entendidos teóricamente desde la panarquía, como lo plantean Folke, *et al.*, (2021) y Walker *et al.*, (2004), porque se adaptan y transforman en una diversidad de caminos del SSE, en este sentido, la investigación siguiendo a Holling (2001), quien considera lo siguiente:



La panarquía es la estructura jerárquica en la que los sistemas de la naturaleza (por ejemplo, bosques, praderas, lagos, ríos y mares) y humanos (por ejemplo, estructuras de gobierno, asentamientos y culturas), así como sistemas combinados de humanos y naturaleza (por ejemplo, las agencias que controlan el uso de los recursos naturales) (Gunderson et al., 1995) y los Sistemas Socio-Ecológicos (por ejemplo, los sistemas de gestión coevolucionados) (Folke et al., 1998), están interrelacionados en interminables ciclos adaptativos de crecimiento, acumulación, reestructuración y renovación, (p. 392).

Los ciclos adaptativos son procesos críticos percibidos, según Wieland (2021), en diferentes niveles de “escalas de tiempo, espacio y significado” (p. 59), son eventos que emergen de los movimientos desarrollados por la interacción de los elementos del sistema; es un proceso coevolutivo, como lo propone Janzen (1980) y Torres (2009), debido a la interdependencia estructural en que emerge vida. La estructura que permite comprender los procesos críticos es suministrada por la panarquía comprendida en las relaciones multinivel, que pueden ser localizadas en servicios ambientales como la polinización, Pantoja, et al., (2014); así como en actividades bioculturales, Jiménez, et al., (2016) y Toledo (2013). Estos procesos multinivel pueden ser caracterizadas en el APFFCU localizada en el SSE y reglamentadas por las SbN; dado que dicha relación permite a las unidades productoras de miel del APFFCU trabajar la meliponicultura. Al respecto Chan Mutul, et al., (2019) señala:

El estado de Tabasco cuenta con una importante diversidad biocultural, alberga a distintos grupos culturales y mestizos, así como a personas originarias de otros estados y culturas campesinas que conviven en su día

a día con una considerable variedad biológica [...] Las meliponiculturas tabasqueñas provienen de estos distintos grupos culturales, (p. 292).

La biodiversidad es la variedad biológica, Holling (2001) la explica como “la complejidad de los sistemas vivos de las personas y la naturaleza no surge de una asociación aleatoria de un gran número de factores que interactúan sino de un número menor de procesos de control” (p. 391). Al respecto, Carmen, *et al.*, (2022) mencionan que hay “múltiples factores (incluyendo capital social) para mejorar activamente la resiliencia en configuración de la comunidad” (p. 2); aparte, la razón de la mejora reside en que de las relaciones multinivel emergen pautas que indican diversos caminos generando vida e información que permite adaptarse a posibles perturbaciones del sistema natural, social y económico. Para Ostrom (2013) al estudiar estas relaciones se logra “una mayor acumulación de conocimientos sobre las interacciones y resultados en ambientes muy complejos” (p. 19). Lo cual permite concretar lo mencionado por Teece (2019), cuando indica que “diferentes estrategias requieren diferentes capacidades, y viceversa” (p. 11). Los elementos relacionados en el SSE permiten la conservación de la biodiversidad porque hay distintas capacidades y estrategias visualizadas en los servicios ecosistémicos.

Dichas relaciones de colaboración compleja, según Azadegan y Dooley (2021), pueden ser representadas topológicamente por redes para localizar elementos que puedan ser parte de estrategias de colaboración. Es lo que para Kok, *et al.*, (2021) es una política compleja al permitir conocer transiciones en sistemas adaptativos complejos porque los “sistemas exhiben un grado de resiliencia ya que las interacciones locales pueden adaptarse a su entorno” (p. 3). Logrando una adaptación en las perturbaciones que los diversos grupos



y niveles de organización del SSE son percibidas en las dinámicas de la unidad productiva. Por lo tanto, la investigación considera pertinente caracterizar topológicamente los procesos del sistema en una red utilizando la teoría de grafos para conocer los nodos más significativos del sistema, porque generan agrupación o cuentan con intermediaciones sólidas que facilitan las interacciones en el SSE.

Metodología

El objetivo general del presente trabajo es analizar las interacciones del APFFCU con el propósito de comprender la vinculación entre los sistemas sociales y ecológicos desarrollados en el SSE. Para ejecutar dicho análisis se presenta la red configurada por los elementos involucrados en la producción de miel con eventos que conservan la biodiversidad de la región.

Para ser más precisos, el objetivo específico es analizar una red con nodos del APFFCU, que se definen con eventos sociales y eventos que conservan la biodiversidad natural de la región para mostrar los tejidos interdependientes en medidas de distribución de grado, intermediación y coeficiente de agrupamiento.

Para llegar a dichos objetivos se utilizó la teoría de *grafos* como método para presentar la red compuesta por los elementos involucrados en la producción de miel en el área natural, así se propone visualizar los procesos entre el SSE y las actividades de las productoras de miel que se desarrollan en la SbN. Al respecto, Cárdenas Tapia (2016) indica que, en "el análisis de redes, se describen y estudian las estructuras relacionales que surgen cuando diferentes organizaciones o individuos interactúan, se comunican, coinciden, colaboran, etc., por medio de diversos procesos o acuerdos" (p. 63).

La información sistematizada fue extraída del APFFCU y las unidades productoras de miel de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONAP, 2021a); CONAP, 2021b; dof, 2015a; DOF, 2015b; Nates Parra, 2005; Pérez y Canto, 2020; Reyes, 2015; Sánchez-Chino, *et al.*, 2019; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2015). Con los datos recaudados se definen los nodos y enlaces con el propósito de tener una red que visualmente nos muestre la complejidad de relaciones entre las productoras de miel y el SSE. También se usan medidas de agrupación y de tendencia central para comprender los elementos más relevantes de la red.

Tabla 1. Productores de miel de APFFCU

Tipo de proyecto	Número de proyectos	Sexo		Jobones y/o cajas meliponas	Colmenas <i>Apis mellífera</i>
		Mujer	Hombre		
Individual	7		7	15	7
	2	2		5	
Subtotal	9	2	7	20	7
Grupo	2		6	4	4
	1	2		10	6
	9	16	21	41	31
Subtotal	12	18	27	55	41
Total	21	20	34	75	48

Fuente: Con datos de Belmont, Godínez y Alejo (2021), en Vera y Ceballos (2021).

Los nodos son los elementos sociales y naturales del SSE que se localizan en las unidades productivas de miel, (ver Tabla 1). Otro concepto para tener presente es el de "enlaces", se define como el vínculo de dos nodos que ocurre cuando participan directamente en la unidad productiva de miel, por ejemplo, la Flora con la abeja *Apidae* o Administración con Capacidades. Con esta información se tiene una red sin dirección ya que solo es relevante que los nodos se vinculen para ver el proceso de interacción entre los elementos sociales y naturales del SSE.

El análisis del *grafo* o red se realizó con el programa *Cytoscape*, para comprender la estructura entre los nodos enlazados, como Lewis (2011) menciona que al referirse a las relaciones visualizadas por la teoría de grafos vamos a contar con hechos que ocurren en las delimitaciones que los elementos de la realidad nos presentan en sus relaciones, al respecto indica:

[...] su estructura (por ejemplo, nodos y enlaces), y su comportamiento (lo que la red 'hace' como resultado de las interacciones entre el nodos y enlaces). Diremos, " una red es siempre una representación o modelo de la realidad observable, no es que la realidad en sí". Las redes son gráficos que representan algo real (p. 6).

Con este método es posible conocer los nodos con mayor medida de intermediación (BC, por sus siglas en inglés), esto significa que es posible tener una representación de los mecanismos de interacción, los cuales participan en mantener la diversidad apuntalando los servicios del ecosistema del Cañón del Usumacinta. La razón es que son visibles los nodos por los que pasan más caminos en la red, permitiendo localizar actividades sustentables que

las unidades productoras de miel practican al interactuar con elementos del ambiente natural, sociales y económicos.

También obtendremos la medida del coeficiente de agrupamiento de cada nodo (cc, por sus siglas en inglés), esta da una medida numérica de cómo se enlazan los procesos sustentables con las actividades de las productoras de miel visualizadas en grupos.

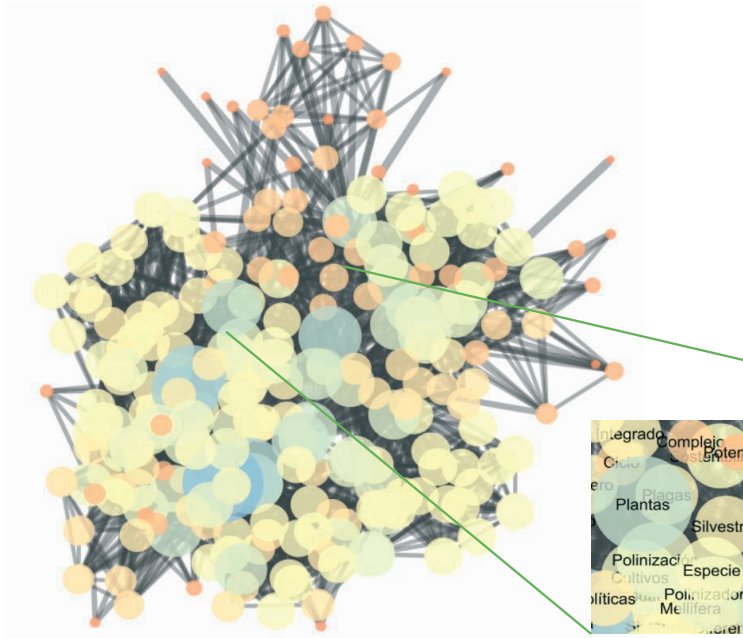
Finalmente, contaremos con la distribución de grado (DG) que nos señala el número de enlaces que tiene un nodo y nos permite conocer si hay un nodo que concentra más enlaces y como es el tipo de red. A continuación, se muestra el desarrollo de la metodología, que como resultado tenemos la “Red de bienes naturales y unidades productoras de miel en el SSE”, un producto de la interacción de las personas que cohabitan con los bienes naturales en el marco del APFFCU.

Desarrollo de la Red de bienes naturales y unidades productoras de miel en el SSE

En la Figura 1, la red se constituye de un componente con 245 nodos; considerando las medidas globales, que refieren al *grafo* o red completa, tiene un coeficiente de agrupamiento de 0.84 unidades; esto nos indica que es una red con una conectividad alta; su diámetro es de cinco unidades, que muestra la mayor distancia entre dos nodos, y un radio de tres unidades lo cual señala la distancia mínima entre dos nodos.



Figura 1. Red de bienes naturales y unidades productoras de miel en el SSE



Fuente: Cañón del Usumacinta y productores de miel de APFFCU en *Cytoscape*.

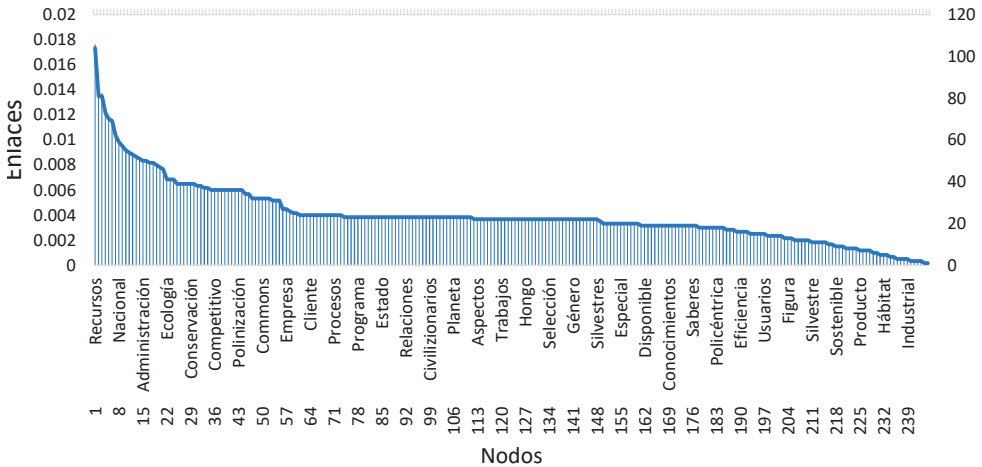
En el lado izquierdo la red de un componente a la derecha un acercamiento a una sección de la red.

Cuando la medida refiere, distancia significa los caminos recorridos para llegar de un nodo a otro en la red. En resumen, las medidas globales nos indican una red con un componente compacto ya que las distancias (diámetro y radio) y el coeficiente de agrupamiento general muestran una asociación significativa.

Esta caracterización nos muestra la alta conectividad del componente que constituye la red, nos hace reflexionar en la importancia de la interacción entre los nodos por lo robusto del proceso debido a la gran cantidad de información

que interviene en la dinámica, esta caracterización visual permite comprender que los procesos en relaciones multinivel cuentan con una alta agrupación.

Figura 2. Distribución de grado de la red.
Muestra del nodo mayor a la de menor cantidad de enlaces.



Fuente: Cañón del Usumacinta y Productores de miel de APFFCU en *Cytoscape*.

En la distribución de grado (ver Figura 2), se presentan los enlaces de cada nodo, es útil para apreciar el nodo con mayor concentración de enlaces. En la distribución de grado de la red (ver Figura 2), también es posible observar una caída en la cantidad de enlaces, es decir, por un lado, hay muchos nodos con pocos enlaces como el nodo innovaciones con cuatro enlaces, por el otro lado, notamos nodos concentradores como el nodo recursos con 104 y producción con 55 enlaces.

La forma de la distribución de grado nos hace pensar en que es posible que la red sea libre de escalas, lo que significa que cuando un nodo sea localizado

en la red hay una alta posibilidad que el nodo seleccionado esté enlazado al nodo que concentra más enlaces. Para lograr comprobar lo anterior se requiere continuar investigando, para localizar más nodos que sean parte del componente de la red; para lograr este propósito se pueden desagregar a los nodos con el fin de encontrar más elementos en la red. Es decir, encontrar procesos naturales conformados con elementos del SSE, vinculados a los nodos ya representados en la red para localizar otros nodos que sean parte del proceso de producción de miel hasta ahora desvinculados en el estudio por no encontrar una relación directa, a continuación, se presentan los resultados de analizar la red.

Resultados

Hasta ahora se analizaron medidas que nos señalan la estructura de la red y el comportamiento global del sistema. Con el propósito de puntualizar los resultados y comprender la relevancia de cada nodo, se analizan dos valores locales la intermediación y el coeficiente de agrupamiento.

En ambos casos se considera la vecindad de cada nodo; una vecindad se define como los nodos con los que se enlaza el nodo de interés, por ejemplo, el nodo "recursos" cuenta con un vecindario de 104 nodos, el de "innovación" tiene un vecindario con cinco nodos. Podemos notar que el número de vecinos coincide con el número de enlaces, porque es una red que no cuenta con enlaces bidireccionales o con enlaces que regresen al mismo nodo conocidos como *loops* o bucle, que indicaría que el nodo se enlaza consigo mismo. Esta forma de representar la red permite observar mejor la importancia de cada nodo en conjunto con sus vecinos como lo notaremos a continuación.

El primer valor que presentamos es la intermediación (Figura 3), los nodos más grandes representan los valores más altos; la asignación del valor en cada nodo va de cero a uno, donde cero significa que ningún camino del nodo es intermediación para llegar a otro nodo y uno que todos los caminos pasan por ese nodo para llegar a los demás nodos de la red.

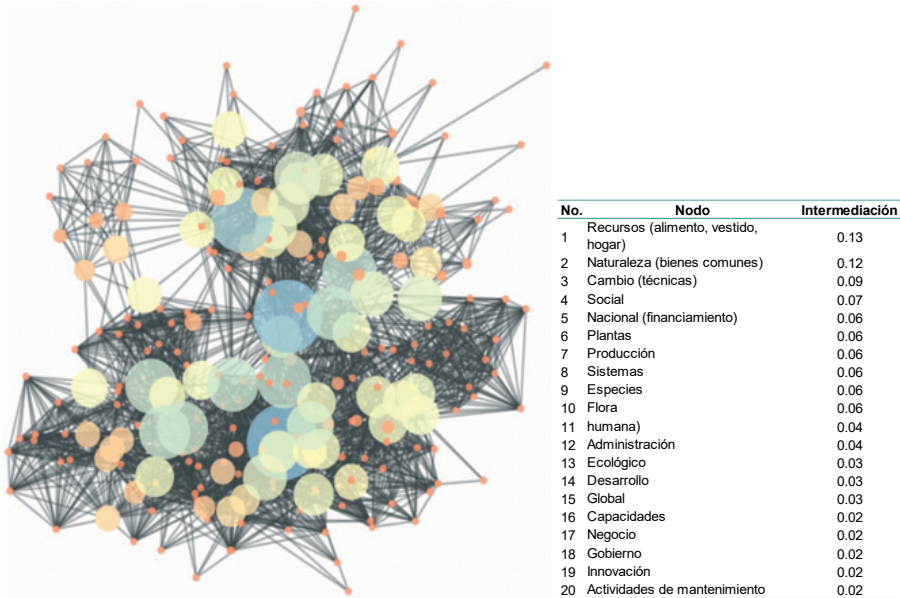
Es importante destacar que cuando un nodo tiene alta intermediación y sus nodos vecinos no están vinculados directamente entre ellos, dicho nodo es muy importante en la red, ya que la mantiene unida. El caso contrario es cuando tiene baja o su intermediación es cero, en este caso si se retira el nodo de la red la unidad permanece porque los nodos con alta intermediación permiten las vecindades que le dan forma a la red en un solo componente.

Esta medida permite conocer la forma en que se difunde la información en la red, lo que facilita percibir la importancia de cada nodo en relación con otros nodos, una situación útil para conocer la concentración de información y como se propaga en el sistema caracterizado, en este caso en los servicios ecosistémicos del SSE de las unidades productoras de miel.

En la investigación, el nodo con mayor intermediación (véase la Figura 3), es el recurso con 0.13, significa que 13% de los caminos del vecindario del nodo dependen su posición en el proceso que enlaza a otros nodos de la red. También destaca que los eventos del nodo "actividades de mantenimiento" tienen 0.02, es decir, que 2% de los caminos de la vecindad del nodo necesariamente tienen que pasar por ese él para llegar a otro nodo en el vecindario.



Figura 3. Intermediación de los nodos que componen la red



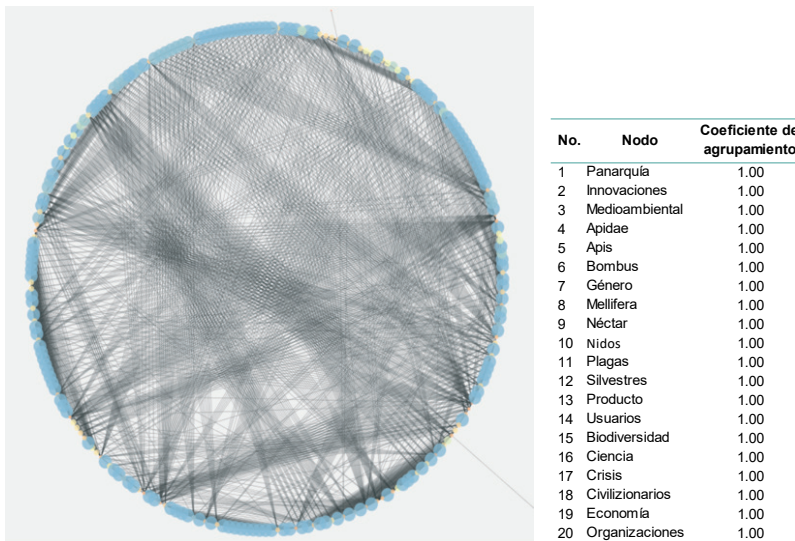
Fuente: Cañón del Usumacinta y Productores de miel de APFFCU en *Cytoscape*.
 Del lado izquierdo la red donde los nodos más grandes representan la mayor intermediación.
 En el lado derecho vemos la tabla con las primeras 20 intermediaciones.

Interpretando el nodo "recursos", tenemos que es el que más información transmite a la red, se enlaza con las primeras intermediaciones, dándole una posición muy relevante. Sin embargo, esta medida local nos muestra que la red no depende del nodo con mayor intermediación para llegar a todos los nodos de la red, dado que tenemos intermediaciones diversificadas. Por ejemplo, los nodos "plantas", "producción", "especies" y "flora" tienen 0.06, también tenemos la intermediación 0.02 con actividades de mantenimiento, "gobierno", "innovación", "negocio" y "capacidades". Estos conjuntos permiten notar

que la organización de la red es dada en diversos procesos; esta condición multinivel permite soportar perturbaciones, de forma que, si el nodo con mayor intermediación llega a ser retirado la forma de la red no es modificada debido a que hay más nodos que la mantienen unida.

La segunda medida que presentamos, es el coeficiente de agrupamiento (ver Figura 4), el cual es útil para comprender los grupos que tiene la red. Si el valor es uno indica que todos los vecinos del nodo están enlazados, en caso de que sea cero los vecinos no se enlazan entre ellos, por tanto, el nodo no conforma grupos.

Figura 4. Coeficiente de agrupamiento



Fuente: Cañón del Usumacinta y Productores de miel de APFFCU en Cytoscape.
 Del lado izquierdo vemos la red organizada en círculo.
 En el lado derecho tenemos los primeros 20 valores de la red.

Interpretando los primeros veinte nodos del coeficiente de agrupamiento, (ver Figura 4), que cuentan con el valor de uno, esto nos indica que los nodos vecinos están enlazados entre ellos. Es decir, hay grupos solidos entre esos eventos que representan los nodos, lo cual significa una alta cohesión de la red por la diversidad de grupos que conforman los nodos. Interpretando los primeros tres nodos, "panarquía", "innovaciones" y "medioambiental" tenemos que cada uno representa un subsistema de la red que están entrelazado por el componente, lo cual implica que son el resultado de las interacciones del sistema que permite conservar los servicios ecosistémicos que constituyen las actividades de las unidades productivas que practican la meliponicultura.

Con el propósito de tener una mejor representación numérica de las actividades que representa la red, se analizaron las relaciones entre los primeros cinco nodos considerando las medidas locales (ver Tabla 2) ordenadas de mayor a menor, siendo el referente la distribución de grado (ver Figura 1) que se acompaña de la intermediación y coeficiente de agrupamiento.

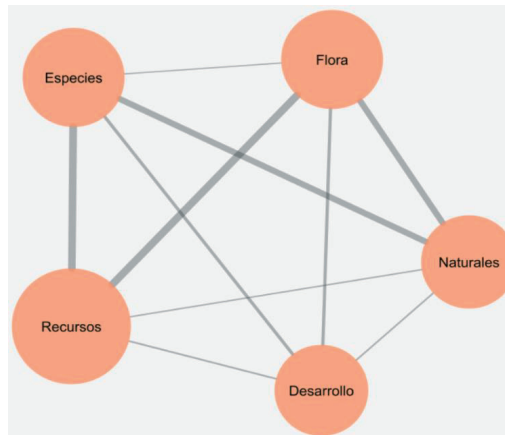
Tabla 2. Primeros 5 nodos de la distribución de grado con sus medidas de intermediación y coeficiente de agrupamiento

Nodo	Distribución de grado	Intermediación	Coficiente de Agrupamiento
Recursos (alimento, vestido, hogar)	104	0.13	0.23
Especies	81	0.06	0.30
Flora	81	0.06	0.30
Naturales (sin intervención humana)	73	0.04	0.33
Desarrollo	70	0.03	0.36

Fuente: Cañón del Usumacinta y Productores de miel de APFFCU en *Cytoscape*.

La razón del orden en la tabla (véase la Tabla 2) corresponde a la distribución de grado, esta nos indica la tendencia del proceso del componente de la red, en este caso que hay pocos nodos concentradores, lo cual señala que es posible estar ante una red libre de escalas. En las otras dos medidas se observa la importancia entre la cohesión de cada nodo con el coeficiente de agrupamiento, y la relevancia del valor que señala los caminos hacia nodos vecinos que no están conectados entre ellos, debido a que es la información que nos da la intermediación. Esto último es significativo en la red, gracias a que explica la posición del nodo en el proceso de interacción de los nodos del componente de la red y señala que el cuidado de ese evento fomenta el tránsito de información en los caminos de las vecindades.

Figura 5. Filtro de los cinco nodos más significativos de la red



Fuente: Cañón del Usumacinta y Productores de miel de APFFCU en *Cytoscape*.

Los enlaces más anchos señalan una relación más fuerte, destaca la importancia del nodo flora en la red y que en conjunto muestran un proceso biocultural.

En los nodos más relevantes de la red notamos a la "flora", con una intermediación de 6% y un 30% en coeficiente de agrupamiento, tiene 81 enlaces y estos valores coinciden con el nodo especies que refiere a la diversidad que hay en el SSE. Interpretando su interacción notamos la importancia del enlace entre "flora" y "especies" (véase Figura 5), así como la importante intermediación con el nodo "recursos" y el nodo "natural"; esta representación gráfica se logró al hacer un filtro de los cinco nodos más significativos de la red, considerando la distribución de grado, la intermediación y el coeficiente de agrupamiento que caracterizan un proceso biocultural.

La importancia de los bienes naturales se nota al interpretar el nodo "natural", este refiere a elementos como el agua y los materiales orgánicos del Cañón del Usumacinta, en que carecen de la intervención humana, por tanto, caracterizan servicios ecosistémicos. Vemos que el nodo "natural" tiene 73 enlaces con 3% de intermediación y 33% de coeficiente de agrupamiento, lo que indica que su posición en el componente de la red aporta en la generación de grupos como se puede notar al ver la vecindad (véase la Figura 5) conformada con los nodos recursos, desarrollo, flora y especies. También es posible interpretar que dichos nodos (ver Figura 3), un grupo de nodos que conforman los primeros veinte valores de intermediación, esto significa que la diversidad emerge en el proceso dado por la relación de elementos que pertenecen a servicios ecosistémicos vinculados a las actividades sociales localizadas en el nodo desarrollo y recursos.

Interpretando los nodos "recursos" y "desarrollo" destaca que ambos refieren a la actividad humana y son significativos en la red, debido a que participan en la cohesión del componente. El nodo "desarrollo" cuenta con una intermediación de 3% y de 36% de coeficiente de agrupamiento (ver

Figura 3), esto indica que genera más grupos en su vecindad sobre los otros cuatro nodos que analizamos. A pesar de solo tener 70 enlaces, este nodo es importante haciendo cohesión en la red porque aporta tanto en la generación de grupos como en su unificación.

En cuanto el nodo "recurso" —el que cuentan con más grado en la red porque tiene 104 enlaces—, vemos que tiene dos enlaces con fuerte intermediación (ver Figura 5), esto nos lleva a notar 13% de intermediación (ver Tabla 2), con estos elementos es posible mencionar que el nodo recursos cuenta con caminos que lo vinculan a nodos que no están enlazados entre ellos. Por lo tanto, el nodo "recursos" es importante haciendo grupos y conectando nodos (ver Figura 5) como se aprecia al seguir los enlaces en su vecindario; sin embargo, la red puede continuar porque hay otros nodos con sus mismas características que cohesiona el componente de la red que componen un proceso biocultural dado en el tiempo.

Al analizar estos resultados vemos que es posible caracterizar un proceso biocultural al comprender las interacciones de los habitantes del área protegida con los servicios ecosistémicos del SSE.

Si bien, dicho proceso se genera en hechos generados en el tiempo, por tanto, se comprende como un proceso histórico evolutivo, al hacer la caracterización para analizar las medidas y formas de la red en un tiempo determinado, notamos que las posiciones de cada nodo logran hacer cohesión por las intermediaciones que conforman la red, es un hecho relevante porque nos permite definir la complejidad del SSE y las reglas que se establecen en la SbN representadas en el APFFCU.



Discusión

Al realizar un análisis del área de protección, se presenta una red cohesionada por la diversidad interconectada entre elementos de servicios ecosistémicos, estos permiten caracterizar un proceso biocultural entre los nodos "recursos", "naturales", "desarrollo", "flora" y "especies". Dicha cohesión permite considerar a Holling (2001) cuando menciona que la complejidad surge de un menor número de procesos, lo que significa que analizando cinco nodos es posible explicar 0.84 de coeficiente de agrupamiento de toda la red, este alto agrupamiento también se observa en el valor del diámetro de la red (la mayor distancia entre dos nodos) que es de cinco y que tres sea el radio (mínima distancia entre dos nodos).

Esta diversidad interconectada de cohesión lleva a los argumentos de Negrín (2016) y Chan Mutul *et al.* (2019) que explican la diversidad biocultural como la convivencia del día a día, es decir, se crea durante en el tiempo por esta razón hay más de un nodo que tiene las características que mantienen la unidad en la red. Para comprender mejor estos elementos es importante considerar a Wieland (2021), cuando refiere a la importancia de la escala, el espacio y significado para localizar a los ciclos adaptativos, porque si bien la red tiene una importante agrupación, es importante matizar los significados de la relación entre los espacios de los nodos "recursos", "naturales", "desarrollo", "flora" y "especies". En este sentido, notamos que el nodo "flora" cuenta con una intermediación de 6%, un 30% en coeficiente de agrupamiento y tiene 81 enlaces, vemos que es un nodo "histórico", debido a que su significado de relación le proporciona una cualidad social, la cual coevoluciona a la manera de Torres (2009), que continua durante el tiempo en las interacciones del SSE.

La red permite observar la relación donde emerge la biodiversidad de la región al mostrar los tejidos de relaciones en condiciones multinivel que son observadas en el coeficiente de agrupamiento, el cual caracteriza grupos de nodos, los tres primeros; "panarquía", "innovaciones" y "medioambiental". Este grupo representa un subsistema de la red, conforme a Martín, *et al.*, (2021), vemos que las SbN que refiere a acciones y estrategias de gestión para mantener y mejorar la función del ecosistema, pueden centrarse en estos tres nodos porque son el resultado de las interacciones del componente de la red enlazado por el uso de acción colectiva.

Para Merino (2014), dicha acción refiere a los bienes compartidos que mantienen estas redes de colaboración porque sostienen los bienes comunes. En las unidades productivas del SSE los servicios ecosistémicos permanecen por la dinámica del nodo medioambiental, las innovaciones emergen de las diversas estrategias que, como señala Teece (2019), llevan a diversas capacidades de conservación, que se plasman en los diversos caminos del nodo panarquía que permite soportar cambios al aplicar estrategias de conservación diseñadas con la acumulación de conocimientos; Ostrom (2013) destaca, que se logra al comprender la complejidad de las relaciones, en este caso al comprender la red de bienes naturales y unidades productoras de miel en el SSE.

Los elementos bioculturales planteados por Toledo (2013), son un patrimonio, que en el proceso productivo de la miel fomenta en la convivencia del ser humano con la flora del lugar para que la abeja lleve a cabo la polinización como lo mencionan Pantoja, *et al.*, (2014), al tiempo que se generan mejores condiciones sociales y económicas; como son beneficios en la salud y la obtención de una renta económica que nos muestran los nodos

concentradores en la distribución de grado donde destaca el nodo "recursos", que también tienen alta intermediación.

Pero la red tiene intermediaciones diversificadas, es decir, no depende solo del nodo "recursos", los "nodos", "plantas", "producción", "especies" y "flora" tienen 0.06 de intermediación, dicha condición permite soportar perturbaciones, debido a la red se conforma de procesos que constituyen una estructura jerárquica conformada por la combinación de actividades humanas con ciclos naturales. Es una coevolución, como lo plantea Janzen (1980), ya que se desarrollan dinámicas recíprocas en el tiempo entre "plantas", "producción", "especies" y "flora".

La meliponicultura, además de conjugar saberes en el manejo de las especies, la flora y la naturaleza utiliza las herramientas de desarrollo que le da la SbN, que es el APFFCU en su reglamentación que permite un desarrollo en el lugar considerando el mantenimiento del SSE expresado en el nodo "desarrollo" y "actividades de mantenimiento". Estos elementos son insumos de estrategias y capacidades dinámicas (Tece, 2019) para conservar la diversidad en el presente e impulsarla al futuro como lo hace el nodo histórico flora en el proceso de polinización en que la abeja produce la miel.

Sin embargo, es importante continuar trabajando para matizar los nodos y lograr visualizar escalas en distintos niveles de significado, tiempo y espacio para comprender más la diversificación de los servicios ecosistémicos en que es posible conservar la diversidad. Porque si bien, la intermediación en los nodos es significativa en la red y permite no depender de un nodo en particular, hay nodos con vecindarios que carecen de vínculos entre los nodos que la conforman. El riesgo de esta carencia es que si el nodo que enlaza al vecindario desaparece los nodos dejarían de pertenecer al componente de

la red, por lo tanto, la cohesión bajaría significativamente por la falta de un nodo concentrador y se formarían al menos dos componentes.

Lo anterior muestra lo frágil del SSE porque si un nodo es modificado en un nivel que no ha sido identificado en el proceso de interacción, la red puede cambiar de estructura, si bien no desaparece porque hay nodos que conforman procesos bioculturales como el nodo naturales y recursos. Por lo tanto, cuentan con características similares que unen la red y soporta perturbaciones, la posibilidad de un cambio de estado es latente mientras no exista la conciencia de los mecanismos que unen o separan a la red.

Indagar en los mecanismos que robustecen la red abre líneas de investigación, que analicen cómo se crea la resiliencia, identifiquen estrategias considerando la diversificación que el componente de la red permite localizar, cómo se fomentan capacidades dinámicas que apoyen las tomas de decisiones del uso de los servicios ecosistémicos. Es pertinente considerar los temas en distintos niveles de análisis que trabajan la escala de tiempo, el espacio y su significado para caracterizar redes que den elementos que permitan la conservación de la biodiversidad y caracterizar estrategias que sean operativas en procesos de largo tiempo.

Reflexiones finales

Al analizar las interacciones del APFFCU en la red compuesta por los elementos involucrados en la producción de miel con eventos que conservan la biodiversidad de la región, además de cumplir el objetivo general, se observan las interacciones entre la actividad humana, la abeja y el área protegida; se nota un proceso que muestra un patrón de comportamiento global caracterizado en por una red compuesta de un componente.



En cuanto al objetivo específico se cumple al analizar la red con las medidas de distribución de grado, intermediación y coeficiente de agrupamiento que permiten observar los tejidos interdependientes de la conservación de la biodiversidad de la región, porque notamos que la abeja de la familia *Apidae* favorece la biodiversidad y se visualiza en la concentración de enlaces que tiene el nodo "flora". Es importante destacar que el nodo "flora" es un nodo "histórico" y "significativo" en la red junto con los nodos "recursos", "naturales", "desarrollo", y "especies", las características de las medidas distribución de grado, intermediación y coeficiente de agrupamiento en los cinco nodos permiten representar un proceso biocultural por la relación de actividades, hechos y eventos que conservan la biodiversidad de la región y mantienen el SSE.

Al analizar la distribución de grado de la red, se percibe una tendencia libre de escalas que permite representar una red que nos muestra el proceso coevolutivo del SSE entre elementos humanos y naturales que concentra enlaces en un nodo. Sin embargo, hay una diversidad de nodos que cohesionan la red y se logran observar al analizar los primeros 20 nodos con alto coeficiente de agrupamiento. Dichos nodos crean una red robusta, gracias a que hacen fuertes grupos que representan subsistemas en la red debido a que enlazan sus vecindarios al componente principal y en caso de que un nodo quede fuera de la red hay nodos que permiten la vinculación.

El nodo "innovación" nos muestra una intermediación significativa, ya que es un nodo que enlaza a nodos que no se vinculan entre sí mismos, sin embargo, es pertinente fomentar que sea un nodo con mayor número de enlaces. Un propósito que se puede trabajar en el APFFCU considerando las estrategias de las SbN que están destinadas a mejorar el funcionamiento del SSE, es importante fomentar una educación ambiental considerando los

conocimientos de los habitantes de la región y vincularlos con el saber de los investigadores para hacer sinergias de las que emane una economía redistributiva como resultado de comprender las relaciones multinivel de la red que emerge de las dinámicas de interacción del SSE y crean insumos de estrategias y capacidades dinámicas.

Es posible pensar en identificar el saber biocultural de la región, partiendo de los nodos que caracterizan el proceso biocultural, para crear un nuevo mercado de uso y formas comunitarias de financiamiento encaminadas a una administración redistributiva que crezca en actividades de mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

En resumen, la interacción humana con la abeja y el área protegida es un proceso que muestra un patrón de comportamiento histórico por su dimensión simbólica, temporal y espacial, es posible conceptualizarlo como patrimonio biocultural porque es un saber que permite la preservación genética de la abeja en el SSE, componente fundamental para la conservación de la biodiversidad, que contribuye al entendimiento el sistema desde sus componentes sociales y naturales.

Referencias

- Avendaño, F., Cedeño, C., y Arroyo, S. (2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*, (65), (pp. 63-90).
- Azadegan, A., y Dooley, K. (2021). A typology of supply network resilience strategies: Complex collaborations in a complex world. *Journal of Supply Chain Management*, 57(1), (pp. 17-26.)
- Cárdenas, I. (2016). *Sustentabilidad y Redes de Conocimiento. Análisis con la Teoría de Grafos*. UNAM, FCA.
- Carmen, E., Fazey, I., Ross, H., Bedinger, M., Smith, F. M., Prager, K., ... y Morrison, D. (2022). Building community resilience in a context of climate change: The role of social capital. *Ambio*, (pp. 1-17).
- Chanl, A., Vera, G., Aldasoro, M., y Sotelo, E. (2019). Retomando saberes contemporáneos. Un análisis del panorama actual de la meliponicultura en Tabasco. *Estudios de cultura maya*, 53, (pp. 289-326).
- CONAP. (2021a). *Áreas Naturales Protegidas*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conanp>.
- CONAP. (2021b). *Región Planicie Costera y Golfo de México. Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Usumacinta*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/region-planicie-costera-y-golfo-de-mexico?state=published>
- DOF. (05 de junio de 2015a). *ACUERDO por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con la Categoría de Área de Protección de Flora y Fauna Cañón del Usumacinta. (Continúa de la Cuarta Sección)*. Ciudad de México, México. CONAP. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5395506
- DOF. (05 de junio de 2015b). *ACUERDO por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con la Categoría de Área de Protección de Flora y Fauna Cañón del Usumacinta. (Continúa en la Quinta Sección)*. Ciudad de México, México. CONAP. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5395504
- Folke, C., Haider, J., Lade, J., Norström, V., y Rocha, J. (2021). Commentary: Resilience and Social-Ecological Systems: A Handful of Frontiers. *Global Environmental Change*, (71), November, 102400.
- Holling, S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4(5), (pp.390-405).
- Janzen, D. (1980). When is it coevolution?. *Evolution*, 3(34), (pp. 611-612).
- Jimenez, E., Thomé, H., y Burrola, C. (2016). Patrimonio biocultural, turismo micológico y etnoconocimiento. *El periplo sustentable*, (30), (pp. 180-205).

- Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z., y Cerdà, A. (2018). The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 610, (pp. 997-1009).
- Kok, P., Loeber, M., y Grin, J. (2021). Politics of complexity: Conceptualizing agency, power and powering in the transitional dynamics of complex adaptive systems. *Research Policy*, 50(3), 104183.
- Lewis, G. (2011). *Network science: Theory and applications*. John Wiley and Sons.
- Martín, G., Costa, M., Egerer, S., y Schneider, U. (2021). Assessing the long-term effectiveness of Nature-Based Solutions under different climate change scenarios. *Science of The Total Environment*, 148515.
- Merino, L. (2014). Perspectivas sobre la gobernanza de los bienes y la ciudadanía en la obra de Elinor Ostrom. *Revista mexicana de sociología*, 76(SPE), (pp. 77-104).
- Nates, G. (2005). Abejas silvestres y polinización. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 75, (pp. 7-20).
- Negrín, E. (2016). Mujeres mayas, abejas mayas. *GeoGraphos: Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*, 7(87), (p. 17)
- Ostrom, E. (2013). Más allá de los mercados y los Estados: gobernanza policéntrica de sistemas económicos complejos. *Revista de Derecho Ambiental de la Universidad de Palermo*, (1), (pp. 5-72).
- Pantoja, A., Smith, A., Garcia, A., Saenz, A., y Rojas, F. (2014). *Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Pérez, B., y Canto, A. (2020). La abeja melipona en la cultura maya. *Desde el Herbario CICY*, 12, (pp. 154-158).
- Prieto, E. (2013). Resiliencia y panarquía: claves para enfrentar la adversidad en sistemas sociales. *Multiciencias*, 13(1), 23-29.
- Reyes, F. (2015). ¿Sustentabilidad versus subsistencia? Un estudio de caso dentro del Área Natural Protegida Cañón del Usumacinta. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 36(142), (pp. 261-305).
- Sánchez, X., Jiménez, C., Ramírez, E., Martínez, J., Corzo, J., y García, L. (2019). Actividad antioxidante y quelante de metales de las mieles de Melipona beecheii y Frieseomelitta nigra originarias de Tabasco, México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22(1), (pp. 1-7).

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Cañón del Usumacinta*. CONAP.
- Teece, D. (2019). Fundamental issues in strategy: Time to reassess. *Strategic Management Review*, 1(1), (pp. 103-144).
- Toledo, V.M. (2013). El paradigma biocultural: crisis ecológica, modernidad y culturas tradicionales. *Sociedad y ambiente*, 1(1), (pp. 50-60).
- Toledo, V. (2019). *Los civilizacionarios: repensar la modernidad desde la ecología política*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad.
- Torres, E. (2009). Ciento cincuenta años de pensamiento coevolutivo: la vida es una maraña de interacciones. *Acta Biológica Colombiana*, 14, (pp. 231-246).
- Vera, P. y Ceballos, E. (6 de septiembre de 2021). *Empoderamiento de la mujer y el cuidado de la biodiversidad: experiencias desde los proyectos de meliponiculturas y apiculturas* [Archivo de video 36:16 a 40:20]. Programa Universitario de Estudios sobre Asia y África, UNAM. <https://www.facebook.com/pueaaunammx/videos/1493554317677090/>
- Walker, B., Holling, C., Carpenter, S., y Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and society*, 9(2).
- Wieland, A. (2021). Dancing the supply chain: Toward transformative supply chain management. *Journal of Supply Chain Management*, 57(1), (pp. 58-73).
- Wolkmer, A., y Schumacher, M. (2022). The principle of the 'common,' legal pluralism and decolonization in Latin America. *Law and Critique*, 33(1), (pp. 63-87).

LAS ENERGÍAS RENOVABLES, ¿ALTERNATIVA AMBIENTAL?

UNA VISIÓN GLOBAL Y LOCAL DE SU IMPLEMENTACIÓN EN MÉXICO

Yolanda Mexicalxóchitl García Beltrán*
Aleida Azamar Alonso**

Introducción

Este texto se enfoca en los siguientes puntos: la energía como soporte del modelo económico capitalista tal y como describe Malm (2016); el cambio de matriz energética hacia las renovables que han tenido un avance notorio durante el siglo XXI y el surgimiento de estas energías limpias como un mercado donde al final los aspectos de corte ecológico o social son secundarios, etapa a la que nombramos *capitalismo posfósil o acumulación por desfosilización* (Silpak y Argento, 2022).

* Postdoctorante en el Programa de Energía de El Colegio de México.

** Profesora-Investigadora del Departamento de Producción Económica, UAM-Xochimilco.



La interrogante que guía este capítulo es discutir qué tan sustentables son realmente las energías renovables; para ello se profundiza en su evolución a partir de elementos reveladores, como el hecho de que actualmente la humanidad continúa siendo fuertemente dependiente de los combustibles fósiles que, incluso bajo las perspectivas más optimistas, continúan y continuarán siendo las más utilizadas. Por último, retomando a Malm (2016), se hace énfasis en el impulso a las renovables como una estrategia de adaptabilidad y reproducción del capital que busca sustituir a los hidrocarburos, pero no los patrones de consumo y producción que han conducido a la crisis climática actual.

En concordancia con las reflexiones vertidas en este libro, este capítulo busca contribuir al análisis sobre el papel de las nuevas tecnologías; ¿qué tanto contribuyen a incentivar modelos sustentables?, ¿cómo las relaciones humanas que se tejen en torno a estas tecnologías complejizan la sustentabilidad? A través de los conceptos *capitalismo fósil* y *capitalismo posfósil* se pretende señalar la relación de los aspectos teórico-metodológicos con los empíricos presentes en las transformaciones del mundo natural y social actual. La intención es abonar a repensar y replantear la forma en la que las herramientas tecnológicas pueden contribuir a incentivar modelos que encaminen la sustentabilidad a un camino más equitativo.

Este trabajo se compone de tres apartados, además de la introducción. En el primero se explica el papel de los combustibles fósiles y su incidencia a nivel mundial; el segundo se enfoca brevemente en los últimos acuerdos internacionales y su influencia en aspectos energéticos; en el tercero se describe la evolución de las energías renovables en México. Finalmente, se presentan algunas reflexiones finales.

Antecedentes

La política energética global se ha transformado en los últimos años estableciendo cambios considerables en las estrategias que se definen para producir energía eléctrica y, al menos desde hace 35 años, se ha puesto atención en las energías renovables como alternativa menos contaminante. La acción humana, el rápido crecimiento demográfico, la exigencia cada vez más alta de recursos y la actividad industrial han conducido a una problemática sin precedentes, por lo que internacionalmente se buscan medidas que contribuyan a mitigar los efectos nocivos en el ambiente, siendo una de las principales la instalación de proyectos de *energía limpia*.

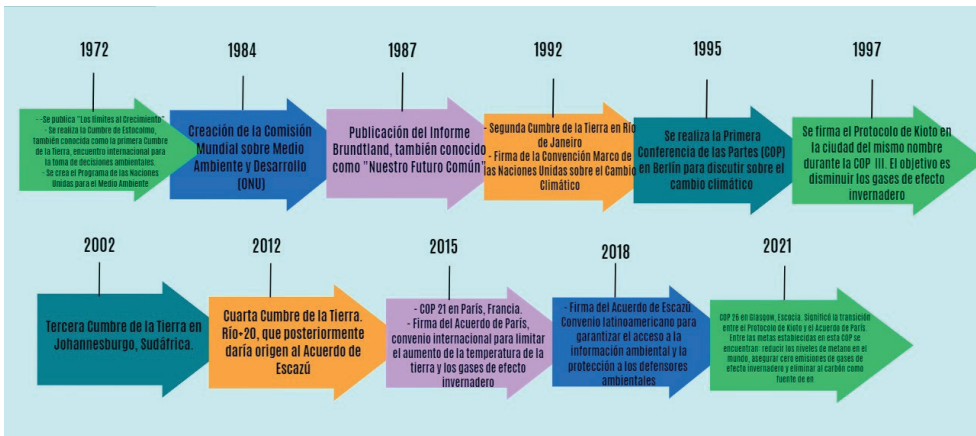
De acuerdo con la International Renewable Energy Agency (IRENA, 2021), el 2020 fue el año de mayor producción de energía a partir de fuentes renovables, además se presentó la mayor expansión de éstas, la cual se concentró en China. En general, el mundo experimentó un crecimiento en el uso de las renovables y, actualmente, la producción total acumulada globalmente asciende a 2799 GW, lo que representa un ascenso de más de 10% entre 2019 y 2020. Por lo tanto, se ha hecho visible un crecimiento en el número de hidroeléctricas, parques eólicos y solares principalmente, siendo la energía fotovoltaica la de mayor expansión, con un promedio de 22% de incremento anual, seguida por la eólica con 18%, constituyendo juntas 91% de los nuevos proyectos renovables que se adhirieron en el 2020 (IRENA, 2021).

Sin embargo, es necesario tener presente que la urgencia ambiental no fue la única causa del crecimiento de producción de energía renovable, pues esto es producto de complejas políticas y acuerdos nacionales e internacionales que iniciaron al menos desde el año de 1972, cuando la Organización de las



Naciones Unidas (ONU) realizó la denominada Cumbre de Estocolmo o Cumbre de la Tierra, seguido de otros ejercicios importantes como el Protocolo de Kioto de 1997, acuerdo global para reducir en 5% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hacia el 2012 o el Acuerdo de París de 2015, el cual tenía por objeto “reducir de forma sustancial las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y limitar el aumento global de la temperatura en este siglo a 2° C” (ONU, 2020).

Figura 1. Cronología de las principales Cumbres y Acuerdos internacionales en materia ambiental

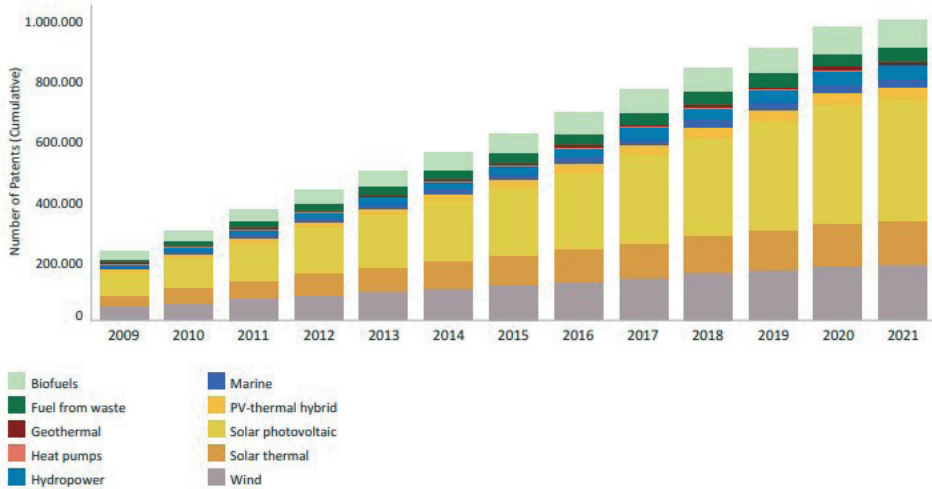


Fuente: Elaboración propia con base en revisión bibliográfica.

En general, las energías renovables se han posicionado como aliadas para lograr las metas planteadas a través de un cambio de *matriz energética*; sin embargo, aunque éste se ha dado de forma acelerada por el rápido crecimiento de la cantidad de energía renovable producida, aún está muy lejos de incidir al nivel requerido para aminorar la crisis ambiental, como demuestra el último reporte de la International Energy Agency (IEA, 2020), el cual afirma que todavía

81.3 % de la energía generada a nivel mundial proviene de combustibles fósiles, y solamente 18.7 % de fuentes limpias.

Figura 2. Incremento en la producción de energías renovables en el mundo 2011-2020



Fuente: International Renewable Energy Agency (IRENA, 2021).

La principal problemática radica en el hecho de que las energías renovables han sido implementadas como sustitutas de los combustibles fósiles en todos los sentidos; es decir, incentivando el proceso industrial del planeta (Barboza, 2013). Por ello, es un error considerar un cambio de tecnología, pero no de modelo económico ni de niveles de producción y consumo de mercancías; se pretende ahora que las energías renovables sigan asociándose a esos procesos, dotándolas de aspectos no sólo ambientales sino financieros.

En consecuencia, consideramos importante analizar en este trabajo el papel sistémico de los combustibles fósiles a partir del concepto *capitalismo*

fósil (Malm, 2016), y rastrear de manera general el proceso mediante el cual las políticas y leyes adoptaron como un ideal el *desarrollo sustentable*, permitiendo incentivar los proyectos de energía renovable. A la vez, se busca responder si esas energías renovables contribuyen realmente a un modelo de sustentabilidad.

Lo anterior es importante ya que en los últimos años hemos atestiguado un incremento de la conflictividad socioambiental asociada a megaproyectos de energía. Por lo tanto, se tiene que considerar que la crisis climática y sus posibles soluciones no son sólo cuestiones ecológicas, sino humanas y, por ende, políticas y sociales, por lo que este documento tiene como objetivo problematizar porqué a pesar de sus ventajas, las energías renovables presentan limitantes que se reflejan en impactos a nivel local. Por ello, en un segundo momento recuperamos el caso mexicano para entender cómo se relacionan las políticas internacionales y nacionales, además de describir el proceso mediante el cual las energías renovables emergieron y se consolidaron en el país mientras se iban visibilizando sus restricciones.

Metodología

Este texto se basa en una revisión documental que incluye fuentes bibliográficas, hemerográficas y documentos oficiales que permiten hacer un recuento histórico del concepto de *desarrollo sustentable*, así como revisar los discursos gubernamentales en torno a los cuáles se construyó éste y su incidencia en las energías renovables. Asimismo, para hablar de *capitalismo fósil*, se retoma el trabajo de Andreas Malm (2016), además de los aportes de Angus (2016), Cano (2022) y Villegas, (2021). Además, se recurre al trabajo de Kazimierski y Argento (2021) y Slipak y Argento (2022) para hablar de *capitalismo posfósil*.



Por otro lado, los informes emitidos por instancias nacionales e internacionales como autoridad en la materia permitieron ubicar las estadísticas que hacen observable cómo y cuánto han crecido las energías renovables internacional y nacionalmente. En este sentido, resultan útiles datos públicos presentados por la International Renewable Energy (IRE), la International Renewable Energy Agency (IRENA), el World Energy Council (WEC), la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) y la Asociación Mexicana de Energía Solar (ASOLMEX).

También, se recurre a investigaciones en materia energética realizadas previamente por las autoras Azamar y García (2021 y 2022). De esta manera, este capítulo es continuidad de un análisis más amplio que busca problematizar el papel de las energías renovables como alternativas sustentables y de las irregularidades en su implementación, así como de los intereses implícitos en ellas.

Los combustibles fósiles: más que crisis ambiental

Los combustibles fósiles han tenido un papel preponderante en el mundo, ya que permitieron cambios tecnológicos importantes, un aumento en la producción de mercancías y crecimiento económico, pero también una intensificación generalizada de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Esto, además, originó y acrecentó las relaciones económicas desiguales en la sociedad, siendo particularmente afectadas las naciones en vías de desarrollo. Para Malm (2016), el asunto se explica de manera sencilla, pero encierra un complejo entramado de distintas índoles: los combustibles fósiles son, en sí mismos, una relación social, porque el carbón y el petróleo como materias primas no sirven de nada; es decir, la mano de obra y el trabajo asalariado son intrínsecos y necesarios para su transformación.



Por lo tanto, se puede hablar de una “economía fósil” (Malm, 2013) que nació como producto de la primera Revolución Industrial: la energía aparece unida al mercado, a la acumulación de riqueza y a la estructura misma del capital, ya que “presuponía la separación entre los productores directos y los medios de producción” (Malm, 2013, p. 26). La extracción de combustibles fósiles tuvo una escalada durante los siglos XIX y XX, al mismo tiempo que la población del mundo aumentaba y que se iban conformando relaciones económicas y políticas desiguales, así como acciones militares y corporativas cada vez más complejas. Altvater (2007) ha denominado a este proceso: *imperialismo fósil*.

En resumen, para Malm el *capitalismo fósil* es “una economía de crecimiento auto-sostenido en función del creciente consumo de combustibles fósiles y que, por lo tanto, genera un crecimiento sostenido en las emisiones de CO₂” (Malm, 2016, p. 11), mientras Cano, “ nombra a la formación social, económica y política que tiene como fin la acumulación ampliada de capital, en tanto relación desigual de riqueza y poder, a través de la explotación del trabajo y el mundo biofísico, y cuya estructura económica está unida al consumo creciente de combustibles fósiles” (Cano, 2019, p. 77).

Los aportes de Malm siguen vigentes, porque es un hecho innegable que el capitalismo concentró, y ha concentrado, su riqueza a partir de la privatización de los bienes naturales, del uso y monopolio de la energía, así como de relaciones desiguales donde algunos actores y países emiten más emisiones contaminantes que otros. Por ejemplo, América Latina solo es responsable del 10% del CO₂, mientras Centroamérica y los países insulares generan menos del 0.1% de las emisiones globales (Monsalve, 2022).

Para Cano (2022), seguimos inmersos en un capitalismo fósil que se volverá más agresivo a medida que nos acerquemos a los límites para la

extracción de hidrocarburos. No obstante, incluso un cambio de paradigma hacia tecnologías más limpias muestra que éstas no van acompañadas de relaciones más equitativas y que, por el contrario, siguen bajo el monopolio de aquellos que pueden financiarlas y tener acceso a ellas. Por ello, vale la pena hablar de un *capitalismo posfósil o acumulación por desfosilización* (Kazimierski y Argento, 2021) que sigue las mismas lógicas extractivas.

En el caso de los fósiles, Malm (2013) señala que, aunque su extracción ha sido achacada al crecimiento poblacional, esto no es del todo cierto, pues el uso de éstos suele concentrarse en ciertas naciones y sectores sociales. Además, enfatiza la inviabilidad de mantener esa extracción debido a los límites biofísicos. En este sentido, Cano (2019) y Angus (2016) ubican la etapa neoliberal iniciada durante la segunda mitad del siglo xx como aquella donde los problemas ambientales se hicieron latentes, y aunque éstos tienen impactos a nivel global, las causas que los originan están focalizadas, pues “es en realidad un problema generado por clases sociales con riqueza, consumo, estilos de vida y medios de poder colosales, que han consumido la mayoría de los combustibles fósiles en beneficio propio y han emitido la mayor parte de los GEI” (Cano, 2019, p. 80).

De esta manera, en las últimas cinco décadas un incremento drástico en los niveles de CO_2 como consecuencia del uso de combustibles fósiles llamó la atención internacional y terminó por definir la búsqueda de nuevas tecnologías que fueran capaces de producir energía de forma menos contaminante, pero ¿cómo se relacionan las energías renovables con el planteamiento del *capitalismo fósil* y que tan sustentables son?



¿Desarrollo sustentable y energía renovable para cambiar al mundo?

Como se ha comentado, las problemáticas ambientales saltaron a la luz a partir de la consumación del sistema capitalista y de las cantidades de combustibles fósiles requeridas por éste, lo que permitió poco a poco el crecimiento de proyectos de energía renovable como alternativas que podían paliar los efectos negativos de éstos mientras producían energía. En consecuencia, a través del tiempo, ha tenido lugar un debate global en materia ambiental, producto del cual se han realizado distintos acuerdos, cumbres y estudios detallados.

Generalmente, se identifica como antecedente de este debate al célebre documento "Los límites al Crecimiento", publicado en 1972 por iniciativa del Club de Roma, una organización italiana conformada por políticos, científicos y activistas. El Informe destacó que, de continuarse con el modo de vida industrializado del siglo xx, el planeta agotaría sus recursos en 100 años, por lo que las acciones para evitarlo resultaban urgentes. Sin embargo, probablemente lo más relevante de su contribución fue visibilizar las desigualdades económicas y el acceso a los recursos entre aquellas naciones marginadas y las "del primer mundo".

Posteriormente, el "Informe Brundtland" (ONU, 1987) continuaría la discusión asociada al desarrollo, la economía y la ecología, pues sentó un precedente al analizar de manera profunda las problemáticas ambientales, sus causas y, sobre todo, las posibles medidas de mitigación. El Informe señala el crecimiento demográfico, el diseño y la promoción de nuevas tecnologías como causas de preocupación. Además, es especialmente conocido por incorporar por primera vez en la historia el concepto de *desarrollo sustentable*, al que define como: satisfacer "las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (ONU, 1987, p. 59).



Así, como el mismo Informe sostiene, las pautas que rigen al *desarrollo sustentable* son la economía, la sociedad y la naturaleza, por lo tanto, aunque reconoce un problema grave originado por la escasez de recursos y la contaminación, estos aspectos se relacionan con el crecimiento, el progreso y la importancia de los bienes naturales basados en su subordinación a los intereses de la humanidad. Además, cataloga a las nuevas tecnologías como un elemento esencial de la *sustentabilidad*, fundamentalmente en el aspecto energético.

De lo anterior se desprenden varias cuestiones: a) en primer lugar, el impulso a las energías renovables está estrechamente ligado al nacimiento y promoción de la *sustentabilidad* y, a partir del Informe Brundtland se centró la atención en éstas; b) en segundo, las energías renovables son vistas como soluciones en el corto plazo y como la oportunidad de cubrir la creciente demanda energética producto de la industrialización, el crecimiento poblacional y la agricultura. Incluso, aunque el documento identifica la necesidad de reducir el consumo energético, también menciona la urgencia de que los países subdesarrollados fomenten este tipo de tecnologías y no cuestiona en el fondo ni de manera crítica la continuidad del modelo productivo y mercantil, ampliamente rebasado.

Al contrario, dicho documento habla de la viabilidad económica que deben tener los proyectos de energía renovable, identificándolos una vez más como medios que permitan la continuidad del ritmo de vida actual. Además, aunque menciona que el mayor consumo de energía se concentra solamente en los países industrializados, jamás profundiza en las desigualdades socioambientales y socioeconómicas que esto representa y, aunque señala que “en el año 2030, una cifra futura de 35 TW implicaría producir 1.6 veces más petróleo, 3.4 veces más gas natural y casi cinco veces más carbón que en 1980” (ONU, 1987, p. 200), pone la alerta en el hecho de que estas cifras



sean generadas por combustibles fósiles y no en la lógica de los patrones que conducen a este uso desmedido de energía.

“Nuestro futuro común” asegura que “los sistemas de energía renovable [...] ofrecen al mundo unas fuentes primarias de energía potencialmente enormes, de duración ilimitada y disponibles en una u otra forma en cualquier nación” (ONU, 1987, p. 221). Lo anterior es importante porque se sentó un precedente que refleja los principios que rigieron y han regido la denominada transición energética mundial. Así, el Protocolo de Kioto estableció en 1997 las bases para un aumento más acelerado en el número de proyectos de energía renovable, pues ésta era una de las estrategias para reducir los GEI en 5 % del 2008 al 2012. Sin embargo, más que medidas estrictas, el Protocolo implementó mecanismos de mercado flexibles, que se basaban en el comercio de permisos de emisión a través de tres herramientas: 1) el Comercio Internacional de Emisiones, 2) el Mecanismo de Desarrollo Limpio y, 3) la Aplicación Conjunta. Básicamente, estos mecanismos establecían que las empresas que menos contaminaran y más energías renovables generaran tendrían acceso a “bonos de carbono”, lo que les daría derecho a emitir determinada cantidad de dióxido de carbono; pero éstos podrían comercializarse para ser adquiridos por las compañías que requirieran contaminar más (ONU, 1998). En teoría, esto crearía incentivos económicos perversos donde el comprador pagaría por contaminar y el vendedor sería recompensado por haber logrado reducir sus emisiones, logrando a largo plazo que la tendencia se orientara en este último sentido. Sin embargo, poco se logró, pues como Cano (2019) refiere, entre 1990 y 2018 se quemó más petróleo, gas y carbón. Después de la firma del Acuerdo de París en el 2015, la economía fósil quemó dos tercios más de lo que consumía en 1992.

Sin embargo, la energía renovable siempre ha sido considerada “infinita”, sin reconocer sus limitaciones y deficiencias. Por ejemplo, aún depende directamente de materiales provenientes de la minería (actividad cuestionada por los daños ambientales y sociales que ocasiona y que comprometen directamente la vida de las comunidades y los ecosistemas) (Azamar, 2018) y de irónicamente, los combustibles fósiles (Olivera, Azamar y Tornel, 2022).

En general, los proyectos de energía renovable comenzaron a implantarse bajo la acepción clásica de *desarrollo sustentable* y los descritos por Malm (2016) para referirse al *capitalismo fósil*. De este modo, lejos de cuestionar al modelo económico y las relaciones de poder, se sigue ubicando al crecimiento demográfico como el problema central y se propone una transición energética ignorando los procesos sociales originados por la desigualdad; ¿quién y para qué se generará esa electricidad? Como apunta Cano (2022):

“el primer paso necesario es frenar la degradación capitalista del planeta y reducir drásticamente el poder que monopolizan las élites fósiles. Para evitar el colapso se necesita poner freno a (1) la concentración de riqueza, poder y privilegios, (2) los negocios corporativos-extractivos, (3) el militarismo y (4) el crecimiento capitalista. Es urgente frenar el despilfarro de energía que se realiza en beneficio de las élites fósiles y en perjuicio de la mayoría de la población y de los ecosistemas” (Cano, 2022, p. 95).

Efectivamente, los principios que rigen la llamada transición energética han sido los mismos que impulsaron a los combustibles fósiles en el siglo XVIII, pues se ignora que más allá de objetivos internacionales y metas establecidas numéricamente, los proyectos enmarcados bajo el discurso de la *sustentabilidad*,



como los de energía renovable, tendrían impactos locales que no siempre resultarían positivos al incidir en esas relaciones complejas y que además, están fuertemente territorializadas; es decir, que atraviesan por entramados que involucran no sólo la propiedad de la tierra, sino la apropiación simbólica, el apego, modos de vida, culturas, identidades, disputas, etc.

El cambio, en la matriz energética se ha enfocado en la escala global, considerando, nuevamente, que se puede disponer de los bienes naturales a voluntad, ignorando los efectos colaterales sobre las poblaciones marginadas y que éstas son, a pesar de todo, agentes participativos con capacidades de respuesta, de propuesta y de acción.

Sin duda, las energías renovables tienen un rol central en la reducción del calentamiento global, pero de nada servirán si se impulsan desde la mercantilización. La energía debe ser reconocida como un derecho porque permite una mejor calidad de vida y acceso a servicios básicos. Por lo tanto, debe fomentarse que las poblaciones propietarias de los recursos necesarios para generar electricidad sean las principales beneficiadas y puedan colaborar activamente en proyectos con menores impactos negativos (Azamar y García, 2022).

No tiene caso generar más energía si el consumo de ésta no deja de crecer y si no se cambian las reglas que permiten que los megaproyectos asociados a las energías renovables tengan estragos ecológicos y sociales. La transición energética no es sólo una preocupación ambiental que puede ser resuelta desde la *sustentabilidad* con tecnologías menos contaminantes; requiere englobar las especificidades de las sociedades, reeducar y replantear la forma en la que llevamos nuestras vidas (Olivera, Azamar y Tornel, 2022).

Las energías limpias en México

Las políticas ambientales globales han influido a nivel federal en nuestro país para la definición de las propias que, eventualmente, han determinado la presencia de proyectos de energía renovable en la nación. Dichas políticas tienen sus orígenes en las décadas de los setenta y ochenta del siglo pasado, justamente cuando en el mundo se desarrollaba el debate que buscaba la organización internacional. Como ya referíamos, y de acuerdo con Micheli (2002), la construcción misma de esas políticas se dio en el contexto de un mercado ambiental que se regía por el naciente paradigma de la *sustentabilidad*; es decir, "por la acción económica y política de actores cuyo poder está vinculado a remediar y/o preservar el medio ambiente. Tal poder se expresa en la esfera de los negocios, en las ideas y en la acción política" (Micheli, 2002, p. 133). De este modo, el Estado jugó un papel predominante en ese proceso, que inició cuando el tema ambiental se impuso en la agenda nacional por tres motivos: 1) un ciclo de catástrofes naturales que dejaron en claro la ausencia de una capacidad institucional de atención a estos fenómenos, 2) la emergencia del modelo neoliberal en la estrategia de desarrollo económico y social del país, y 3) la presión internacional (Micheli, 2002).

En este sentido, el primer gran ejercicio en la materia por parte de nuestro país fue el Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988, impulsado por el gobierno de Miguel de la Madrid, que sentaría el precedente para la promulgación de Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en 1988, sumamente importante porque incorpora a la energía como un tema prioritario. Cabe destacar que para ese momento el país carecía de plantas eólicas y fotovoltaicas, y la generación de energía renovable o limpia se centraba en



hidroeléctricas; tecnología que comenzó a explotarse en México desde finales del siglo XIX, y la incipiente energía nuclear, sobre la que se ponían amplias esperanzas desde el inicio de la construcción de la Central Laguna Verde en 1976 (ubicada en Alto Lucero, Veracruz). No obstante, ésta fue polémica y despertó la inconformidad de distintos sectores por los graves riesgos asociados a ella, lo que llevaría a que finalmente entrará en operación hasta 1990 (Azamar y García, 2021).

Mientras en el mundo las grandes inversiones en energía renovable comenzaron en la década de los setenta incentivadas sobre todo por la escasez de hidrocarburos, en México este proceso tomó más tiempo debido a que el país atravesaba una época de bonanza petrolera que evitaba la urgencia de generar energía por métodos alternos. "En 1970 predominaban sólo tres tipos de energía: a) la hidroeléctrica que representaba 56.9% del total producido, b) la carboeléctrica con 0.7 % y, c) la termoeléctrica con 42.4%" (Cámara de Diputados, 2001, p. 103).

Sería hasta la década de los noventa cuando tendrían lugar aspectos interesantes en materia ambiental y energética, pues en 1992 se creó el Instituto Nacional de Ecología (INE) mientras, a la par, comenzaba a experimentarse con pequeños proyectos de energía fotovoltaica y eólica, ya que en 1987 se echó a andar en el Gavillero, Hidalgo, un prototipo para la medición del viento que estaría en funcionamiento hasta 1996.

En cuanto a la solar, en 1993 en Otón P. Blanco, Quintana Roo, se realizaría un proyecto para la electrificación de albergues escolares. Sin embargo, estas fueron propuestas incipientes y con alcance local. Además, a mediados de 1980 "investigadores del Instituto de Investigaciones Eléctricas comenzaron a señalar el Sur del Istmo de Tehuantepec, como la zona más promisoría del país

respecto al potencial de aprovechamiento del viento para generar electricidad en gran escala” (Borja, Jaramillo y Mimiaga, 2005, p. 1).

Así, en 1994, bajo el gobierno de Carlos Salinas de Gortari, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) inauguró el primer parque eólico de grandes dimensiones en el país, llamado La Venta, ubicado en el poblado del mismo nombre en el estado de Oaxaca. Este proyecto, con 104 aerogeneradores fue una prueba inicial que superó las expectativas, demostrando el gran potencial de la zona para la generación de energía de este tipo. Por otra parte, también ese año se creó la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) con el objetivo de detener el deterioro ambiental, fomentar la producción limpia, la sustentabilidad y el desarrollo social, por lo que se marcaba un claro camino en el futuro de las energías renovables.

Posteriormente, con la llegada a la presidencia de Ernesto Zedillo Ponce de León tendrían lugar una serie de cambios significativos orientados hacia la negociación con el sector empresarial, como la creación del Programa de Medio Ambiente 1995-2000 que ponía énfasis en el concepto *desarrollo sustentable* y en echar a andar la infraestructura necesaria para generar fuentes alternativas de energía.

Además, el 28 de diciembre de 1994 nace la Secretaría de Energía (SENER) —como la conocemos hoy día— para entre otras cosas “promover la participación de los particulares [...] en la generación y aprovechamiento de energía, con apego en la legislación en materia ecológica” (Cámara de Diputados, 1994). De esta manera, después del “éxito” del Proyecto Eólico La Venta, el avance tecnológico y las condiciones creadas por las políticas nacionales e internacionales en materia ambiental, es que a partir del año 2000 aumentó la producción de energía renovable en México, sobre todo después



de que “el Gobierno del Estado de Oaxaca [...] intensificó la promoción del desarrollo eoloeléctrico para el Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec” (Borja, Jaramillo y Mimiaga, 2005, p. II).

Debido a estas políticas, la eólica en particular experimentó un crecimiento acelerado, pasando de producir 601 MW en 8 parques de este tipo en el 2011 (AMDEE, 2011) a 8128 MW en 70 parques en el 2021 (AMDEE, 2021). Además, el primer parque fotovoltaico a gran escala en el país, Aura Solar I, fue inaugurado en el 2014 en Baja California Sur y producía 39 MW, pero para el 2020 ya operaban 63 parques que en conjunto aportaban 5644 MW de acuerdo con información de la Asociación Mexicana de Energía Solar (ASOLMEX, 2021). No obstante, actualmente las fuentes renovables continúan proporcionando un porcentaje bajo de la producción energética total con 32.7% (Azamar y García, 2021).

De esta manera, la generación de dicha energía conforma en sí misma un mercado controlado por algunas cuantas empresas privadas: Iberdrola, Gamesa, Acciona de capital español, la alemana Siemens y la danesa Vestas dominan el sector eólico, mientras las chinas Jinko Solar, Trina Solar y la canadiense Canadian Solar el fotovoltaico. En resumen, las energías renovables constituyen un negocio en el que convergen fabricantes de equipo, compañías que realizan estudios ambientales o topográficos, constructoras dedicadas a la instalación de la infraestructura y operadoras. Además, sus principales consumidoras son otras compañías privadas que se encuentran en México como: Grupo Femsa, Walmart, Soriana y Bimbo.

El crecimiento de las energías renovables fue incentivado por las facilidades otorgadas a los inversionistas privados que ya se visibilizaban, pero, sin duda, sería la Reforma Energética promovida por el gobierno de Enrique Peña Nieto en el 2013 la máxima expresión de este proceso. Ampliamente criticada por

figuras políticas, activistas y ciudadanos debido a su carácter bursátil que parecía tender a la privatización, la Reforma se estableció como meta generar al menos 35% de la energía en el país desde fuentes renovables para el 2035, y 50 % para el 2050 (González, 2016), estableciendo para ello un marco beneficioso para las grandes empresas extranjeras del sector eléctrico.

Así, tres elementos permitieron el rápido ascenso de las energías renovables en el país:

- a) El primero es el carácter de apertura que tuvo no sólo la Reforma, si no la fundación misma de la SENER, para el sector privado. “Al igual que la generación, se prevé que la comercialización quedara abierta a la participación del sector privado. De esta forma, los usuarios podrán acceder a los beneficios de la competencia en el mercado eléctrico de diversas formas, de acuerdo con el tamaño de su consumo” (Gobierno de México, s.f, p. 23).
- b) El segundo es la creación, como parte de esta Reforma, del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), el 28 de agosto del 2014. Este Centro se fundó con el objetivo de “ejercer el Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional; la Operación del Mercado Eléctrico Mayorista y garantizar imparcialidad en el acceso a la Red Nacional de Transmisión y a las Redes Generales de Distribución” (CENACE, 2021). Entre otras funciones, el CENACE sería el encargado de la realización de Subastas Eléctricas, otro recurso creado por la Reforma. Las Subastas “permiten la participación de Entidades Responsables de Carga que deseen adquirir bajo este mecanismo Contratos de Cobertura Eléctrica que abarcan energía eléctrica, Potencia y Certificados de Energías Limpias” (Diario Oficial de la Federación, 2015). En otras palabras, son

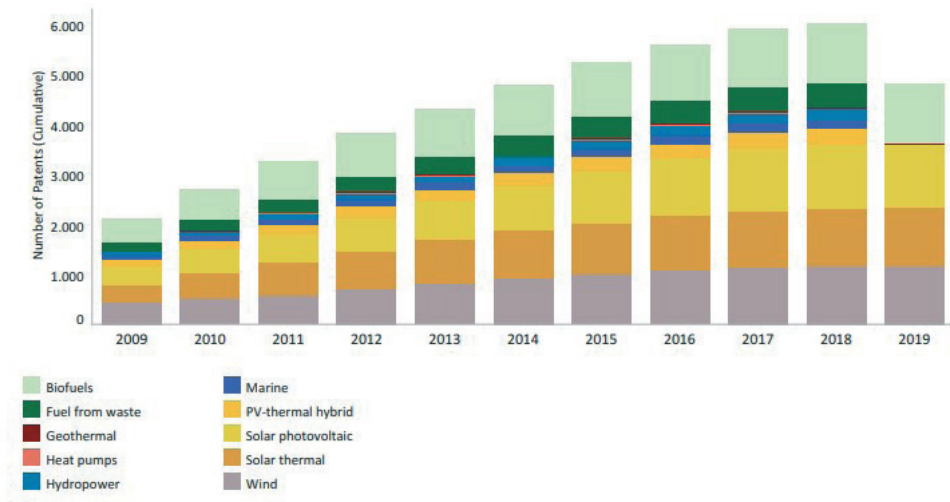


licitaciones en las que compiten empresas interesadas en venderle energía a la CFE por medio de contratos con duraciones que van desde los 15 hasta los 30 años, energía a generarse precisamente en proyectos eólicos y solares. Así, tres subastas fueron realizadas en 2015, 2016 y 2017, respectivamente, y por último;

- c) El potencial eólico de México es rentable y se concentra mayormente en cuatro entidades: Oaxaca, Tamaulipas, Yucatán y Baja California (AZEL, 2021). En el caso de la fotovoltaica se encuentra de forma dominante en: San Luis Potosí, Zacatecas, Durango y Chihuahua (AZEL, 2021). No obstante, hay zonas donde convergen ambos recursos, propiciando que sean codiciadas por proyectos de los dos tipos, como: Baja California, Oaxaca, Coahuila y Yucatán.

La SENER justificaba la Reforma asegurando que se apegaba totalmente al *desarrollo sostenible*, "concepto que plantea un crecimiento económico y social respetuoso con el medio ambiente. Se basa en un desarrollo económico que promueve iniciativas financieramente viables y eficientes en el uso de los recursos naturales" (SENER, 2015) y que permitiría la modernización del país.

Figura 3. Incremento de la producción de energías renovables en México 2011-2020



Fuente: International Renewable Energy Agency (IRENA, 2021).

No obstante, la proliferación de megaproyectos energéticos comenzó a tener impactos sociales, ambientales y territoriales, incrementándose junto a ellos una serie de oposiciones que pueden ser rastreadas a lo largo del país, incentivadas entre otras razones porque las ganancias y beneficios prometidos por éstos se quedaron en unas cuantas manos y nunca se visibilizaron en las zonas rurales, indígenas y campesinas que, principalmente, dotaron al Estado y a los privados de las tierras necesarias por medio de contratos de arrendamiento con una duración promedio de 30 años. Contrariamente, muchos de los acuerdos establecidos con empresas energéticas han sido incumplidos por éstas en distintos aspectos que van desde cuestiones financieras hasta violaciones a los derechos humanos.

Podemos destacar varios aspectos interesantes del origen de las energías renovables en México; en primer lugar, está claro que éstas comenzaron a desarrollarse en gran medida por intereses políticos y económicos en la esfera internacional ya que, aunque México contaba en la década de los noventa con importantes cantidades disponibles de petróleo, calculadas en 56 mil millones de barriles en reservas probadas posicionándose ese año entre los 10 países con más cantidad de este combustible (Torres, 2016), también en ese año empiezan a realizarse las pruebas más importantes en cuanto a recursos eólicos y fotovoltaicos. Para este punto, además, México ya había estado presente en los primeros ejercicios internacionales que buscaban evitar el colapso climático e impulsar el *desarrollo sustentable*.

Por lo tanto, al mismo tiempo que comenzaban a fomentarse las energías renovables, surgían y se arraigaban también instituciones en materia ambiental y energética y, aunque, efectivamente, las energías consideradas limpias representan una alternativa frente a los gases de efecto invernadero generados por los combustibles fósiles, también enfrentan sus propias condiciones adversas; por ejemplo, su cercanía con la industria minera (Olivera, Azamar y Tornel, 2022).

Por otra parte, su concepción sin el sector privado hubiera sido imposible, como demuestran la temprana promoción del Istmo de Tehuantepec como zona ideal para invertir en proyectos eólicos, y el hecho de que en todo el país sólo dos de ellos fueron planeados y concretados por instituciones gubernamentales, siendo el caso de la energía solar similar. Al respecto, la activista oaxaqueña Bettina Cruz afirma: “el gobierno mexicano y el gobierno estatal empezaron a promover la región del Istmo como un espacio para generar energía eléctrica [...] se repartieron el Istmo a la usanza porfirista; a

cada empresa le tocó una parte de nuestra región para poder realizar sus contratos y poder realizar sus parques eólicos” (Cruz, 2010).

Más aún, aquellos proyectos propiedad de la CFE se encuentran “en abandono y con baja producción” (López, 2021), como es el caso del primer parque eólico inaugurado en 1994 en La Venta, Oaxaca. Así, desde sus inicios, las energías renovables han estado asociadas a la industria, ya sea porque ella misma las ha incentivado o porque es la principal beneficiada de su producción. Del total de la energía que se genera hoy en México 62 % proviene de privados (Nahle, 2021). Por ende, las energías renovables no fueron concebidas como un servicio público ni como una forma de lograr el bienestar social, en cambio sí fueron una oportunidad para que el Estado y el capital trasnacional pudieran crecer económicamente mientras se contaminaba poco, al menos en teoría, pues como vimos, los bonos de carbono abren la posibilidad para seguir haciéndolo.

De esta manera, independientemente de argumentos ambientales a favor o en contra de las energías renovables, éstas no pueden ser consideradas como parte del *desarrollo sustentable* porque la sociedad no puede ni debe ser excluida de éste. Así, el hecho de que las energías limpias en México y en el mundo hayan sido originadas para mantener un ritmo de producción y de consumo las hace parte de un sistema desigual donde sólo algunos tienen acceso a los beneficios y ganancias.

Por otro lado, el triunfo de Andrés Manuel López Obrador en las elecciones presidenciales del 2018 redefinió la política energética cuando en mayo de 2020 la SENER anunció la Política de Confiabilidad, Seguridad, Continuidad y Calidad en el Sistema Eléctrico Nacional que básicamente limitaba los nuevos proyectos de energías renovables. Más tarde, el 30 de septiembre de 2021, el



mandatario presentó una propuesta de Reforma Eléctrica que busca reducir la participación de los privados en la industria por medio de modificaciones a los artículos constitucionales 25, 27 y 28, que prohíben los monopolios y reconocen que la generación de energía nuclear, electricidad, la exploración y extracción del petróleo son de injerencia exclusiva del Estado (López, 2021).

Dicha propuesta comenzó a discutirse públicamente el 17 de enero de 2022 por medio de un Parlamento Abierto, la cual fue rechazada más tarde, en el mes de abril, por diversas razones, entre las que destacan: intereses políticos, partidistas y empresariales, cuestiones que ponían en duda la libre competencia y la fortaleza institucional al hacer cambios significativos en algunas instancias como el CENACE, la presión internacional (sobre todo estadounidense), la poca participación de académicos, científicos y activistas y la falta de información pública.

Reflexiones Finales

En este trabajo se ha hecho un recuento de las principales políticas internacionales y nacionales que permitieron el incremento de las energías renovables. Las reflexiones presentadas permiten visibilizar cómo las condiciones que condujeron a la actual crisis climática son producto de la extracción de combustibles fósiles que funcionaron, y siguen funcionando como soporte de relaciones económicas expresadas en el capitalismo.

Aunque el *desarrollo sustentable* y las energías renovables surgieron en apariencia como una especie de antítesis que buscaba enmendar los daños causados por el *capitalismo fósil*, en realidad se fundamentaron bajo el mismo



precepto: el crecimiento económico, y lo hicieron sin cuestionar de raíz los procesos desiguales, pues hacerlo implicaba no sólo una discusión ambiental, sino una reestructuración sistemática más profunda. Así, las energías renovables reforzaron la percepción de que era posible continuar alimentando al sistema sin dañar el ambiente, vendiendo la falsa idea de que al generarse de manera “limpia” carecían de consecuencias negativas y que, sobre todo, volvían posible el aumento del consumo de energía en el largo plazo.

Pero las energías renovables no pueden por sí solas ser sustitutas de los hidrocarburos, como demuestra el hecho de que a pesar de que su producción se incrementa, el petróleo sigue siendo la fuente de energía por excelencia. Por otro lado, no son sostenibles porque tienen fuertes limitaciones; requieren grandes extensiones de tierra en zonas específicas y la fabricación de los equipos necesarios para su funcionamiento precisa de una gran infraestructura asociada a actividades que no son ecológicas.

Por otro lado, cada país definió sus propias leyes eléctricas para su regulación, prestándose a hacer de éste un negocio redituable en asociación con los grandes fabricantes y operadores del sector, estableciendo un círculo donde se benefician económica y ambientalmente sectores muy focalizados, tal como ocurre en México.

Por último, y retomando el cuestionamiento central, las energías renovables no pueden ser concebidas como un símbolo del *desarrollo sustentable* porque no contribuyen a mitigar la injusticia socioeconómica ni socioambiental. El capital pretende ahora fundamentarse en ellas de la misma manera que lo ha hecho en los combustibles fósiles, pero eso no cambia su lógica de acumulación.

En efecto, se habla ahora de un “nuevo modelo sostenible de acumulación” que busca ajustarse a las exigencias actuales del mercado regido por un



discurso verde que promueve la independencia de los combustibles fósiles para transitar hacia un modelo de emisiones contaminantes cero, pero sin sacrificar sus ganancias económicas. Así, la *acumulación por desfosilización* es ahora la forma en la que se mercantiliza la transición energética y se replican las asimetrías bajo el nuevo *capitalismo posfósil*:

La capacidad adaptativa del capitalismo le ha permitido sobrevivir y complejizarse siendo los cambios tecnológicos parte fundamental en ese proceso; las energías renovables le han permitido expandir una vez más sus fronteras, aunque sin abandonar del todo a los combustibles fósiles, pues no hemos dejado de ser dependientes de ellos. Además, los sustentos del *capitalismo fósil* no se han transformado ni lo harán solamente con la producción de energía menos contaminante mientras no se sigan considerando aspectos más profundos. Por ello, la *acumulación por desfosilización* reproduce las mismas asimetrías que hacen inequitativa la transición energética.

Referencias

- Altvater, E. (2007). The social and natural environment of fossil capitalism. *Socialist Register: Coming to Terms with Nature*, (43), (pp. 37-59).
- AMDEE. (2011). *Panorama General de la Energía Eólica en México*. Asociación Mexicana de Energía Eólica. [Diapositiva PowerPoint]. <https://amdee.org/Proyectos/AMDEE%20Presentacin%20en%20Espaol%202011.pdf>
- AMDEE. (2021). *Desarrollo y beneficios*. Asociación Mexicana de Energía Eólica. [Diapositiva PowerPoint]. <https://amdee.org/infografias/Desarrollo-y-beneficios-act.pdf>
- AMDEE. (2021). *Asociación Mexicana de Energía Eólica*. <https://amdee.org/>
- ASOLMEX. (2021). *Asociación Mexicana de Energía Solar*. <https://asolmex.org/>
- Angus, I. (2016). *Facing the Anthropocene. Fossil Capitalism and the Crisis of the Earth System*. Monthly Review Press.
- Angus, I. (5 de enero de 2017). 'Fossil capitalism' opens new geological epoch: The Anthropocene. *People's World*. <https://www.peoplesworld.org/article/fossil-capitalism-opens-new-geological-epoch-the-anthropocene/>
- Azamar, A. (2018). *Minería en América Latina y México: problemas y consecuencias*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Azamar, A. (21 de abril de 2022). ¿Por qué se rechazó la reforma eléctrica en México?, *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/opinion/aleida-azamar/por-que-se-rechazo-la-reforma-electrica-en-mexico>
- Azamar, A., y García, Y. (2022). Política energética en México, ¿transición o continuación?. En Alonso, L. y Talledos E. (Coords.) *Economía política de las transiciones energéticas en América Latina* (en edición).
- Azamar, A. y García, Y. (2021). Diagnósticos y riesgos de la energía eólica en México. *Revista de Geografía Agrícola*. (67), (pp. 27-45).
- Azamar, A. y García, Y. (2021). Energía nuclear, ¿qué está en juego: beneficio económico o bienestar socioambiental? *Espiral. Estudios sobre Estado y Sociedad*. xviii (82), 173-2019.
- AZEL. (2021). Atlas nacional de Zonas con alto potencial de Energías Limpias. *Secretaría de Energía* <https://dgel.energia.gob.mx/azel/index.html>
- Barboza, O. (2013). Calentamiento global: "la máxima expresión de la civilización petrolfósil". *Revista del CESLA*, (16), (pp. 35-68).
- Bastian, A. I. y Jairath, V. (2019). *Conflictos y resistencias. Energía y conflictividad en México*. Porrúa.



- Borja, M., Jaramillo, O. y Mimiaga, F. (2005). *Primer Documento del Proyecto Eoloeléctrico del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec*. Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Cano, O. (2019). Capitalismo fósil en el siglo XXI: mecanismos económicos, energéticos, militares y elitistas para desencadenar el colapso planetario. *Estudios Latinoamericanos, Nueva Época*. 44, 73-102.
- Cano, O. (2022). Capitalismo fósil. Una guía de estudio en *Boletín del Grupo de Trabajo Cambio ambiental global, metabolismo social local*, (pp. 25-40).
- CENACE. (2021). *Quiénes Somos*. Centro Nacional de Control de Energía. <https://www.cenace.gob.mx/CENACE.aspx>
- Cámara de Diputados. (28 de diciembre de 1994). *Poder Ejecutivo. Secretaría de Gobernación*. Diario Oficial de la Federación. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/loapf/LOAPF_ref15_28dic94_ima.pdf
- Cámara de Diputados. (2001). *Evolución y Perspectiva del Sector Energético en México, 1970-2000*. Cámara de Diputados.
- Cruz, B. (2010). *Vientos de resistencia*. [Archivo de video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=IZds_Ym1B10
- Diario Oficial de la Federación. (28 de enero de 1988). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>
- Diario Oficial de la Federación. (8 de septiembre de 2015). *Acuerdo por el que la Secretaría de Energía emite las Bases del Mercado Eléctrico*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5407715&fecha=08/09/2015
- Enerdata. (2021). *Consumo nacional de electricidad*. Anuario Estadístico de Energía y Clima Mundial. <https://datos.enerdata.net/electricidad/datos-consumo-electricidad-hogar.html>
- García, Y. (2021). *La implantación de centrales de energía eólica: impactos territoriales e identitarios en la población indígena de Baja California*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- García, D. (2021). ¿Estamos avanzando en la transición energética en América Latina?: Análisis y Consideraciones. *Boletín Política Comercial y Ambiental*. (13), (pp. 1-21).
- Gobierno de México. (s.f). *Reforma Energética*. Gobierno de la República. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/10233/Explicacion_ampliada_de_la_Reforma_Energetica1.pdf
- González, E. (24 de agosto de 2016). Para 2050, 50% de fuentes renovables energía. *Milenio*. <https://www.milenio.com/negocios/para-2050-50-de-fuentes-renovables-energia>
- International Energy Agency. <https://www.iea.org/>
- International Renewable Energy Agency <https://www.irena.org/>

- Kazimierski, M., y Argento, M. (2021). Más allá del petróleo. En el umbral de la acumulación por desfosilización, *Relaciones Internacionales*, 30 (61), (pp. 209-225).
- López, A. (10 de noviembre de 2021). En abandono y con baja producción, así opera el primer parque eólico del país, en Oaxaca. *El Universal*. <https://oaxaca.eluniversal.com.mx/estatal/en-abandono-y-con-baja-produccion-asi-opera-cfe-el-primer-parque-eolico-del-pais-en-oaxaca>
- López, A. (2021). *Iniciativa del Ejecutivo Federal*. Gaceta Parlamentaria. (5877-I), (pp. 1-41). <http://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/65/2021/oct/20211001-I.pdf>
- Malm, A. (2013). The Origins of Fossil Capital: From Water to Steam in the British Cotton Industry. *Historical Materialism*. (21.1), 15-68.
- Malm, A. (2016). *Fossil Capital. The rise of steam power and the roots of global warming*. Verso.
- Micheli, J. (2002). Política ambiental en México y su dimensión regional. *Región y Sociedad*. xiv (23), (pp. 129-170).
- Monsalve, M. (7 de noviembre de 2022). Una guía para entender la COP27 si es de Latinoamérica y el Caribe. *El País*. <https://elpais.com/america-futura/2022-11-07/una-guia-para-entender-la-cop27-si-es-de-latinoamerica-y-el-caribe.html>
- Nahle, R. (11 de octubre de 2021). *Conferencia Mañanera*. [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=vdAAkqtDdq>
- Olivera, B., Tornel, C., Azamar, A. (2022). *Minerales críticos para la Transición Energética*. Fundación Heinrich Böll Oficina Ciudad de México, para México y el Caribe (en prensa).
- ONU. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "Nuestro futuro común"*. Organización de las Naciones Unidas.
- ONU. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Naciones Unidas.
- ONU. (2020). *El Acuerdo de París*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- ONU. (2021). *COP26: Juntos por el planeta*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/cop26>
- Our World In Data. (2021). *Global fossil fuel consumption*. https://ourworldindata.org/grapher/global-fossil-fuel-consumption?country=_OWID_WRL
- Secretaría de Energía. (16 de julio de 2015). *Desarrollo sostenible*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sener/articulos/desarrollo-sostenible>
- Slipak, A y Argento, M. (2022). Ni oro blanco ni capitalismo verde. Acumulación por desfosilización en el caso del litio ¿argentino?. *CEC*, 8 (15), (pp. 15-36).



Torres, A. (19 de octubre de 2016). 1990, el año en que tuvimos más petróleo. *El Financiero*.
<https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/atzayaelh-torres/1990-el-ano-en-que-tuvimos-mas-petroleo/>

Villegas, A. (2021). El ecomarxismo entre el Antropoceno y el Capitaloceno: rupturas metabólicas, capital fósil y régimen ecológico. *Colombia Internacional* (108), (pp. 15-38).

PARTE II.

EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES



UN PARADIGMA TAXONÓMICO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE PANELES FOTOVOLTAICOS

*Jaime Muñoz Flores**

*Armando Valle Yahutentzi***

Introducción

La relación entre cambio tecnológico y sustentabilidad ha sido estudiada durante los últimos años desde diversas perspectivas. Algunos investigadores han sistematizado datos estadísticos con el objetivo de evidenciar cómo la robotización e integración de Inteligencia Artificial (IA) a los procesos productivos de bienes tangibles está impactando positivamente la productividad y abaratando simultáneamente los costos de insumos fundamentales para la producción; particularmente los energéticos y la fuerza humana de trabajo. En contraste, otras investigaciones de índole heurístico (Petrovic, 2007); (Ozaki,

* Profesor-Investigador del Departamento de Producción Económica, UAM-Xochimilco.

** Coordinador de Logística en el Instituto Electoral del Estado de México.



2014); (Popp, 2001); (Jiborn, 2020), han demostrado que los incrementos de la oferta agregada de bienes de capital, combinados con la mayor productividad y reducción de costes, así como con los nuevos recursos para comercio electrónico sin fronteras, han alterado los patrones de consumo y exacerbado las compras no utilitarias (consumismo), generando efectos adversos sobre el medio ambiente y distanciando los horizontes de los Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS). Otros autores han observado el fenómeno *tecnología versus sustentabilidad* intentando caracterizar su dinámica evolutiva en función del tipo de industria. Adscrito este enfoque, Chunguang demostró empíricamente en 2020 que los avances tecnológicos en la industria de los dispositivos móviles (teléfonos, tabletas, relojes inteligentes, etc.), así como de enseres domésticos en línea (internet de las cosas), representan el mayor daño transversal a todas las industrias en términos de sustentabilidad (Chunguang, 2020). Por su parte, según el autor, la nanotecnología, IA, simulación y dronización, son las tecnologías que ralentizan en mayor medida la sustentabilidad de las industrias automotriz, electrónica, alimentos, y textiles.

Otras investigaciones han tratado de estudiar conjuntamente la perspectiva epistémica y el soporte teórico-metodológico de la transformación tecnológica de los procesos de producción y distribución de bienes y servicios, así como las modificaciones en los patrones de consumo producidas por los cambios eco innovadores (Mahmood, 2022), (Pelin, 2019). En términos sucintos, sus conclusiones apuntan hacia la urgencia de nuevas políticas públicas de realineamiento de las capacidades productivas orientadas por criterios de sustentabilidad; *i.e.*, una ágil transformación regulatoria que catalice cambios reales y de corto plazo, tanto en los patrones de producción y oferta agregada como en los de demanda agregada y consumo. Políticas públicas



apuntaladas mediante inversiones significativas, fomentadas en primera instancia por el sector gubernamental, pero con la concurrencia de todas las industrias e instituciones privadas; inversiones destinadas a la investigación y desarrollo, específicamente en los campos de protección al medio ambiente y sustentabilidad.

En este contexto, destaca la de expansión de las tecnologías energéticas fotovoltaica y eólica, mismas que sufrieron inéditos incrementos durante la década pasada. Durante los años más recientes, la caída generalizada de los costes de inversión fija bruta para el remplazo de transductores energéticos fue un factor determinante. Particularmente, los precios de los paneles fotovoltaicos sufrieron un desplome provocado por la emergencia de economías de escala, así como por una fuerte competencia internacional desencadenada por fabricantes chinos. Sin embargo, la acelerada recomposición de la matriz energética no ha sido modulada por una planeación de largo plazo que considere aspectos tan relevantes como la naturaleza de la materia prima utilizada en la fabricación de los paneles.

Debido al enorme impacto que ejercen la producción y consumo de energía sobre la problemática vinculada a la sustentabilidad, numerosos estudios han investigado las relaciones entre potencial de reciclaje de la infraestructura energética y la sustentabilidad (Evans, 2019). Sin embargo, la discusión entre potencial reciclaje y sustentabilidad se remite su vez a la discusión más general entre circularidad económica y sustentabilidad. En otros términos, la intencionalidad de que las plataformas productivas sean restaurativas o regenerativas como efecto de un diseño deliberado se relaciona necesariamente con la viabilidad de los modelos producción que buscan



garantizar a las generaciones presentes la cobertura de sus necesidades, sin que ello reste a las futuras generaciones las posibilidades de cubrir las propias (Webster, 2015), (Bocken, 2016).

Otro aspecto centralmente relacionado con los temas de reciclaje y sustentabilidad es la vigencia tecnológica. En trabajos seminales, Ehrenfeld, Chertow y Commoner pusieron en claro los términos en que la tecnología, junto con otros factores como la dinámica demográfica y el consumo superfluo (consumismo), son los principales determinantes de las severas tensiones ambientales que se padecen en la actualidad. Sintéticamente, la relación planteada por estos autores se expresa como $I = T \times A \times P$ (Impacto ambiental = Tipo de Tecnología x Población x Consumismo), (Ehrenfeld, 2010), (Chertow, 2001), (Commoner, 1971).

A partir de esos planteamientos, las investigaciones sobre la causalidad de los impactos ambientales han puesto mayor o menor énfasis en los patrones de consumo (Woolard, 2000), la dinámica demográfica (Hardin, 2008), pero sobre todo en la tecnología (Hart, 2003), (Kemp y Pearson, 2007), (Cohen, 2006), concibiendo esta última como mecanismo amplificador de la resiliencia ambiental e inclusión social.

El crecimiento poblacional, la intensificación y refracción de procesos productivos altamente tecnificados, así como los hábitos de consumo en masa de las sociedades contemporáneas, han provocado que la dependencia hacia los energéticos se haya venido incrementando progresivamente. Este constante incremento de la demanda energética ha tenido implicaciones importantes en términos de presión sobre la infraestructura energética tanto para fines domésticos como para industriales, e inclusive para los de las pequeñas y medianas empresas (pymes). Dentro de este amplio contexto, la drástica caída



de los precios de la infraestructura para la producción energética fotovoltaica ha provocado que los países con menor captación relativa de radiación solar se hayan interesado en desarrollar granjas fotovoltaicas de alta escala.

La buena noticia del incremento en el potencial supletorio de fuentes fósiles ha ocultado la urgente necesidad de que la floreciente industria fotovoltaica crezca orientada por una planeación de largo plazo; una planeación que pondere la viabilidad del reciclaje de la infraestructura fotovoltaica, al menos al mismo nivel que otros atributos como la eficiencia de transducción y la relación rentabilidad-precio.

Este trabajo tiene por objetivo plantear en términos formales un paradigma taxonómico que permita jerarquizar las nuevas tecnologías de paneles solares con base en criterios como los anteriormente mencionados, es decir, la naturaleza de sus materiales de fabricación, su potencial como fuente de reciclaje, eficiencia en la conversión energética, costos de producción y vida útil. Con ello se pretende responder cuestiones tales como si la vaguedad y escasez de series históricas acerca de los atributos de las nuevas tecnologías energéticas constituye o no una barrera real para ser considerados como criterios taxonómicos. Como un marco antecedente al desarrollo metodológico del paradigma clasificatorio, en el siguiente apartado se presenta una brevísima discusión sobre la contaminación atmosférica, principal desencadenante de la irrupción de la tecnología fotovoltaica a escala masiva. Posteriormente, se plantea la propuesta metodológica para jerarquizar las tecnologías fotovoltaicas existentes, junto con algunos resultados de ensayos de aplicación del modelo taxonómico. En el último apartado se presentan algunas reflexiones finales y conclusiones.



La polución atmosférica como factor desencadenante del desarrollo de nuevas tecnologías de producción energética

El mayor consumo de energía en sus diversos tipos ha tenido consecuencias directas en la magnitud de la huella ecológica *per cápita*, tal como revelan las series evolutivas de emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y otros residuos asociados a la combustión de hidrocarburos. Con la convicción de operacionalizar la evidencia sobre el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente, en su propuesta de métrica de huella de carbono William Rees y Malthis Wackernagel consideraron lo siguiente:

[Como indicador es] una herramienta para determinar cuánto espacio terrestre y marino se necesita para producir todos los recursos y bienes que se consumen, así como la superficie para absorber los desechos que se generan, usando la tecnología actual.

[De esta manera, los estudios al respecto han calculado que] la huella ecológica de cada ser humano es de 2.7 hectáreas. Sin embargo, nuestro planeta tan sólo es capaz de otorgar a cada uno de sus habitantes cerca de 1.8 hectáreas (WWF2012). Esta diferencia indica que cada uno de nosotros utiliza más espacio para cubrir sus necesidades de lo que el planeta puede darnos (Semarnat, 2017).

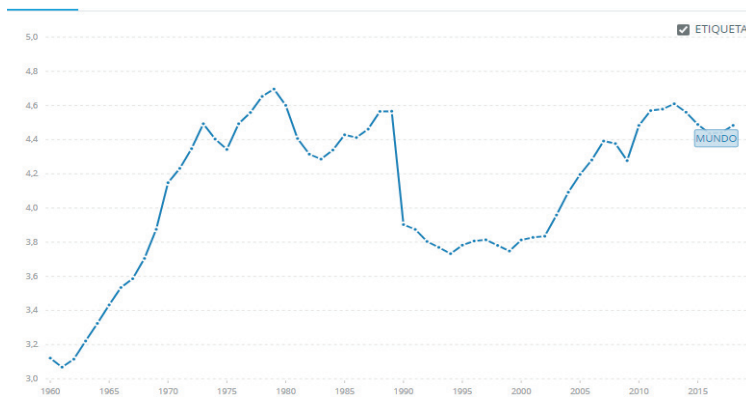
Pero a pesar del alarmante incremento de los contaminantes ambientales derivados del consumo energético, la resistencia de la denominada *sociedad red*, persiste (Castells, 2006). Resistencia propiciada en gran medida por unos hábitos de consumo intensivo que responden de manera irreflexiva a las nuevas tendencias impulsadas por las grandes industrias multinacionales. En este sentido, las actividades que más han repercutido en el crecimiento de la



huella ecológica a nivel mundial ha sido la quema de combustibles fósiles para generación de electricidad y transporte, en un distante primer término, seguido de la agricultura y la ganadería (Semarnat, 2017).

El compromiso manifiesto de las economías industrializadas y post industrializadas de reducir la huella de carbono asociada al consumo energético humano está lejos de cumplirse. De acuerdo con datos del Banco Mundial (2021), salvo por una oscilación transitoria durante los años dos mil, las emisiones de CO_2 correspondientes a los pasados cuarenta años han conservado una tendencia horizontal (Figura 1).

Figura 1. Emisiones de CO_2 - toneladas métricas *per cápita* (1960 - 2018)



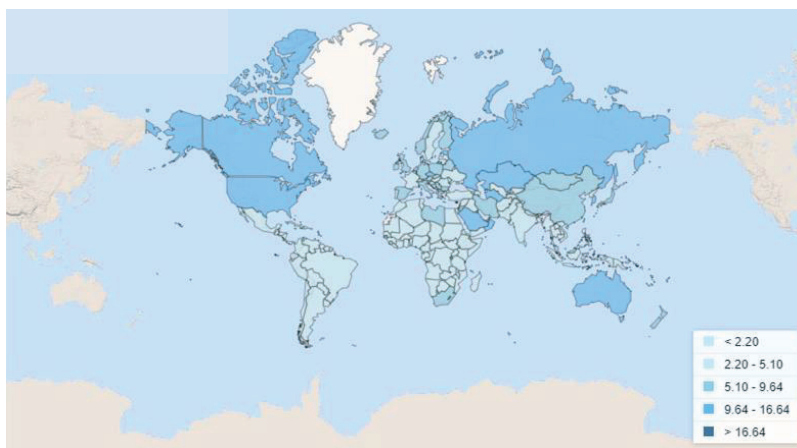
Fuente: (Banco Mundial, 2021)

Teniendo en cuenta que la dinámica poblacional mundial adoptó una trayectoria exponencial a partir de la década de 1950, el incremento acumulado de habitantes después de más de siete décadas implica que las mediciones

per cápita de emisiones de CO_2 deben ir acompañadas de un análisis por conglomerados. Considerando lo anterior, resulta interesante ensayar un ajuste al lente de análisis y comparar la participación de las naciones post industrializadas con las economías emergentes respecto de la emisión de gases contaminantes.

En este sentido, la pretendida homologación propuesta por la Conferencia de las Partes (COP) en términos de impacto ambiental *per cápita* entre los países que sólo consumen y aquéllos que exportan un volumen importante de sus valores energéticos, es injustificada. La anterior afirmación queda soportada si se atiende a la acumulación de CO_2 *per cápita* a nivel de países, ya que esta forma permite visibilizar cuáles son las naciones responsables de aportar mayores cantidades de gases de efecto invernadero.

Figura 2. Emisiones de CO_2 – miles de toneladas métricas *per cápita* (2018)



Fuente: Banco Mundial (2021).

El mapa de la Figura 2, pone claramente en relieve a los conglomerados de países que más aportan al fenómeno del calentamiento global. Estados Unidos y Canadá, en el continente americano, Euro-Asia y Oceanía, son zonas con emisiones anuales que se ubican entre las 16.6 mil toneladas y las 9.6 mil métricas *per cápita*, superando significativamente a los países de la región de Europa, Asia, Libia y Sudáfrica, que se encuentran en el rango que va de 9.6 a 5.1 miles de toneladas métricas de CO₂ por año.

En el caso de América Latina, la métrica de este indicador es acorde con los niveles de las actividades productiva, comercial y de consumo final que caracterizan a los países de la región, ubicándose en el rango más bajo a nivel mundial en cuanto a emisiones de dióxido de carbono *per cápita*. Por debajo de los niveles que alcanzan Venezuela, Chile y Argentina, México se ha mantenido cercano al valor promedio de los países latinoamericanos, con emisiones anuales de CO₂ de aproximadamente 3.7 miles de toneladas métricas de CO₂ *per cápita*, según los últimos datos disponibles de este indicador.

El papel de México en la transición energética regional

Si bien el indicador *per cápita* de emisiones de CO₂ ubica a México como un país con baja contribución proporcional al impacto climático, el grado demográfico de nuestro país constituye un factor de relevancia. Como segunda nación en América Latina en términos de número de habitantes, los valores absolutos de la huella ecológica generada por la población mexicana alcanza un peso muy significativo a nivel regional:



De acuerdo con el estudio *Huella Ecológica, datos y rostros* [cursivas añadidas], elaborado por el Cecadesu [Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable], en México, la huella ecológica calculada en 2006 fue de cerca de 3.4 hectáreas por persona. Estamos en el grupo de países con déficit, y ocupamos el lugar 46 entre las mayores en el mundo (Semarnat, 2017).

En este sentido, resulta imperativo distinguir las alternativas energéticas limpias que por sus atributos pueden adaptarse al contexto socioeconómico de las diversas regiones de la república mexicana. Históricamente, la revolución industrial que alcanzó a México hacia finales del siglo XVIII, provocó el desplazamiento de los tradicionales recursos energéticos de biomasa y dio paso a la era de los combustibles fósiles como principal fuente de energía primaria. Sin embargo, a pesar de que las actuales reservas de hidrocarburos dentro del territorio nacional superan los 25 mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente, la presión social por la creciente incertidumbre climática está obligando al gobierno mexicano a contemplar medidas que aceleren la transición hacia un paradigma energético sustentable.

La energía fotovoltaica como componente fundamental del paradigma sustentable

Los primeros paneles solares de alta capacidad fueron impulsados después de la Segunda Guerra Mundial como una de las respuestas al rechazo social que estaba generando la expansión de la energía nuclear. Sin embargo, fue hasta mediados de la década de los años setenta cuando las investigaciones académicas referentes a las energías renovables adquirieron auge. En nuestro

país, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) fue pionera en la generación de líneas formales de investigación sobre campo de las energías renovables (Martínez, Caldera y Estrada, 1996). Desde sus inicios, el sentido de las investigaciones estuvo centrado en las posibles aplicaciones de energías alternativas para la vida moderna, sin embargo, el vínculo material entre conocimientos académicos y su aprovechamiento por los usuarios potenciales tardó más de veinte años en concretarse.

La industria fotovoltaica comenzó a florecer en México a principios de la década de 1990, pero fue hasta el cambio de siglo cuando su crecimiento mostró consistencia:

Desde 2008, en México se registró un crecimiento moderado de la participación de energías renovables en la matriz de generación eléctrica; sin embargo, su despliegue estaba limitado principalmente a los mercados de autoabastecimiento de grandes usuarios y de proyectos financiados con recursos públicos. La Reforma Energética de 2013 estableció nuevas regulaciones para toda la industria [...] (ProMéxico, 2017, p. 19).

Posteriormente, un interés del gobierno mexicano en las energías renovables surgió como reflejo de una fuerte tendencia observable en occidente durante la década de 2010: En el contexto internacional, las adiciones de capacidad instalada de energía eléctrica renovable [marcaron] récord, duplicando las nuevas inversiones de la capacidad de generación de combustibles fósiles. La capacidad solar fotovoltaica fue la tecnología que más creció en 2016, representando 47% de las adiciones totales, seguida de la energía eólica y energía hidráulica. [...] *Gracias a la dramática reducción de costos de la tecnología, los países en desarrollo aprovechan esta situación para establecer estrategias nacionales de incorporación de esta fuente de energía en*

los mercados eléctricos locales. [...] En América Latina, Brasil, México y Chile han sido los principales países de la región que registran mayores inversiones en energías renovables, donde sobresalen nuevas inversiones en energía eólica y solar (ProMéxico, 2017, p. 16).

Así, en los últimos años la generación de energía eléctrica de fuentes renovables para los sectores residencial, comercial, de servicios e industrial ha comenzado a incrementar su volumen, con una proporción significativa, resultado de la creación de parques solares de capital privado. Una de las principales razones de la acelerada expansión de la energía solar obedece a los altos niveles de radiación que se recibe por las regiones de los cuatro puntos cardinales del territorio nacional. La Figura 3 ilustra las entidades de la República donde se ubican los principales proyectos de infraestructura con celdas solares.

Figura 3. Estados de la República con Centrales Solares en Operación Cuatrimestre I (2021)



Fuente: Asolmex, 2021.

Cabe señalar que si bien las entidades federativas del centro, el Bajío y noroeste del país han sido las primeras en crear infraestructura local para la industria de la energía solar, los estados de las costas del Pacífico y Golfo de México también gozan de alto potencial de radiación solar.

Esquemas para la producción y suministro de energía fotovoltaica

Actualmente existen dos esquemas principales con los cuales distintos sectores económicos pueden obtener el suministro de energía eléctrica: el esquema de gran escala y el esquema de generación distribuida. Ambos, bajo la intermediación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La modalidad de gran escala se apoya principalmente en la conversión de la luz solar en energía eléctrica mediante granjas de celdas fotovoltaicas. A pesar de requerir amplias extensiones territoriales, dichas granjas son preclaras con el subsuelo, ya que no requieren perforaciones profundas ni instalación de cimientos para los andamios que sostienen los paneles solares. Ello posibilita la coexistencia de la nueva infraestructura con la fauna y la flora locales sin provocar riesgosas alteraciones al balance de los ecosistemas una vez que los campos solares comienzan a operar.

La modalidad de generación distribuida consiste en la producción de energía eléctrica fotovoltaica para el mercado minorista nacional, fundamentalmente para el consumo residencial. Bajo este esquema se conserva el suministro que provee la CFE a través de contratos de interconexión que permiten complementar la electricidad proveniente de plantas de ciclo combinado con



la generada en los techos de las residencias mediante tecnología fotovoltaica. Dicha combinación propicia la reducción de las tarifas domésticas en las viviendas (Alcubierre, 2016).

Las alternativas existentes para la aplicación de energías renovables, específicamente en la industria eléctrica, son resultado de un proceso largo y aún inacabado que intenta modificar tanto los procesos de producción como los hábitos de consumo energético de la población.

En el país se han realizado esfuerzos por institucionalizar algunos incentivos fiscales para el uso de tecnologías limpias. Además de los Certificados de Energías Limpias, cuya vigencia y ámbito de aplicación han sido objeto de amplias discusiones, entre los estímulos Estatales para el impulso a la transición energética se encuentran:

- Ley de Impuestos sobre la Renta (ISR): deducción de impuestos al 100 por ciento por concepto de adquisición y uso de equipo para la generación de energías renovables, incluyendo paneles solares y calentadores de agua;
- Código Fiscal de la Ciudad de México (artículo 276): descuentos en recibos de viviendas que “instalen y utilicen dispositivos como paneles solares y sistemas de captación de agua pluvial”, acreditando así, la reducción de consumo de energía eléctrica y/o agua;
- Código Fiscal de la Ciudad de México (artículo 277): descuentos en impuestos sobre nómina e impuesto predial para empresas e instituciones que implementen programas de mejora ambiental a través de la adquisición de equipos anticontaminantes;
- Instrumentos y productos públicos/privados: “Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica” (créditos y apoyos por la utilización de energías limpias), “Hipoteca verde” del Infonavit (calentadores solares),

“Bonos Verdes” (instrumentos de deuda en energía y construcción renovable, eficiencia energética, transporte limpio), y “Energía Solar Rural” (paneles solares en comunidades rurales de difícil acceso a infraestructura eléctrica tradicional) (Alcubierre, 2016).

Implicaciones ambientales de la infraestructura fotovoltaica

A las problemáticas de la degradación de los suelos marino y terrestre por la extracción de hidrocarburos, el despojo a las comunidades originarias y el desplazamiento de la flora y fauna nativa provocados por la ganadería y la agricultura de monocultivos en volúmenes industriales, agravado por la instalación de infraestructura para la producción energética, en los años recientes se ha sumado el problema de los desechos industriales de las plantas productoras de energía renovable. Particularmente, el problema de los desechos de la industria fotovoltaica, pilar fundamental dentro del conjunto de alternativas energéticas renovables, está cobrando cada día mayor relevancia. Lo anterior, debido en gran medida a que los precios de los paneles fotovoltaicos sufrieron un desplome inusitado en la década de 2010 impulsados por la emergencia de economías de escala, así como por una fuerte competencia internacional desencadenada por los fabricantes chinos.

La urgente recomposición de la matriz energética debe estar soportada por un sólido proceso de planeación en el que participen todos los sectores. También se requiere una nueva normatividad, que contemple aspectos como la naturaleza de la materia prima para la fabricación de paneles solares y su viabilidad como eventual fuente de reciclaje.

Con la finalidad de contribuir a los esfuerzos que diversos sectores de la sociedad están realizando para avanzar hacia la conformación de un nuevo modelo energético, a continuación, se presenta una propuesta metodológica para la clasificación de la diversidad de tecnologías existentes de paneles solares en términos de eficiencia en la conversión energética, vida útil, costos de fabricación y potencial de reciclaje. Fundamentado en la lógica difusa, el paradigma taxonómico propuesto busca contribuir al establecimiento de horizontes de sustentabilidad para las alternativas tecnológicas de paneles.

Desarrollo metodológico: paradigma taxonómico basado en criterios de sustentabilidad

Un aspecto central para el establecimiento de cualquier tipo de modelo clasificatorio es la definición de los dominios. En lo general, los dominios se expresan como conjuntos de categorías. Como es bien sabido, en la teoría de conjuntos fundamentada en la lógica aristotélica, los elementos sólo pueden pertenecer, o no pertenecer a los conjuntos; no existen estados intermedios. Pero existe otra teoría de conjuntos que sigue las reglas de la denominada *lógica difusa*. La característica principal que distingue a esta teoría es que se aceptan grados de veracidad en las proposiciones, de forma tal, que éstas pueden considerarse en cierto grado verdaderas y en cierto grado falsas simultáneamente. Así, bajo la teoría de conjuntos difusos, un elemento puede pertenecer a un conjunto, por ejemplo, en un grado de 75 %. Ello contrasta con las reglas de pertenencia para las categorías tradicionales, donde un elemento sólo puede tener un grado de pertenencia de 100 %, o de 0 %.



Más allá del auge de la aplicación de la *lógica difusa* como núcleo de los algoritmos de inteligencia artificial, existe una amplia gama de aplicaciones de esta teoría en prácticamente todos los campos del conocimiento. Las escalas difusas resultan de particular utilidad para representar valoraciones cualitativas, en virtud de que éstas se basan generalmente en variables nominales subjetivas; es decir, modalidades de dimensionamiento subjetivo mediante categorías como grande, pequeño, ancho, profundo, e inclusive verdadero o falso. La posibilidad de analizar categorías difusas representadas por expresiones lingüísticas subjetivas es uno de los campos en los que la *lógica difusa* contribuye de manera más significativa a la teoría de sistemas.

En este apartado nos enfocamos exclusivamente en la aplicación de la *lógica difusa* al paradigma taxonómico de alternativas tecnológicas para paneles solares. Así, nos limitaremos al propósito de describir analíticamente la forma que toman los modelos multicriterio bajo la *lógica difusa*, es decir, considerando el hecho de que los responsables de priorizar alternativas, como seres humanos, son individuos con ideas y percepciones sumamente complejas y, por lo general, no categóricas. Reconociendo lo anterior echaremos mando de ciertos recursos relativamente novedosos de la modelación matemática, que nos permitirán la construcción de este universo clasificatorio.

En primer término, consideremos los criterios de jerarquización como un conjunto difuso, dentro del conjunto de alternativas de decisión. Representamos mediante una función $C(x)$, el grado en el que cada una de las alternativas x satisface el criterio C . En nuestro planteamiento se considera permitida la formulación lingüística de relaciones entre criterios, utilizando un conjunto de operadores teóricos para construir la función clasificatoria multicriterio, que denotamos D .

Así, el tipo de expresión de la función clasificatoria indicará el perfil del individuo que clasifica. Se pretende que esto quede reflejado en la estructura del modelo. La función clasificatoria multicriterio resultante, será también un subconjunto difuso del conjunto de alternativas tecnológicas de paneles solares. Cabe destacar que, de esta manera, la selección de la alternativa preferida se llevará a cabo dentro del conjunto de alternativas que pertenecen al conjunto D. El caso más simple de una expresión lingüística para clasificar es:

"la alternativa x satisface el criterio 1 y el criterio 2 y el criterio 3 y..., el criterio n."

En otros términos, podemos expresar la anterior proposición como una unión de conjuntos, es decir:

$$D = C_1 \text{ y } C_2 \text{ y } \dots \text{ y } C_n,$$

que es la función clasificatoria; es decir, básicamente lo que queremos modelar.

Recordando que en teoría de conjuntos la "y" denota una intersección de conjuntos generalmente representada mediante el símbolo \cap . Es decir, la función clasificatoria, puede expresarse como:

$$D = C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_n$$

En otras palabras, afirmar que un criterio se ajusta a la función clasificatoria es afirmar que ese criterio pertenece a la intersección $C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_n$.

Una manera simple de modelar la función decisoria es considerando el operador *mínimo*, y aplicarlo al grado de pertenencia de x dentro de cada uno de los conjuntos difusos, es decir:

$$D(x) = \text{mín}_j [C_j(x)].$$

lo cual puede arrojar como resultado más de un solo valor, dado que el *mínimo* puede no ser único. No obstante, podemos tomar como x^* aquel valor mínimo que tenga el $D(x)$ mayor (Ceballos, 2017).

Aquí hay que hacer notar que, si bien el operador *mínimo* goza de simplicidad, puede resultar insuficiente para discriminar cierto tipo de valores, como en el caso en que dicho operador asuma el valor de 1. Considerando lo anterior, introducimos ahora un coeficiente α que denominaremos *ponderador de importancia*. Así, asociado a cada criterio C_j tendremos un ponderador de importancia α_j ; la manera de indicar la importancia del criterio C_j será elevando su valor a la potencia α_j .

El ponderador de importancia toma sus valores dentro del intervalo cerrado entre 0 y 1, es decir:

$$\alpha_j \in [0,1].$$

De esta manera, cuando un criterio se considera que no tiene importancia, $\alpha_j = 0$, al elevar el valor C_j a la potencia cero nos dará la unidad, independientemente del valor de C_j , debido a que todo número elevado a la potencia cero da la unidad.

Lo relevante que hay de destacar de α_j es que permite introducir de manera sencilla la importancia de cada criterio dentro del modelo de jerarquización analítica. Así, la función decisoria queda expresada ahora como:

$$D(x) = \min [C_j(x) \alpha_j], \text{ de acuerdo con lo cual:}$$

$\min [a,1] = 1$ y $(C_j(x)) = 1$, es decir, el efecto de $C_j(x)$ es nulo cuando se le pondera con cero de importancia, esto es, cuando se asigna el valor $\alpha_j=0$.

$\min [a,b]$ conduce a que mientras más pequeño sea el argumento, mayor es el efecto.



Introduzcamos ahora otro factor que puede resultar importante en contextos como el que se vive en México, donde la información es escasa y de difícil acceso. Le denominaremos *vaguedad de la información*.

Cuando se tiene una función clasificatoria, existen diversos aspectos a considerar respecto de su grado de especificidad. Es decir, es necesario contar con algún recurso que permita dimensionar la medida en la que una función clasificatoria puede fallar cuando existe una sola respuesta. Ello se relaciona con la idea intuitiva de vaguedad: mientras más diversa sea la función clasificatoria, mayor será la vaguedad presente en el proceso de jerarquización.

Cuando la función clasificatoria apunta a diversas alternativas tecnológicas consideradas equivalentes, ¿por cuál de ellas se debe optar? La vaguedad introduce al modelo un nuevo aspecto interesante relacionado con factores de naturaleza cognitiva. Para ilustrarlo, considérese el caso hipotético en que se tiene un conjunto variado de paneles solares. Si la función clasificatoria apunta exclusivamente a una de ellas, consideraremos que no está presente el elemento de vaguedad; sólo hay una opción para decidir. Por el contrario, cuando la función decisoria D apunta a diversas tecnologías, todas ellas “equivalentes”, se genera una situación de vaguedad.

En términos analíticos, si el conjunto de paneles está descrito por:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_q\}$$

y la función decisoria D es satisfecha por x_j , es decir,

$$D(x_j) = x^*$$

donde x^* denota la mejor alternativa. Entonces, la vaguedad asociada con la toma de decisiones tiene una estructura algebraica del tipo:

$$\text{Vag}(D) = 1 - D_{x^*} - 1_{q-1} x_j^* D(x_j)$$

En los procesos clasificatorios es muy frecuente que la manera en la que se expresan los juicios valorativos se dé al margen de una escala numérica. Los juicios que los individuos hacen al comparar alternativas se expresan eminentemente mediante categorías cualitativas o lingüísticas, y no con índices o medidas numéricas.

Utilizaremos ahora la variable Z para representar los valores lingüísticos de la escala de medición, esto es:

$$Z = \{z_0, z_1, z_2, \dots, z_m\}$$

con $z_i > z_k$ siempre que $i > k$ (*i.e.*, escala ordinal).

Definida así, a pesar de ser ordinal la escala permite la aplicación de los operadores *mínimo* y *máximo*. Por ejemplo, si la escala ordinal está constituida por los elementos: biodegradable, reciclable, inerte, contaminante y tóxico, es claro que, en los términos anteriores:

biodegradable < reciclable < inerte < contaminante < tóxico

Por lo cual:

mín = biodegradable; máx = tóxico

Otro atributo de la escala propuesta es que permite la aplicación consistente del operador lógico *negación*. Es decir, se puede *negar* y revertir su orden.

En términos algebraicos, lo anterior se expresa como:

$$\text{Neg}((z_j) = z_{m-j}$$



Como complemento del esquema de decisión que planteamos en un principio se encuentra el esquema de conjunción, que denotaremos mediante el símbolo U . De esta manera, la función clasificatoria:

$$D = C_1 U C_2 U \dots U C_n$$

indica que la alternativa que se está priorizando cumple, o con el criterio C_1 , o con el criterio C_2, \dots , o con el criterio C_n .

Cuando se trata de unión de conjuntos el grado de pertenencia de x en la función clasificatoria está determinado por:

$$D(x) = \max_j [C_j(x)].$$

Ello permite considerar alternativas que satisfagan cualesquiera de los criterios C_1, C_2, \dots, C_n , y que satisfagan ó C_1 , ó C_2 , ó C_3, \dots ó C_n , con lo cual el clasificador puede expresar en términos lingüísticos cualquier combinación de criterios. Cabe recordar que cada uno de estos criterios C_j está representado por un conjunto difuso.

Para la configuración de un paradigma clasificatorio completo, es preciso extender el alcance de los operadores de unión e intersección considerados hasta ahora. Tal extensión conceptual se lleva a cabo mediante el operador denominado *norma-t*, el cual constituye una generalización del operador *unión* (U) y por ende se asocia con el operador *mínimo* (mín).

Las propiedades algebraicas del operador *norma-t* se limitan a lo siguiente:

1. $T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$
2. $T(a, b) = T(b, a)$



$$3. T(a, T(b, c)) = T((a, b), c)$$

$$4. T(a, 1) = a$$

El operador *mínimo* es un caso particular de *norma-t*, dado que cumple con todas sus propiedades. Un simple producto de dos números, o una suma, son también casos triviales de *norma-t*, en virtud de que cumplen estrictamente con las propiedades que definimos para esta norma. No obstante, la introducción de la *norma-t* permite ampliar el alcance de los esquemas de decisión, específicamente cuando se trata de decisiones basadas en la intersección de criterios.

Con estos recursos se puede considerar una vasta combinación de criterios para la clasificación de tecnologías. En la medida se extiendan las posibilidades de estructurar funciones decisorias multicriterio se extiende la posibilidad de afinar de manera recursiva la estructura clasificatoria sobre la base de pruebas sistemáticas de parámetros alternativos. De esta forma es posible ajustar progresivamente los parámetros del modelo con base en los datos, probablemente pocos, que se tengan a disposición.

Con la finalidad de conectar el modelo anteriormente descrito con su aplicación a la jerarquización de tecnologías fotovoltaicas, en los siguientes párrafos expondremos un ejemplo hipotético. Sin pérdida de generalidad, con tal propósito se pueden suponer valores iniciales de x correspondientes a cada uno de los criterios clasificatorios, como se indica en la Tabla 1:



Tabla 1.

C1	C2	C3	C4	C5	...	Cn	...	D
.3	.7	1	3	.9		.6		8

Fuente: Elaboración propia.

Naturalmente, la selección de los ponderadores α es esencial en la determinación del resultado que brinda la función clasificatoria $D(x)$. Por ello, los valores que se asignen al vector de importancia α deben estar fundamentados en algún principio sólido. Éste puede ir desde la construcción de α a partir exclusivamente de los datos disponibles, hasta la asignación directa de las ponderaciones α con base en la experiencia del clasificador, pasando por los rasgos característicos de las diversas tecnologías de paneles solares, la agrupación con base en operadores como *mín* y *máx*, e incluso con fundamento en el significado de algún tipo de expresión lingüística subjetiva (Vahdat, 2014). Cabe destacar que lo anterior representa un baluarte ante la existencia de datos escasos o incompletos.

Especificar lingüísticamente el tipo de agregación, sea conjunción o intersección, es clave fundamental para el diseño del modelo clasificatorio. En la medida en la que se añadan más criterios y conjunciones, o se retiren del modelo, se reducirán o ampliarán respectivamente las variantes de clasificación.

Sin pérdida de generalidad en los argumentos anteriormente expuestos, considérese ahora una modalidad simplificada del paradigma taxonómico fundamentada en tres criterios:

- a. Eficiencia en la conversión energética.
- b. Vida útil.
- c. Costos de fabricación + costos de reciclaje.

Para ordenar el planteamiento, representamos el proceso clasificatorio mediante la Tabla 2:

Tabla 2.

Criterio	E1	E2	E3
Eficiencia	60	75	100
Vida útil	Larga	Media	Corta
Costo	7	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Para construir el esquema clasificatorio examinamos primero el renglón uno de la tabla, ya que es necesario establecer un valor de pertenencia para los elementos de este conjunto. Al valor de 100 % de eficiencia se le asigna un valor de pertenencia de 1, recordando que los valores de pertenencia deben estar contenidos en el intervalo cerrado $[0, 1]$. Con tal referente, se realiza una normalización de los valores del conjunto difuso *Eficiencia* tomando como denominador común el valor máximo. Así, el grado de pertenencia de las tecnologías E1, E2, y E3 es de $60/100 = 0.6$, $75/100 = 0.75$, y $100/100 = 1$, respectivamente, como se ilustra en la Tabla 3.

Tabla 3.

Tecnología	Grado de pertenencia al conjunto difuso <i>Eficiencia</i> F(x)
E1	0.6
E2	0.75
E3	1

Fuente: Elaboración propia.



En notación de *lógica difusa*, la función de pertenencia correspondiente a cada uno de los tres conjuntos difusos *Eficiencia*, *Vida Útil* y *Costo* es:

$$\{E_i, F(C_j(x))\}$$

donde i denota el número de la empresa y $F(C_j)$ el grado de pertenencia del elemento x al conjunto difuso C_j .

Para el caso del criterio *Eficiencia* se modela una función de pertenencia de acuerdo con la teoría discutida anteriormente, considerando que en este caso la escala de valores es de tipo ordinal.

Así, tomando en cuenta que el límite superior del contradominio de pertenencia es igual a 1, y que tenemos un valor extremo en el conjunto difuso denotado por la expresión lingüística *Alta*, es justificado asignar al anterior valor el grado más alto de pertenencia posible, es decir:

$$F(C_2(x_1)) = 1,$$

Mismo que corresponde al valor que asigna la función de pertenencia F al segundo criterio de Eficiencia, C_2 , correspondiente al valor ordinal que asume la tecnología 1, es decir, $x_1 = Alta$.

Para los casos de x_2 y x_3 , que corresponden al valor ordinal de los elementos del conjunto difuso *Estabilidad* para las empresas 2 y 3, se puede seguir la misma metodología. Nótese que en este caso el valor que asume x_3 puede considerarse también un valor extremo, dado que su expresión lingüística es *Alta*. Así, lo adecuado sería asociar a este valor un grado de pertenencia consistente con su valor extremo, cuidando en este caso que el criterio no se anule, es decir, excluyendo la asignación del valor $F(C_2(x_3)) = 0$.

Considerando una partición centesimal del intervalo unitario, el valor más cercano al extremo inferior del intervalo de pertenencia $[0, 1]$ es $F(C_2(x_3)) = 0.01$.

Para completar la función de pertenencia del criterio 2, falta asignar el grado de pertenencia de X_2 al conjunto difuso *Eficiencia*. En este caso, considerando que la expresión lingüística del valor ordinal de X_2 es estable, se justifica con claridad la asignación de $F(C_2(x_2)) = 0.5$, dado que ese valor se encuentra centrado en el intervalo de pertenencia, al igual que *Media* puede considerarse en el centro de los valores ordinales *Alta* y *Baja*.

Pasando ahora a la construcción de la función de pertenencia F del tercer criterio, *Costo*, podemos aplicar otra variante de la teoría. En este caso, parametrizaremos con base en el máximo valor posible.

Si el clasificador con base en su experiencia juzga que el máximo costo permisible es 10, entonces el límite de $C_3(x_j) = 10$. Por tanto, si normalizamos con base en el valor límite las cantidades $C_3(x_1)$, $C_3(x_2)$ y $C_3(x_3)$, tendremos los cocientes $7/10 = 0.7$, $2/10 = 0.2$ y $2/10 = 0.2$ respectivamente.

Así, la función de pertenencia para los criterios clasificatorios se expresa como:

$$\text{Eficiencia} = \{(E_1, 0.6), (E_2, 0.75), (E_3, 1)\}$$

$$\text{Vida útil} = \{(E_1, 1), (E_2, 0.5), (E_3, 0.01)\}$$

$$\text{Costo} = \{(E_1, 0.7), (E_2, 0.2), (E_3, 0.2)\}$$

Una vez que contamos con los valores de pertenencia para los conjuntos difusos asociados a cada uno de los criterios de decisión, procedemos a construir la función de pertenencia μ para el que denominaremos *conjunto de idoneidad* Γ . La función μ se define por la regla:

$$\mu(\Gamma(x)) = \text{mín} [\mu(\text{Disponibilidad}(x)), \mu(\text{Adaptabilidad}(x)), \mu(\text{Resistencia}(x))].$$

El esquema clasificatorio queda reescrito de la siguiente forma (Tabla 4):



Tabla 4.

	E_1	E_2	E_3
Disponibilidad	0.6	0.75	1
Adaptabilidad	1	0.5	0.01
Resistencia	0.7	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se puede ver con mayor claridad que el valor mínimo de pertenencia para la tecnología 1 es 0.6; para las tecnologías 2 y 3, los valores mínimos de pertenencias son 0.2 y 0.01 respectivamente.

Así, el conjunto difuso de idoneidad $\Gamma(x)$ queda expresado como:

$$\Gamma(x) = \{(E_1, 0.6), (E_2, 0.2), (E_3, 0.01)\}.$$

Para resolver finalmente cuál encabezará la lista, el clasificador debe aplicar el operador *máximo* al conjunto difuso de idoneidad $\Gamma(x)$, es decir, calcular el:

$$\text{Máx } [\Gamma(x) = \{(E_1, 0.6), (E_2, 0.2), (E_3, 0.01)\}].$$

que en este caso resulta ser igual a 0.6, correspondiente a la tecnología 1. Así, a pesar de ser la tecnología menos utilizada, mediante la aplicación de los principios de lógica difusa a la combinación de criterios de clasificación, la primera prioridad se asigna a la tecnología 1.

Cabe aclarar que los valores calculados en este ejemplo hipotético pueden fungir exclusivamente como referentes para identificar en función de criterios de sustentabilidad, la mejor alternativa tecnológica de paneles fotovoltaicos. Lo anterior, bajo el supuesto de que previamente los gobiernos o las empresas han decidido invertir en dicha tecnología como supletoria a los energéticos fósiles.



Reflexiones finales

El complejo proceso de transición energética atraviesa la tercera década del siglo XXI en un estado aún incipiente. Distinguida como una de las acciones más determinantes contra la crisis climática, la instrumentación del nuevo paradigma energético está demandando una participación mucho más comprometida por parte de todos los sectores de la sociedad. Los cambios que la sociedad resuelva emprender para acelerar dicha transición deberán instrumentarse bajo un enfoque que considere como un atributo fundamental la integralidad de las acciones. Particularmente, en los procesos de reemplazo de energías fósiles por alternativas renovables deberá cuidarse que, además de ser costeables y eficientes, tanto los compuestos químicos de los transductores solares como la totalidad de insumos necesarios para su producción sean directamente insertables en las economías circulares.

Entre las ventajas que ofrecen los paradigmas taxonómicos fundamentados en escalas categóricas difusas destaca la posibilidad de jerarquizar las alternativas que no cuentan aún con amplias series de datos históricos que las soporten. Tal es el caso de la tecnología de Grätzel para paneles fotovoltaicos, distinguida entre todas las alternativas de su tipo por ser la única que utiliza pigmentos naturales de bajo costo como material para los electrodos. En adición a su alto potencial de reciclaje, la transparencia que caracteriza a los paneles de Grätzel abre la posibilidad de reubicar los centros de generación eléctrica, insertos actualmente en zonas rurales o de conservación, hacia conglomerados urbanos. Lo anterior, mediante la sustitución de los ventanales de las edificaciones ciudadanas por paneles fotovoltaicos de Grätzel.



Distinguido como uno de los territorios del planeta con mayores niveles de radiación solar, México vive un grave rezago en el aprovechamiento energético; rezago que obliga a la adopción de políticas públicas de mayor acometida. Además de los costos de fabricación, vida útil, potencial como material de reciclaje y eficiencia de los transductores energéticos, las políticas de transición energética deben contemplar aspectos de índoles sociocultural y socioambiental como prioritarios. En este trabajo se presenta una propuesta metodológica que da cabida a la adopción de tales aspectos para jerarquizar las tecnologías de paneles solares como función integral de sus atributos; particularmente de aquéllos con mayor significado en términos de sustentabilidad.



Referencias

- Alcubierre, D. (2016). Energía solar en México. *Blog del Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables*. Sección: Energía Solar. <https://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico/>
- Asolmex. (28 de abril de 2021). La energía solar en México, Abril 2021. *Revista web "PV Magazine México"*. Sección: Equilibrio de sistemas; Industria; Mercados. <https://www.pv-magazine-mexico.com/2021/04/28/la-energia-solar-en-mexico-abril-2021/>
- Banco Mundial. (2021). *Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita)*. Sección: Datos abiertos del BM. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?end=2018ystart=1960yview=chart>
- Bocken, N. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial Production of Energy*, (pp. 308-320).
- Castells, M. (2006). *La sociedad red: una visión global*. Alianza Editorial.
- Ceballos, B. (2017). Fuzzy Multicriteria Decision-Making Methods: A Comparative Analysis. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(7), (pp. 722-738).
- Chertow, M. (2001). The IPAT equation and its variants: changing views of technology and environmental impact. *Journal of Industrial Ecology*, (pp. 13-29).
- Chunguang, B. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, (pp. 89-103).
- Cohen, M. (2006). Ecological modernization and its discontents: the American environmental movement's resistance to an innovation-driven future. *Futures*, (pp. 528-547).
- Commoner, B. (1971). *The Closing Circle: Nature, Man, and Technology*. Random House.
- Ehrenfeld, J. (2010). The roots of sustainability. *Sloan Management Review*, (pp. 23-35).
- Evans, A. (2019). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable y Sustainable Energy Reviews*, (pp. 1082-1088).
- Ferreira, J., Fernandes, C., y Ferreira, F. (2020). Technology transfer, climate change mitigation, and environmental patent impact on sustainability and economic growth: A comparison of European countries. *Technological Forecasting y Social Change*, (pp. 123-141).
- Gabriel A. (20 de enero de 2008). Agricultura, ganadería y cambio climático. *Xataka Ciencia*. Sección: Medio ambiente-Cambio climático. <https://www.xatakaciencia.com/medio-ambiente/agricultura-ganaderia-y-cambio-cimatico>
- Hardin, G. (2008). The tragedy of de commons. *Science*, (pp. 1243-1248).
- Hart, S. (2003). *Creating sustainable value*. Academic Management Executive.



- Jiborn, M. (2020). Consumption versus Technology: Drivers of Global Emissions 2000 – 2014. *Energies*, (pp. 13–24).
- Kemp, R., y Pearson, P. (2007). *Final Report MEI Project about Measuring Ecoinnovation*.
- Mahamood, A. (2022). Financial Risk, Renewable Energy Technology Budgets, and Environmental Sustainability: Is Going Green Possible? *Frontiers in Environmental Science Journal*.
- Martínez, R., Caldera E., y Estrada, C. (1996). Presente y futuro en la energía solar en México. [Audio] *Programa de Radio Momento Económico* (31 de octubre de 1996). <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/369>
- Ozaki, R. (2014). Entagled practices: Governance, Sustainable Technology and Energy Consumption. *Journal of British Sociological Association*, (pp. 590–605).
- Parreiras, R. (2012). Fuzzy Set Based Consensus Schemes for Multicriteria Group Decision making Applied to Strategic Planning. *Group Decision and Negociation*, 21(2), 153-183.
- Pelin D. (2019). Sustainability-oriented capabilities for eco-innovation: Meeting the regulatory, technology, and market demands. *Business Strategy and Environment*, (pp. 234–269).
- Petrovic, A. (2007). Consumption of technology and technology of consumption. *Javnost-The Public Journal*, (pp. 589–611).
- Popp, D. (2001). The effect of new technology on energy consumption. *Resource and energy economics*, (pp. 215–239).
- ProMéxico. (2017). *La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México*. Ciudad de México: Secretaría de Economía, (p. 167) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_Mexico_compressed.pdf
- Semarnat. (22 de noviembre de 2017). ¿Qué es la huella ecológica? *Blog de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-la-huella-ecologica?idiom=es>
- Vahdat, K. (2014). Fuzzy multicriteria for developing a risk management system in seismically prone areas. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48(4), (pp. 235-248).
- Webster, K. (2015). *The Circular Economy: a Wealth of Flows*. Ellen MacArthur Foundation. Isle of Write.
- Woolard, R. (2000). *Fatal Consumption: Rethinking Sustainable Development*. UBC Press.

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS CONTAMINANTES PARA LA RESTAURACIÓN DE CUENCAS. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LAS DESCARGAS DE VINAZAS DE LA INDUSTRIA TEQUILERA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO SANTIAGO

*Salvador Peniche Camps**

*Joel García Galván***

*Luis Héctor Quintero Hernández****

Introducción

La industria tequilera constituye una de las actividades económicas más emblemáticas del occidente de México. Su importancia se debe no sólo al peso específico que tiene en el producto interno regional y las exportaciones, sino

* Profesor-Investigador del Departamento de Economía del Centro Universitario de Ciencias Económicas de la Universidad de Guadalajara.

** Coordinador de la Licenciatura en Gestión y Economía Ambiental y de la Licenciatura de Administración Gubernamental y Políticas Públicas CUCEA de la Universidad de Guadalajara.

*** Profesor del Departamento de Economía de la Universidad de Guadalajara.



al simbolismo cultural que rodea al tequila como imagen de la mexicanidad en el extranjero. Sin embargo, la paradoja de la maldición de las *commodities* (los impactos socio ambientales generados por los esquemas de exportación de mercancías de alto valor agregado) se expresa en las regiones tequileras en el colapso de los sistemas hídricos locales, la contaminación del agua (por la proliferación de vinazas) y de la tierra (por los desechos de bagazo), la enfermedad y muerte de los habitantes locales causada por la exposición a la contaminación.

Un acercamiento heterodoxo al problema del colapso de las cuencas tequileras consiste en la revalorización de los desechos industriales, la generación de combustibles u otros insumos económicos, por lo tanto, se requiere de un sistema integral de manejo de residuos tequileros que tenga en su núcleo el funcionamiento de una bio-refinería que produzca bioenergía y otros productos “verdes” a precios competitivos. En esencia, la estrategia expresa la intención de compatibilizar el desarrollo tecnológico con el paradigma de la sustentabilidad a contrapelo del uso convencional que se le da.

La teoría económica convencional explica el deterioro ambiental, debido a la escasez de mercados bien estructurados y funcionales donde se intercambien los bienes ambientales; en consecuencia, los productores y consumidores no incluyen los costos implicados en sus decisiones, lo que explica el uso excesivo de los recursos naturales y, por consiguiente, el deterioro del medio ambiente (Escalante y Catalán, 2005).

En materia económica, es conocido el concepto de impuesto pigouviano relacionado con el cuidado del planeta, el cual parte de la idea de que el medio ambiente es, un bien común y, por consiguiente, considera que es

responsabilidad del gobierno protegerlo, en este contexto, intenta incluir la externalidad negativa comúnmente no contemplada en el precio de mercado y que es generada por costos de producción o consumo de un bien o servicio (Twenergy, 2021).

Por lo anterior, es necesaria la participación de todos los actores, misma que propicie una sinergia a través de la cual se determine sí las actividades económicas deben seguirse realizando de la misma forma. Para ello, el metabolismo social es un concepto utilizado como el instrumento teórico más relevante para analizar de manera conjunta, las relaciones entre los procesos naturales y los procesos sociales (Infante *et al.* 2017).

Descripción del área de estudio

Actualmente, la cuenca alta del río Santiago, ubicada en el estado de Jalisco, ha sido considerada por las autoridades ambientales de México, como uno de los infiernos ambientales en el país. En particular es preocupante su nivel de contaminación causada por las descargas de las plantas industriales instaladas a lo largo del río, por los residuos derivados de la intensiva actividad agropecuaria y por los desechos urbanos.



Foto 1. Contaminación del río Santiago en el punto de El Salto, Jalisco



Autor: Greenpeace, 2023.

La sub-cuenca Santiago-Guadalajara (Mapa 1), está localizada a la salida del lago de Chapala y forma parte de la cuenca alta del río Santiago. La cuenca alta del río Santiago, está localizada antes de la cuenca baja del río Santiago, en la sección occidental del sistema Lerma-Chapala-Santiago, mismo que nace en las lagunas de Almoloya en el Estado de México.

Mapa 1. Subcuenca Santiago Guadalajara



Fuente: Comisión Estatal del Agua.
Elaboración propia con base en conjuntos vectoriales de SIATL, INEGI 2020.

En su trayecto al océano Pacífico, la cuenca del río Santiago se ha consolidado como una de las regiones económicamente más relevantes del estado. En el corredor industrial ubicado en las inmediaciones de la zona metropolitana de Guadalajara se localizan más de 600 plantas industriales (MacCulligh, 2017, p.57)

Como consecuencia de lo anterior, el río ha sufrido un deterioro permanente y acelerado, reconocido en los planes estatales de remediación (Gobierno del Estado de Jalisco, 2019). Las autoridades ambientales del estado han elaborado una estrategia de saneamiento denominada "Revive el Río Santiago" en un área de intervención integrada por 18 municipios: los nueve que integran el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), y adicionalmente Chapala, Zapotlán del Rey, Tototlán, Tepatitlán, San Ignacio Cerro Gordo, Arandas, Atotonilco, Ocotlán y Poncitlán. En esta iniciativa se consideran las plantas del "Área de Intervención Prioritaria", las cuales pertenecen a giros tales como; la industria metalmecánica, electrónica, química, plásticos, mueblera, alimentos, entre otros. Estas industrias generan residuos, emisiones y descargas que, en su mayoría, no cumplen con el marco legal y normativo. De entre estas podemos contabilizar 63 empresas tequileras.

Quintero y Ramírez (2018), mencionan que, aunque la problemática de la contaminación del recurso hídrico es compleja, las distintas fuentes de contaminantes se pueden clasificar de acuerdo a la forma en que se efectúan las descargas en dos categorías:

- Fuentes localizadas (instalaciones industriales, desbordamientos del drenaje combinado y plantas municipales de tratamiento de aguas residuales).



- Fuentes dispersas (escurrimientos agrícolas, escurrimientos urbanos, escurrimientos mineros y escurrimientos silvícolas).

Para este estudio nos enfocamos en fuentes localizadas, específicamente de la creciente industria tequilera.

Foto 2. Descargas industriales en la cuenca alta del río Santiago



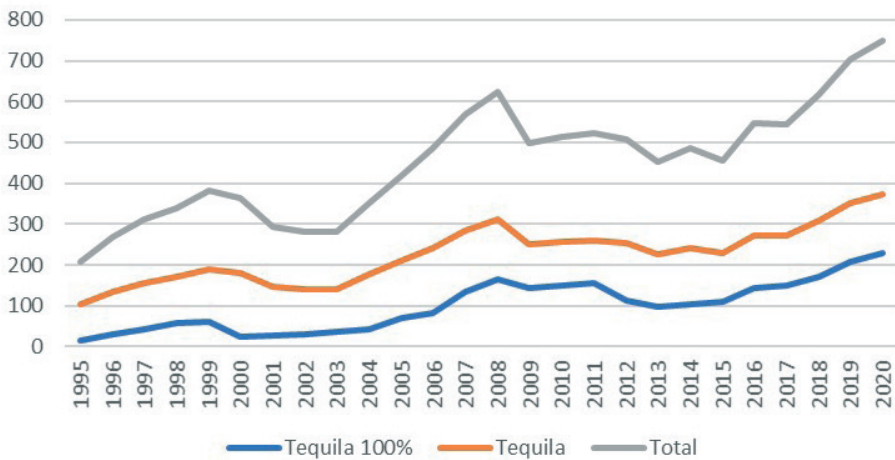
Foto: Cindy McCuhlig, 2023.



Impactos socio ambientales de la industria tequilera en la cuenca Santiago-Guadalajara

La producción histórica de Tequila, generada en los territorios con denominación de origen en el país se ilustra en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Producción de agave
Millones de litros



Fuente: Elaboración propia con base en las Estadísticas Consejo Regulador del Tequila, (2021).

Consultado el 24 de noviembre de 2021

Según el Consejo Regulador de Tequila, en el año 2018 la producción de la bebida alcohólica en el estado de Jalisco fue de 312 millones de litros (73% del total nacional). Por lo anterior, el estimado de emisión de vinazas en el estado alcanza 3 120 millones de litros (con una razón de diez a uno). Los datos señalan que existe una considerable cantidad de residuos que representan un gran desafío para su adecuado manejo y evitar riesgos de contaminación ambiental.

Los municipios con mayor participación en la producción y exportación de tequila (y de generación de vinazas) en la zona de estudio, son, Arandas, Jesús María, Tepatitlán de Morelos y Atotonilco el Alto.

Como suele suceder en los clústeres de *commodities* de alto valor agregado para la exportación, como el cultivo de aguacate o de frutillas, los impactos socioambientales de la actividad tequilera opacan a los beneficios económicos de las exportaciones. El cambio de la vocación productiva en la población nativa, las consecuencias de la híper-especialización productiva, la sobre explotación del trabajo jornalero y otros fenómenos relacionados con la agroindustria de exportación constituyen parte del entorno tequilero en el estado de Jalisco.

Tabla 1. Producción de Tequila en los municipios seleccionados y estimación de residuos orgánicos para su aprovechamiento.

Municipio	Número de plantas	Peso en Kg de esas plantas (30 kg por piña promedio)	Litros de tequila elaborados con esas plantas	Vinazas producidas (litros)	Bagazo producido (kg)
Arandas	71711481	2151344430	268918054	2689180538	2151344430
Atotonilco	33564993	1006949790	125868724	1258687238	1006949790
Jesús María	35843320	1075299600	134412450	1344124500	1075299600
Tepatitlán	32969703	989091090	123636386	1236363863	989091090

En promedio se necesitan 8 kilos de agave por litro de tequila elaborado.

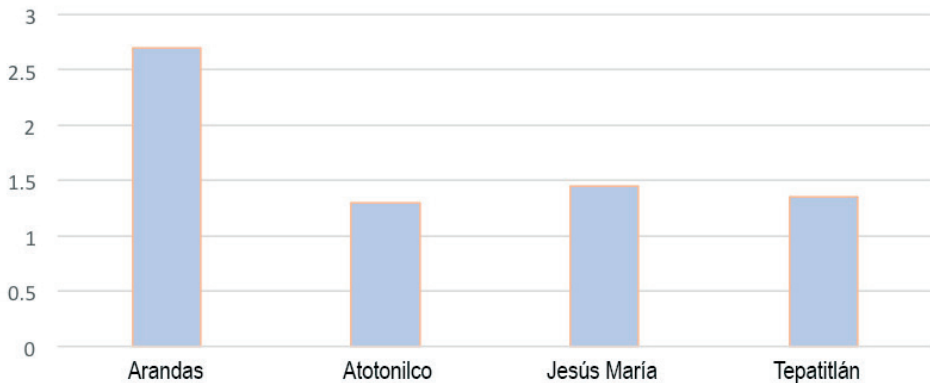
En promedio se producen 10 litros de vinazas por cada litro de tequila y 8 kilogramos de bagazo por litro de tequila

Fuente: Elaboración propia con estimaciones realizadas con base en los datos del Informe de Resultados enero-julio 2021, CRT.



Como se muestra en la Gráfica 1, el aumento significativo de los últimos años en la producción de tequila, trae consigo un incremento proporcional en la generación de vinazas y la posibilidad de contaminación orgánica a partir de descargadas al río como residuo de la industria, y que ocupa un lugar importante entre las sustancias orgánicas contaminantes. La Gráfica 2 ilustra la generación de vinazas en la zona de estudio.

Gráfica 2. Producción de Vinazas



Fuente: Elaboración propia con datos del Consejo Regulador del Tequila (2021).

Consultado el 24 de Noviembre de 2021.

Del proceso de producción de Tequila se desprenden dos residuos principales: 1) el bagazo y 2) las vinazas. Para este estudio nos enfocaremos directamente en las vinazas, pues es la propuesta que pretendemos desarrollar. Si hablamos específicamente del bagazo de Agave tequilana Weber, este puede ser utilizado como: composta o sustrato, para elaborar papel, mezclado con granos y cereales puede ser utilizado para alimentación animal, la biomasa

del bagazo puede emplearse como biocombustible ya sea en la elaboración de briquetas o en el propio proceso de producción de tequila como biocombustible para sus propias calderas, cabe mencionar que la eficiencia de este depende del proceso con que fue tratado este insumo y de los costos de transporte en el caso de que sean trasladados a otros destinos.

Foto 3. Burbujas de metano por contaminación orgánica en la cuenca alta del río Santiago



Foto: Salvador Peniche, 2023.

Además del bagazo de agave, algunas empresas tequileras generan biosólidos, que son el producto del procesamiento de aguas de desecho (vinazas) a través de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Esta es una tecnología que permite no sólo dar tratamiento a las vinazas, sino también



reducir los contaminantes presentes a niveles permisibles para su manejo y aprovechamiento. Los biosólidos llegan a tener una concentración de agua que varía entre 94 y 97%, y pueden ser útiles como fertilizantes porque contienen varios nutrientes tales como nitrógeno (6.9%), fósforo (1.88%) y potasio (1.32%) principalmente (EPA, 2000).

Las vinazas contienen distintas cantidades de nitrógeno y minerales que pueden ser aprovechados como nutrientes para el cultivo de microorganismos. De igual manera, se han desarrollado procesos no biotecnológicos para extraer compuestos valiosos contenidos en las vinazas, como los compuestos fenólicos, que pueden tener aplicaciones como antimicrobianos de origen natural. Pero utilizar las vinazas como insumo para sus cultivos puede traer efectos negativos si no se utilizan con las técnicas adecuadas y dosificadas, ya que pueden impermeabilizar sus cultivos. La única función de aprovechamiento ha sido como insumo para el propio composteo del bagazo, pero en un proceso de movimiento y riego para su transformación.

Una vez que los azúcares simples son liberados de la matriz vegetal, estos pueden ser utilizados para ser transformados por microorganismos en diferentes productos de uso industrial, como por ejemplo, biocombustibles líquidos (etanol o butanol), edulcorantes como el xilitol, aromas que pueden ser utilizados en la industria de los alimentos o farmacéutica y proteína unicelular, entre otros productos.

Como se ha señalado, la principal contribución de la agroindustria tequilera al colapso ambiental de la zona de estudio lo constituye la emisión de vinazas en los cauces del sistema hídrico de la cuenca alta del río Santiago. Consideramos que la revalorización de las vinazas y su conversión en bioetanol



o biogás pueden llegar a constituirse en un factor de cambio y recuperación de las aguas contaminadas de la cuenca.

De acuerdo con las características de las propiedades físicas y fisicoquímicas de las vinazas, estas no pueden tratarse como aguas residuales convencionales, ya que mantienen un alto contenido de materia orgánica y otros compuestos que no están presentes en aguas residuales domésticas o municipales. Algunos de los compuestos presentes en las vinazas son recalcitrantes a los procesos biológicos convencionales de tratamiento de aguas residuales como los lodos activados.

Debido a que la normatividad en materia de descargas de aguas residuales a cuerpos de agua o a la red de alcantarillado en México, la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-002-SEMARNAT-1996, establecen como límite máximo permisible de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de 150 mg/L para descarga en ríos, su aplicación requeriría una reducción de hasta 99% con respecto a la concentración media de DBO, en las vinazas.

Las grandes y medianas empresas tequileras consultadas realizan grandes esfuerzos por neutralizar y tratar estos residuos, sin embargo, los pequeños y medianos productores no cuentan con la solvencia económica para llevar a cabo un adecuado proceso de tratamiento que permita cumplir con los límites permisibles de concentración de contaminantes establecidos.

Algunos estudios mencionan como alternativa la producción de etanol o biogás a través de las vinazas de la industria tequilera, sin embargo, los estudios no son aún concluyentes con respecto a su viabilidad económica. Al momento de este estudio se visitaron 25 empresas de estos cuatro municipios referidos y ninguno realiza el aprovechamiento de este recurso.



Metodología

Determinamos la viabilidad de la estrategia de utilización de las vinazas a través de un esbozo de análisis de costos que incluye la valoración de la producción a partir de sus precios unitarios por litro, la determinación de los ingresos esperados por la recuperación económica del contaminante y el costo de oportunidad en la sustitución de los hidrocarburos. Resaltando una revalorización de los contaminantes buscando una propuesta para restaurar la cuenca.

Subrayamos la importancia de la estructura de precios del mercado de los hidrocarburos, los cuales, como se sabe, se encuentran fuertemente subsidiados. Lo anterior representa un factor especial a considerar para evaluar con objetividad la viabilidad de la utilización de las vinazas en la generación de biocombustible.

Por otra parte, se subraya la condición especial del aprovechamiento de las vinazas sobre la producción de biocombustible a partir de insumos cosechados *ex profeso*, como es el caso de la caña de azúcar. Lo anterior, le ofrece ventajas al aprovechamiento de la vinaza tequilera pues su rentabilidad no depende de usos alternativos de la materia prima.

Señalamos la necesidad de realizar costeos particulares para determinar costos de producción regionales en la producción del biocombustible y otros derivados, en las condiciones coyunturales del mercado.

Los resultados se cotejaron con opiniones vertidas en entrevistas con industriales tequileros de la zona de estudio.

Desarrollo y resultados

La materia prima para la generación del biodiesel no tiene costo de oportunidad ya que representa un desecho en el proceso de producción de tequila.

En el estudio de factibilidad realizado por la FAO, los costos de producción de la melaza industrial oscilan entre 0.43 y 0.64 dólares por litro. En el estudio, la ventaja comparativa en el mercado de melazas depende de su costo de oportunidad, derivado de que la demanda del insumo en la industria alimentaria. (Crispin, Félix y Quintero 2010).

En el proceso de producción de tequila la situación es diferente, ya que no existe utilización alternativa para el tipo específico de melaza tequilera.

Foto 4. Cultivo de Agave tequilero en la cuenca alta del río Santiago



Foto: Salvador Peniche, 2023.



Según la Red Mexicana de Bioenergía (2016), los costos de producción el precio de mercado de un litro de biodiesel es de \$11.10 pesos por litro y el precio de mercado oscila entre \$14.22 y \$18.22 pesos el litro.

Tabla 2. Costo de producción de biodiesel en Dólares americanos

	Biodiesel de Melaza Industria	Biodiesel Red Mexicana de Bioenergía	Promedio de productores de Biodiesel
Precio en dólares americanos de Biodiesel	0.43 - 0.64	0.56	0.55

* Promedio en Dólares americanos.
Fuente: Red Mexicana de Bioenergía.

Lo anterior significa que el mercado de biodiesel anual potencial en el país es de \$63 990 millones de pesos en el escenario bajo y de \$81 990 millones de pesos en el escenario alto, tomando en cuenta que a finales de 2021 el precio del litro del diesel de petróleo es de \$21.67 pesos, el posible ahorro por litro es de \$7.45 en el escenario bajo y de \$3.45 pesos en el escenario alto.

Aunque la industria está dispuesta a invertir más en el manejo de este residuo, las empresas visitadas señalaron que la utilización de las vinazas no es rentable económicamente en la coyuntura actual, debido al subsidio que existe en el mercado de los combustibles fósiles, es decir, el retorno energético por inversión del bioetanol o biogás es muy bajo. Lo anterior se debe a que, por un lado, el contenido de biomasa es reducido en la vinaza tequilera (menos de 3%), y a que la calidad energética de la melaza es baja por su múltiple utilización en la industria tequilera.



Si consideramos la equivalencia en eficiencia energética del biodiesel con el *gasoil*, podemos afirmar la completa sustituibilidad técnica de los dos tipos de combustible. El reto para la transición consiste en la reorganización productiva en la industria tequilera, la construcción de bio-refinerías locales con economías de escala, la adaptación en la gestión en el manejo de residuos como política pública, pero fundamentalmente la corrección del sistema de precios de los energéticos fósiles en favor de alternativas energéticas ecológicas.

Reflexiones finales

El análisis realizado confirma el potencial económico de los biocombustibles y otros derivados obtenidos de las melazas tequileras en forma de vinazas. Sin embargo, el entorno económico dadas las características técnicas del insumo hacen inviable la revalorización de las vinazas para la producción de biocombustible.

Es importante señalar que el combate contra la contaminación orgánica por medio de la sustitución de combustibles no depende únicamente de su racionalidad económica. Por ser un problema complejo, la transición es un fenómeno multifactorial que surge como propiedad emergente de un sistema socio-productivo de relaciones humanas anquilosadas y resistentes al cambio.

En particular, nos referimos a aspectos sociales, culturales y de gestión en la administración de la cuenca los cuales, junto con la renovación tecnológica y de organización social, harían posible la transición.

Desde la perspectiva de la economía biofísica, la iniciativa puede explicarse como un intento de construcción de lo que Riechmann (2015, p. 3) denomina



una “isla de neguentropía”, es decir, un modelo de metabolismo social que se caracteriza por disminuir al máximo la generación desperdicio energético. Las repercusiones de este fenómeno son de gran alcance local y global, en particular en la estrategia de remediación de los fenómenos que generan el cambio climático.

Referencias

- Abreu, J. (2013). *Aprovechamiento de bagazo de Agave Tequilana Weber para la producción de bio-hidrógeno*. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/86>
- Comisión Estatal del Agua Jalisco. (s. f.). *Conoce la cuenca*. Río Santiago. <https://riosantiago.jalisco.gob.mx/conoce-la-cuenca>
- Consejo regulador del Tequila. (2021). *Millones de litros*. <https://www.crt.org.mx/estadisticascrtweb/>
- Crispin, M. Félix, E. y Quintero, J. (2010) *Análisis de costos de producción de biocombustible en Perú: una dimensión social*. <https://www.fao.org/3/i1712s/i1712s06.pdf>
- Escalante, R. y Catalan, H. (2005). *Economía Ambiental: Una revisión temática y bibliografía actual*. <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/reseconinforma/pdfs/333/10ESCALANTE.pdf>
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2019). *Revive el Río Santiago, con la estrategia integral para su recuperación*. <https://www.jalisco.gob.mx/es/gobierno/comunicados/revive-el-rio-santiago-con-la-estrategia-integral-para-su-recuperacion>
- IEA. (2022). *Statistics Renewables Information*. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/bioenergy>
- Infante, J., González de Molina, M. y Toledo, V. (2017), El metabolismo social. Historia, métodos y principales aportaciones. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 27, (pp. 130-152).
- McCullough, C. (2017). *Alcantarilla del Progreso: Industria y Estado en la contaminación del Río Santiago*. [Tesis doctoral]. <https://ciesas.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1015/470/1/TE%20M.D.%202017%20Cindi%20Claudia%20McCullough%20Deblasi.pdf>.
- McCullough, C. (2020). *SIATL*, INEGI 2020.
- Morandin, I. y Contreras, A. (2017). Sustentabilidad: ética complejidad y transdisciplina. *Perspectivas de la economía ecológica en el nuevo siglo*, (pp. 27-46).
- Quintero, L., y Ramírez. (2018). Desarrollo Industrial y Problemas Ambientales en el Corredor Industrial Ocotlán-El Salto. En *Desarrollo Ciencia e Investigación de Jalisco*. Academia Jalisciense de Ciencias.
- Red Mexicana de Bioenergía A.C., ECOFYS, y SENER. (2016). *Diagnóstico de la situación actual del biodiésel en México y escenarios para su aprovechamiento*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/275444/Final_Report.pdf
- Riechman, J. (2015). *Un poquito de Física, un poquito de matemáticas, y un poquito de economía política*. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/5.%20Un%20poquito%20de%20f%C3%ADsica,%20un%20poquito%20de%20>



matemáticas, un poquito de economía política.
Jorge Riechmann.pdf

Saucedo, A., Castro, A., Martínez, M., Sosa, C., y Campos, J. (2011). Efficient chemical and enzymatic saccharification of the lignocellulosic residue from *Agave tequilana* bagasse to produce ethanol by *Pichia caribbica*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38(6), (pp. 725-732).

Twenergy. (2021). *El impuesto pigouviano: la teoría económica que lucha contra la contaminación*. <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/contaminacion/el-impuesto-pigouviano-la-teoria-economica-que-lucha-contra-la-contaminacion-2188/>



CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL CORREDOR INDUSTRIAL GUANAJUATENSE: UN PLANTEAMIENTO PARA UNA GESTIÓN PARTICIPATIVA

*Daniel Tagle Zamora**
*Alex Caldera Ortega***
*Juan Antonio Rodríguez González****
*Jesús Eduardo Medina Rico*****

Introducción

El municipio de León, Guanajuato en el nuevo milenio enfrenta una crisis del agua que se asocia esencialmente con la vulnerable condición que presenta su principal fuente de abastecimiento, el agua subterránea de los acuíferos Valle de León y Silao-Romita, así como por la escasa capacidad de reacción institucional para

*Profesor del Departamento de Estudios Sociales de la DCSH, campus León de la Universidad de Guanajuato.

**Profesor-Investigador del Departamento de Gestión Pública y Desarrollo de la DCSH, campus León, Universidad de Guanajuato.

*** Profesor del Departamento de Estudios Sociales de la DCSH, campus León de la Universidad de Guanajuato.

**** Consultor independiente.



hacer frente a dicho reto, situación que viene contextualizada por el crecimiento poblacional, la preponderancia por el desarrollismo económico y el preocupante panorama ante el cambio climático que presenta la región.

El escenario en contexto al que se enfrenta la principal ciudad del Bajío es un elevado déficit hídrico de poco más de 51.8 Mm³ anuales para el acuífero del Valle de León y de 114 Mm³ anuales calculados para el acuífero Silao-Romita (Conagua, 2020), combinado con una población de 1.7 millones de habitantes y un crecimiento de la misma en el municipio de León y la Zona Metropolitana, que de acuerdo con las proyecciones de población, continuará con una tasa de crecimiento para 2030 de 1.62 en 2010 y de 0.85 en 2020 (Conapo, 2021). Se suma el elevado dinamismo económico del municipio con 82 mil unidades económicas que contribuyen a que Guanajuato mantenga el quinto lugar a nivel nacional en lo que respecta a Producto Interno Bruto nacional (PIB) (Rosales, 2018).

La Tabla 1 refleja la presión en la última década de los distintos usos del agua a nivel municipal a través del registro de los volúmenes de agua consumidos por los usuarios del organismo operador [Sistema de agua potable y alcantarillado de León (SAPAL)], es decir, se da cuenta de la presión por la competencia del agua entre usos en un acuífero con un elevado déficit.

Tabla 1. Evolución del consumo de agua potable por parte de todos los usos abastecidos por el organismo operador de agua en León. Millones de metros cúbicos (Mm³) (2010-2018)

Año	Volumen total extraído	Volumen facturado total	Volumen facturado doméstico	Volumen facturado comercial	Volumen industrial	Volumen mixto
2010	78.5	46.8	42.1	3.8	0.8	-
2011	81.4	52	41.9	4.4	0.8	2.9
2012	80.1	51.2	40.5	4.4	0.8	3.2
2013	80.2	53.5	40.7	4.7	0.9	3.7
2014	79.7	51.4	39.8	4.9	0.8	3.6
2015	80.7	52.4	40.3	5.3	0.8	3.7
2016	82.9	54.2	41.5	5.7	0.8	3.8
2017	86.9	55.9	42.9	5.8	0.9	3.9
2018	86	55.9	42.8	5.8	0.9	4.1

Fuente. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato CEAG (2014, 2018).

La información oficial muestra que el volumen facturado total en León entre 2010 y 2018, que concentra a todos los usos abastecidos por SAPAL, ha aumentado al 19.4%, mientras que el ritmo de crecimiento por tipo de uso ha sido dispar. En el caso del uso doméstico el crecimiento ha sido de apenas de 1.66%, mientras para el uso comercial fue de 51.5%, 10.5% para el uso industrial y 41% para el uso mixto, este último comparado entre 2011 y 2018. El uso comercial es el que muestra mayor dinamismo y crecimiento en comparación con la estabilidad mostrada por el uso doméstico; no obstante, mucho de este comportamiento obedece al esquema tarifario de SAPAL que se ha enfocado en estabilizar la demanda del uso doméstico, de tal manera que le permita disponer de líquido para los usos económicos de la ciudad (Tagle y Caldera, 2021).

Hasta el momento, los mecanismos con los que cuenta el organismo operador para gestionar el agua son reducidos, centrándose en proyectos de infraestructura que aumenten la capacidad de oferta para los consumos crecientes de la ciudad (IMPLAN, 2020); tal como fue la apuesta institucional por más de una década en el proyecto conocido como presa y acueducto El Zapotillo, el cual originalmente se planteó para atender los retos hídricos en León y Guadalajara (Jalisco), mismo que fue recientemente modificado en el mes de agosto de 2021 por parte del Gobierno Federal, excluyendo a Guanajuato y a la principal ciudad del Bajío de los beneficios hídricos una vez concluida la infraestructura del proyecto. Mientras en el caso del lado de la demanda, las acciones del organismo operador se han enfocado exclusivamente en implementar un esquema tarifario que castiga el derecho humano al agua en la parte doméstica, así como elevados costos económicos para las empresas comerciales e industriales del agua instalados en la Zona Metropolitana de León (Tagle y Caldera, 2021).

Esta complejidad de la “crisis hídrica” por la que atraviesa el tercer municipio más poblado de México (INEGI, 2020), requiere de una amplia participación de todos los usuarios para enfrentar conjuntamente el déficit del agua, través de acciones que incluyan a la autoridad y los usuarios enfocadas en un cambio del comportamiento que favorezca el ahorro del líquido, especialmente en los usuarios productivos, quienes han mostrado mayor dinamismo en el consumo de agua municipal entre 2010 y 2018 con 134% (conjuntando uso industrial, comercial y mixto).

Las circunstancias hídricas presentadas indican la necesidad de transitar del actual papel de consumidor del agua (ampliamente naturalizado por el organismo operador en sus clientes, definido por la cultura del pago), al rol



activo-participante de cogestor para todos los tipos de usuarios de la región (Arrojo, 2015; Castilla, García, Mesa, Quintero y Rapp, 2009). En este sentido, y alineado al objetivo de esta obra, orientado a presentar aportaciones en el eje de la sustentabilidad considerando nuevas tecnologías, es que se inserta la presente investigación. La cual, se centra en identificar estrategias ecotecnológicas para el sector empresarial en modalidad de responsabilidad hídrica que contribuyan al ahorro de agua. En este sentido, este trabajo tiene como objetivo central abordar la evaluación de los resultados hídricos y económicos de la instalación de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), implementado en la empresa regiomontana Promotora Ambiental S.A. de C.V. (PASA) en su sucursal de León, Guanajuato, como vía para el proceso de adaptación a los escenarios de estrés hídrico por los que atraviesa esta ciudad.

El SCALL tuvo como antecedente la colaboración entre la empresa con el Cuerpo académico orientado al estudio del Agua, Energía y Cambio Climático (CAC-179 AEYCC) de la Universidad de Guanajuato (UG), siendo este último quien sugirió a la empresa implementar un sistema ahorrador de agua que incidiera en la disminución de sus costos económicos y lo insertara paralelamente en el compromiso de implementar acciones hídricas responsables con el acuífero del Valle de León.

Esta experiencia, tiene como finalidad visibilizar las aportaciones de la figura del cogestor del agua a través de la captación para los usuarios productivos-comerciales, especialmente en aquellas cuencas que sufren de fuertes desajustes hídricos y que requieren de la participación conjunta para la rehabilitación de las fuentes naturales de abastecimiento.

Finalmente, consideramos que esta propuesta empírica sumará al objetivo del libro *Sustentabilidad, Innovación y Tecnología* en el eje agua, sumándose



a los ricos casos de estudio que comprenden el resto de las aportaciones presentadas en esta obra.

El presente capítulo está integrado por las secciones de la metodología, la cual señala los pasos que siguieron para conocer los beneficios económicos e hídricos del SCALL; después, se aborda brevemente el enfoque de ecotecnias y su aportación mediante la captación de agua de lluvia. Posteriormente, abordamos las secciones de desarrollo y resultados del SCALL en PASA. Por último, ofrecemos la discusión de los resultados y las conclusiones.

METODOLOGÍA

La investigación tuvo cuatro momentos metodológicos. El primer momento fue el definir el encuadre analítico coincidente con el interés de implementar acciones de ahorro y eficiencia del agua por parte de los usuarios. Para ello, se identificó el enfoque de las ecotecnias enfocado al aprovechamiento del agua de lluvia; este enfoque que permitió plantear la forma de colaborar con el sector privado incorporando a la figura de cogestor del agua desde el ámbito empresarial, esto a través de la consideración de un SCALL.

El segundo momento fue realizar una valoración de la pertinencia para implementar un SCALL dentro de las instalaciones de la empresa Promotora Ambiental S.A. de C.V. (PASA); para este punto, fue necesario realizar un análisis hídrico que consistió en determinar la capacidad de captación, el cual abarcó la revisión de la precipitación pluvial de los últimos cinco años considerando la estación meteorológica más cercana a la empresa, así como el estudio de las instalaciones de PASA para conocer los indicadores referentes a la capacidad



de captación y la demanda de agua. Para este paso se sumó un análisis costo-beneficio del SCALL, tomando como indicador la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto, la cual fue determinante para tomar la decisión de implementar el proyecto por parte de los gerentes.

El tercer momento se refirió al diseño técnico idóneo del SCALL para las instalaciones de PASA. Este paso fue de corte técnico-ingenieril, pero señalamos que no es del interés del presente capítulo hacer detalle de la parte ingenieril del SCALL, únicamente se hace mención de que esta parte importante fue encabezada por la asociación civil del Consejo Técnico de Aguas (Cotas) del Valle de León, el cual determinó e implementó un modelo de captación acorde a las instalaciones de la empresa, el mismo Cotas fue el responsable de establecer los costos económicos del SCALL, los cuales sirvieron en el paso previo para el análisis costo-beneficio del sistema de captación realizados por los integrantes académicos de la UG, Campus León.

Finalmente, el cuarto momento fue la revisión de los datos que se obtuvieron del seguimiento tras un año de operación del SCALL (septiembre 2019-agosto-2020). Para este paso se establecieron dos rutas para determinar las aportaciones del SCALL a la empresa y que se definieron por cuestiones físicas del ahorro de agua y por la reducción del gasto que el mismo sistema propició:

- a. Análisis comparativo del volumen físico consumido de agua potable registrado en cada mes del primer año de operación del SCALL con respecto al mismo mes del año previo a la instalación del SCALL (dato disponible en el recibo).
- b. Análisis comparativo a partir del costo monetario total del recibo emitido por SAPAL a PASA en cada mes del primer año en operación del SCALL



con respecto al mismo mes del año previo a la instalación del SCALL. Se señala que el costo total abarca el consumo de agua potable, el servicio de saneamiento y el IVA (dato disponible en el recibo).

Antes de mostrar el desarrollo y los resultados se describe brevemente lo referente a la captación de agua de lluvia y su necesidad de considerarlo como elemento clave en el sector productivo.

Captación de agua de lluvia

Una vía para empujar prácticas sustentables en el ámbito hídrico es promover y aceptar la participación de los diferentes actores de los usos que constituyen el sector agua (Castilla *et al.*, 2009); en este sentido, resulta imprescindible la colaboración de la sociedad civil, universidades, centros de investigación, iniciativa privada y gobierno para motivar cambios conductuales que fomenten y propicien el ahorro en el sector agua.

Dentro de las perspectivas que consideran como necesario el involucramiento de los usuarios para contrarrestar la crisis hídrica se encuentra la Nueva Cultura del Agua (NCA) (Arrojo, 2015). Este planteamiento, se ha concentrado en puntualizar que la base para transitar del derroche al ahorro se encuentra en la inclusión de todos los actores que sumen con nuevas prácticas que promuevan y difundan una cultura de ahorro del vital líquido. Estas prácticas sirven de palanca central que al representar a la demanda busquen formas de ajustarse a la disponibilidad de agua en cada cuenca. Desde esta orientación, se pretende revertir el estrés hídrico, y, por tanto,



reducir el margen de posibilidades para la mercantilización del líquido a través de las políticas de oferta de agua (De Prada, 2003).

De acuerdo con lo señalado anteriormente, se afirma que la captación de agua de lluvia (CALL) es el proceso socio-técnico que consiste en capturar, almacenar y aprovechar las precipitaciones pluviales para su aplicación en múltiples usos, ya sea a nivel doméstico, agrícola, comercial o industrial. Esta práctica forma parte de la familia ecotecnológica, la cual busca resolver necesidades sociales tangibles a sus usuarios con empatía ambiental (Ortiz, Masera y Fuentes, 2014).

La atención que recientemente ha recibido la CALL se encuentra ampliamente vinculada con sus múltiples beneficios; tanto directos —como son el acceso al agua potable y el ahorro económico—, como indirectos —reducir la fatiga de los acuíferos por sobreexplotación; promover educación ambiental respecto al uso y manejo del agua; así como mejorar la calidad de vida entre las sociedades en riesgo hídrico— (Concha *et al.*, 2020; Gleason, Corona y Casino, 2020; Kniffen, 2020; Ortiz *et al.*, 2014; Ortiz, Malagón y Masera, 2015; Tagle, Azamar y Caldera, 2018; Vargas y Lomnitz, 2020).

Dentro del interés por revisar la CALL está el estudiar los sistemas a nivel de escala doméstica (vivienda), ya que ha sido poco explorado y narrado las experiencias en usos productivos del sector privado (Karim, *et al.*, 2021); aspecto que viene siendo lentamente considerado desde la economía circular (Perero, 2019), pero que debe ser ampliamente considerado en la lógica de sumar todas aquellas conductas que motiven el ahorro de agua como forma de mitigación frente al escenario de cambio climático en las diferentes urbes.

Bajo esta lógica de maduración hídrica, la función del ahorro es esencial. En este sentido, la CALL se vuelve un salvoconducto representativo para



dichos fines; implica modificar el papel actual con el que se ha considerado a la sociedad y al sector privado en la gestión del agua, para ubicar el papel limitado de cliente/usuario al de *cogestor* del agua (Tagle, Azamar y Caldera, 2018).

En el caso particular de la gestión del agua en León, se hace necesaria la amplia participación de los diferentes sectores para reducir la presión que se ha ejercido sobre las principales fuentes de abastecimiento de la ciudad; lo que implica una transición de la actual conducta de deterioro hídrico del acuífero hacia un comportamiento responsable de ahorro y eficiencia que permitan generar procesos de resiliencia hídrica ante la constante carga a la que se han sometido los acuíferos del Valle de León y el Silao-Romita.

La responsabilidad social de las empresas con el medio ambiente bajo este esquema no puede ser alentado tan solo como una práctica de ahorro de insumos para maximización de sus ganancias en la producción de bienes y servicios (el agua en muchos casos lo es para las empresas), sino como una característica de sus prácticas que ayudan a interiorizar tanto en los integrantes de la propia organización, como de los clientes o usuarios, de una concientización superior de compromiso con el ambiente y la sustentabilidad, orientada por cumplir con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Paulín, 2021, p. 27).

Desarrollo

Descripción de la unidad de análisis

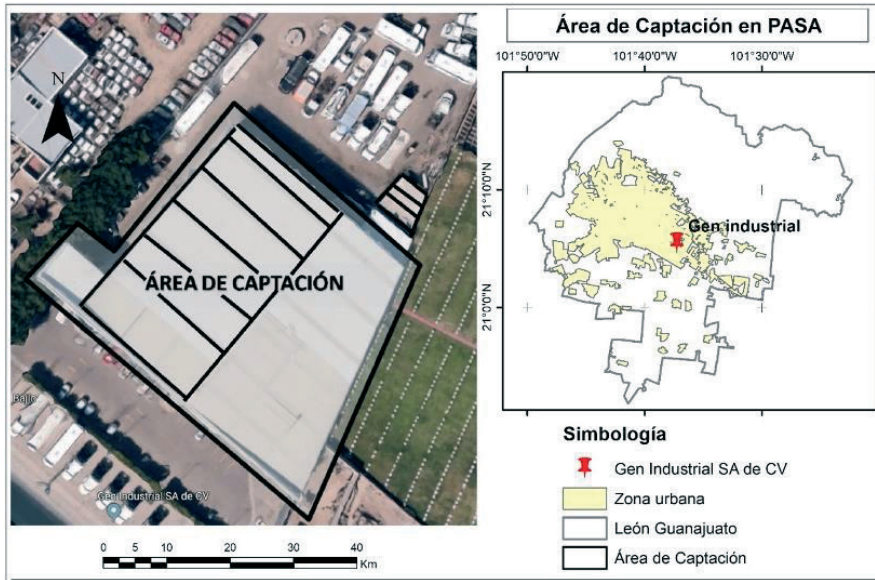
La empresa Promotora Ambiental de la Laguna s.A. de c.v. (PASA) es una empresa de origen regiomontana que tiene activa participación a nivel

internacional en la prestación de servicios ambientales, particularmente en la gestión de residuos sólidos municipales y de manejo especial. Colabora en más de 50 ciudades del país (Couto y Hernández, 2012). Para el caso de León Guanajuato, PASA ganó en 2017 el proceso para obtener los contratos de concesión en dos de las tres zonas en las que el Sistema Integral de Aseo Público de León (SIAP) tiene distribuida la mancha urbana, para cubrir el servicio de recolección y traslado de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) domiciliarios de la mancha urbana al sitio de disposición final conocido como El Verde. PASA cubre aproximadamente a 270 mil viviendas de la ciudad con 157 rutas (Tagle, 2020). Tiene 41 unidades, de las cuales 37 son de operación con capacidad de 20 yd³. En promedio recolecta 728 toneladas de RSU por día, las cuales traslada diariamente a El Verde (SICA, 2019). El contrato de concesión de dicho servicio con el municipio es por 20 años; los términos de referencia de dicha concesión le exigen presentar una imagen adecuada (limpia) de sus unidades, componente que es evaluada por la ciudadanía a través de una encuesta anual de satisfacción con la que es calificado el servicio de la empresa, y que se considera por el SIAP para conocer el desempeño de la empresa con respecto a los términos de concesión.

Las instalaciones de PASA (Figura 1) se encuentran ubicadas en Blvd. Aeropuerto 455, Fracc. Industrial Santa Julia C.P. 37290 en León, Guanajuato. Comprende una superficie de 8694 m², compuesta por oficinas administrativas (900 m² por dos niveles), taller de mantenimiento (1100 m²), zona de estacionamiento de unidades de recolección domiciliaría y utilitaria (2750 m²), zona de recolección industrial y comercial (750 m²) y de unidades utilitarias (650 m²) (SICA, 2019).



Figura 1. Área de captación en instalaciones de PASA



Fuente: Elaboración propia con Google Maps. (2019).

Antecedentes del Sistema de Captación

En julio de 2018, PASA contactó al CAC-179 AEYCC de la UG, Campus León, para solicitar el levantamiento de las encuestas de satisfacción que anualmente está obligado a entregar al SIAP. Derivado de este contacto, la visita periódica de los miembros del CAC-179 AEYCC a las instalaciones de PASA identificaron áreas de oportunidad para un mejor aprovechamiento en el uso y manejo del agua de los procesos realizados por la empresa. En este sentido, el CAC-179 AEYCC planteó a PASA la posibilidad de implementar un proyecto de captación

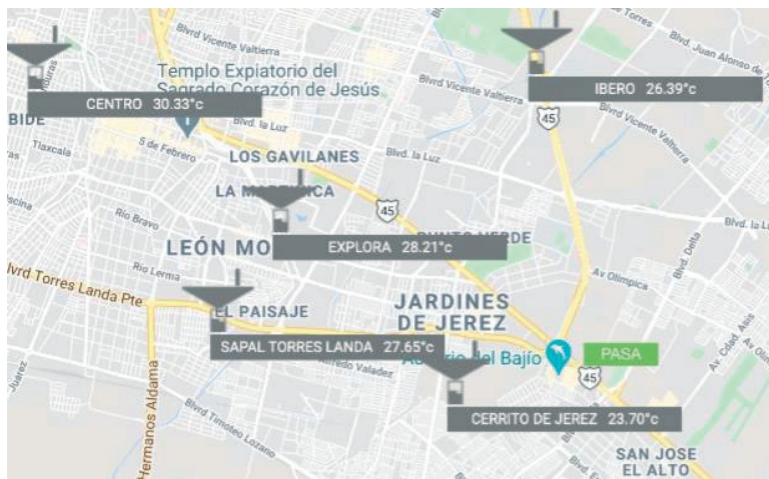
de agua de lluvia para sustituir el agua de primer uso en un uso no esencial, tal como es el lavado de sus 41 unidades de recolección.

Posteriormente, la Gerencia de Operaciones aceptó plantear un estudio de pertinencia de un SCALL en sus instalaciones. Tras la flexibilidad de PASA, el CAC-179 elaboró los cálculos para presentarle a PASA la viabilidad de incorporar un SCALL en sus instalaciones para un mejor aprovechamiento del líquido y de reflejar sus compromisos ambientales ante el complejo panorama hídrico que enfrenta la ciudad donde colabora.

Evaluación de la pertinencia del SCALL

El área comprendida para la captación de agua de lluvia en PASA es de 475 m² (Figura 2), que corresponde a una parte del techado de la zona de oficinas administrativas y del techo de la zona de limpieza de las unidades recolectoras. Para determinar el volumen potencial de captación de agua de lluvia en dichas instalaciones se consultó el nivel de precipitación anual (2014-2019), proporcionado por las estaciones meteorológicas (Figura 2) del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), en específico la estación Cerrito de Jerez, ubicada a 2.1 Km de las instalaciones de PASA y que es la estación meteorológica que mejor puede reflejar la precipitación pluvial de la zona donde se encuentra PASA.

Figura 2. Estaciones meteorológicas en el Municipio de León, Guanajuato.



Fuente. SAPAL (2020).

Con el conocimiento del área de captación se procedió a calcular el volumen potencial de captación de agua de lluvia que se podría obtener con las instalaciones de PASA, para ello se empleó la fórmula 1, sugerida por Gleason (2014a, p. 177).

Fórmula 1. Potencial de captación de agua de lluvia

$$\text{Capacidad de captación} = \text{área de captación} \times \text{nivel de precipitación} \times 0.001 \times \text{coeficiente de escorrentía}$$

Con respecto al coeficiente de escorrentía, Gleason (2014) señala que ésta depende de la textura y material de la superficie de captación. Siguiendo a Gleason (2014), se determinó que el coeficiente de escorrentía correspondiente

a los materiales del techado de PASA es de 0.9, al tener ésta una cubierta de lámina de hierro que se utilizó en el techo de sus instalaciones.

En el caso de la evaluación de la pertinencia del SCALL, considerando el contexto regional de la precipitación pluvial, se consideró la ruta sugerida por Gleason (2014), quien indica revisar los datos anuales de precipitación. En el caso de este estudio se tomó el rango anual de los últimos cinco años previos de precipitación (2014-2019) con la información proporcionada por la estación meteorológica Cerrito de Jerez del SAPAL.

La información obtenida determinó que ésta se encontraba dentro del rango 500-1000 mm (Tabla 2), lo cual es considerado como un nivel suficiente de precipitación de acuerdo con la clasificación del nivel de precipitación de lluvia de la Organización Mundial Meteorológica (OMM) (Gleason, 2014). Esta información reveló pertinencia hídrica para implementar un SCALL en las instalaciones del corporativo.

Tabla 2. Precipitación pluvial y Capacidad de captación de agua de lluvia en PASA

Año	Precipitación anual Estación meteorológica Cerrito de Jerez (mm)	Capacidad de captación m ³ /año (Costo de oportunidad hídrico)
2014	595	254
2015	706	301
2016	648	277
2017	573	244
2018	867	370
2019	673	287

Fuente: Elaboración propia con información de SAPAL (2020).

Nota: El Sistema de Captación se encuentra operando desde el 15 de septiembre de 2019.



En lo que respecta a los requerimientos de agua por parte de la empresa (Tabla 3), se solicitaron a ésta los recibos de agua para conocer el volumen consumido el año previo a la consideración del SCALL. En este caso, el análisis de pertinencia se realizó durante el mes de julio de 2019, con lo que la revisión de la demanda de agua de la empresa consideró el periodo agosto de 2018 a julio de 2019.

Tabla 3. Compatibilidad entre requerimientos y volumen potencial de captación (agosto 2018-julio 2019)

Mes	Precipitación mensual (mm)	Registro del consumo mensual de agua en PASA (m ³)	Capacidad de captación mensual en PASA (m ³)	Valor económico de la capacidad de captación (\$)
2018				
Agosto	138	304	58.9	3,171
Septiembre	284	278	121.4	6,171
Octubre	26	232	11.1	566
Noviembre	41	213	17.5	892
Diciembre	0	216	0	0
2019				
Enero	0	179	0	0
Febrero	0	328	0	0
Marzo	0	384	0	0
Abril	2	398	0.8	42
Mayo	33	393	14.1	740
Junio	119	531	50.8	2,667
Julio	163	433	69.6	3,654
Total	806	3,889	343.4	\$17,903

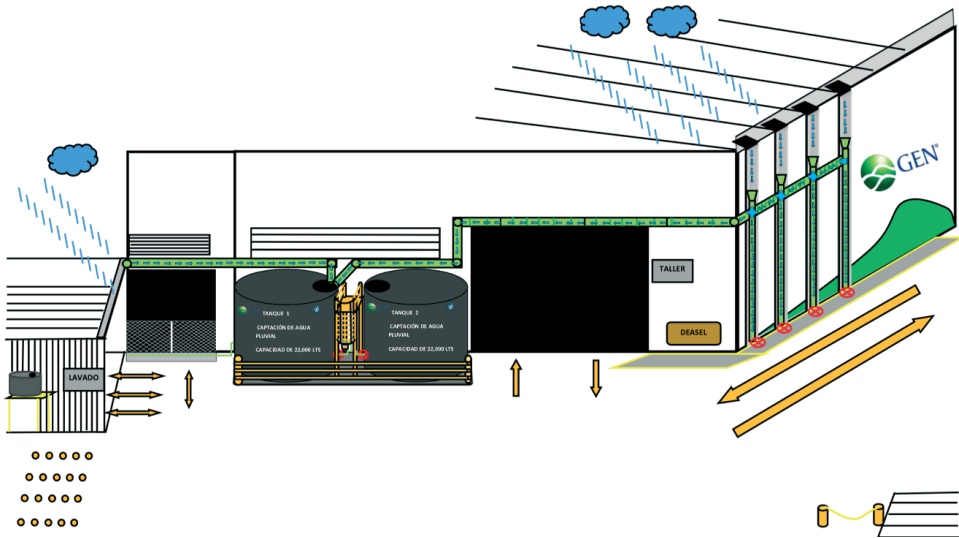
Fuente: Elaboración propia.

Como muestra la Tabla 3, el volumen de capacidad de captación representó 8.8% del volumen total de los requerimientos de PASA entre agosto de 2018 y julio de 2019.

Previo a conocer el costo económico del SCALL, se estimó el monto económico de ahorro en el pago del servicio municipal de agua potable que podría derivarse de la implementación del SCALL, calculado en \$17,903 anuales. Este dato se obtuvo al multiplicar la tarifa de agua con fines comerciales, que cobra SAPAL, por el volumen de la capacidad de captación mensual. La información de la tarifa comercial se obtuvo del Sistema de Información de Tarifas de Agua Potable del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2019), considerando las tarifas de acuerdo con los diferentes rangos de consumo.

Posteriormente, se contactó a la Asociación Civil (AC) "COTAS del Valle de León", la cual ha implementado más de 70 SCALL's en viviendas de la zona periurbana de León, financiados por la Dirección General de Medio Ambiente del Municipio de León. Tras el diálogo Universidad-Asociación Civil-Empresa, el COTAS diseñó el SCALL y estimó el costo económico del proyecto (Figura 3).

Figura 3. Diseño del Sistema de Captación de Agua de Lluvia en PASA



Fuente. Elaboración propia COTAS.

El diseño propuesto por el COTAS consideró dos sistemas de almacenamiento para captar el agua de lluvia con capacidad de 22 mil litros de agua cada uno, para un total de 44 m³. El costo total del proyecto calculado por el COTAS fue de \$210 000 pesos a precios de 2019.

Cabe señalar que la decisión de la capacidad instalada obedeció prioritariamente a la cuestión de la disponibilidad de espacio del área de donde serían colocados los sistemas de almacenamiento, esto más que a la información obtenida de la capacidad de captación, la cual indicaba la posibilidad de extenderla.



Una vez conocido el monto de la inversión inicial para instalar el SCALL, se procedió a calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto (Concha *et al.*, 2020). En este caso, la fórmula aplicada fue:

Fórmula 2. Tasa Interna de retorno de la inversión

$$TIR=0=-C+FNC1(1+TIR)^1+FNC2(1+TIR)^2+\dots+FNCn(1+TIR)^n$$

Donde:

C: es el desembolso inicial de la inversión

FNC: los flujos netos de caja

TIR: la Tasa Interna de Retorno

n: el número de periodos de vida del proyecto

Para el caso concreto del SCALL se ajustó la siguiente fórmula como sigue:

C= \$210 000 pesos

FNC= ahorros económicos anuales asociados con la disminución del pago en el servicio municipal de agua potable derivado de la captación. Se consideró de arranque el volumen de capacidad de captación anual de 340 m³ y su valor en ahorro económico de \$17 900 pesos (Tabla 5). A este valor de ahorro económico inicial se le incorporó una tasa de crecimiento de 3%, esto asociado con los ajustes anuales de las tarifas de SAPAL en sus múltiples servicios de agua potable en León, Guanajuato.

TIR: Tasa Interna de Retorno

n: 25 años (periodo de durabilidad del proyecto)

Pagos: se consideraron cuatro pagos asociados con el mantenimiento del SCALL cada cinco años por un monto total de \$60 mil pesos cada uno.

Con base en la información de la Tabla 5 y considerando la fórmula 2, la TIR calculada fue de 8.64%, con un retorno de la inversión inicial en el año 11. Proyecto que resulta altamente rentable, considerando la capacidad de captación de 340 m³ al año y un incremento sostenido de las tarifas comerciales de agua potable por parte del organismo operador de 3% anual.

Compartida la información con la gerencia, se dio cuenta de los posibles beneficios económicos a través del ahorro de agua y la coherencia ambiental que de ella se deriva, con lo que en agosto de 2019 la gerencia de PASA dio el visto bueno para implementar en sus instalaciones el SCALL.

Resultados

El COTAS del valle de León inició el lunes 2 de septiembre la instalación del SCALL en PASA, concluyendo el 15 de septiembre de 2019 (Figura 4). El uso del agua de lluvia captada se destina exclusivamente para la limpieza de las 41 unidades que dan de manera diaria el servicio de recolección de RSU en el municipio de León (Figura 5), por lo que la calidad del líquido no es algo esencial. No obstante, el COTAS consideró la instalación de un filtro en el SCALL para retener los sedimentos que el agua de lluvia arrastra a los depósitos de captación del sistema, la función del filtro es evitar averiar la bomba que distribuye el agua a un tinaco de menor capacidad que es usado para alimentar las dos hidrolavadoras empleadas en el lavado de las unidades.

Figura 4. Proceso de implementación del SCALL



Fuente: Elaboración propia.

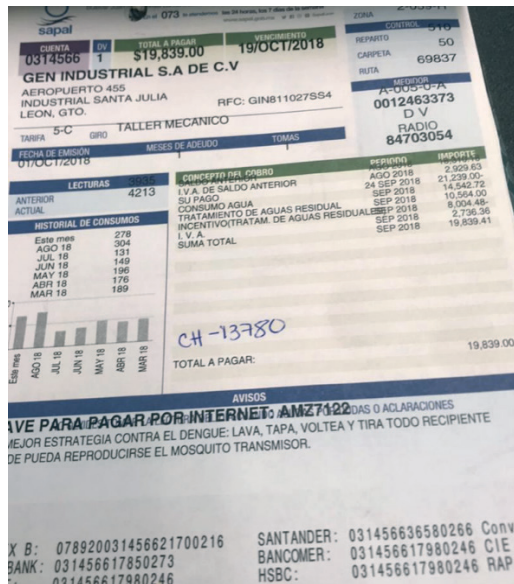
Figura 5. Aplicación del SCALL en PASA



Fuente. Elaboración propia.

La finalización de la instalación del SCALL en PASA en el mes de septiembre de 2019, permitió dar paso al monitoreo de las contribuciones del SCALL a través de la información disponible en el recibo del servicio de agua potable y saneamiento que se debe pagar de manera mensual a SAPAL.

Figura 6. Recibo de pago por el servicio de agua potable de PASA



Fuente: imagen proporcionada por PASA.

En este sentido se decidió proceder al análisis de los datos obtenidos a través de dos vías:

1. Análisis de los resultados considerando el volumen físico del consumo de agua potable registrado en el recibo del servicio.
2. Análisis de los resultados a partir del costo monetario total del recibo, el cual considera el consumo de agua potable, el servicio de saneamiento y el IVA.
 - a) La Tabla 4 registra el consumo físico de agua mensual de PASA tomado del recibo. Se procedió a comparar los datos de consumo sin SCALL (septiembre 2018-agosto 2019); así como los datos que incluyen el uso y aplicación del SCALL en PASA (septiembre de 2019-agosto de 2020).

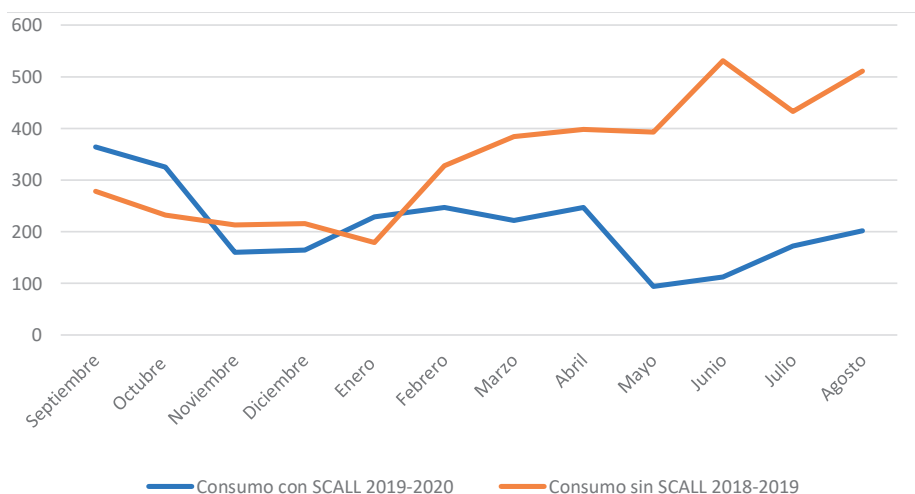
Como se puede apreciar, la implementación del SCALL en PASA inició a generar una reducción sensible en el consumo de agua potable registrado por PASA en su recibo de agua. El ahorro total en el recibo fue de 1558 m³ de agua, es decir, el consumo disminuyó 38%, lo cual significa un ahorro significativo de agua potable. La Figura 7 muestra los meses entre abril-agosto como los de mayor impacto del SCALL, dado el temporal de lluvias. El mes de junio, es en específico dentro del periodo de monitoreo, el mes que generó la mayor diferencia con respecto al ahorro del agua.

Tabla 4. Comparación de los consumos físicos de PASA con SCALL y sin SCALL

	Consumo con SCALL (m ³)	Consumo sin SCALL (m ³)	Diferencia (m ³) [(-) ahorro]
	2019	2018	
Septiembre	364	278	86
Octubre	325	232	93
Noviembre	160	213	(-) 53
Diciembre	164	216	(-) 52
	2020	2019	
Enero	229	179	50
Febrero	247	328	(-) 81
Marzo	222	384	(-) 162
Abril	247	398	(-) 151
Mayo	94	393	(-) 299
Junio	112	531	(-) 419
Julio	172	433	(-) 261
Agosto	202	511	(-) 309
Consumo total	2 538	4 096	(-)1,558

Fuente: Elaboración propia con los recibos de agua potable y saneamiento municipal.

Figura 7. Comportamiento físico del consumo de PASA con SCALL y sin SCALL
(m³ eje vertical)



Fuente: Elaboración propia con los recibos de agua potable y saneamiento municipal.

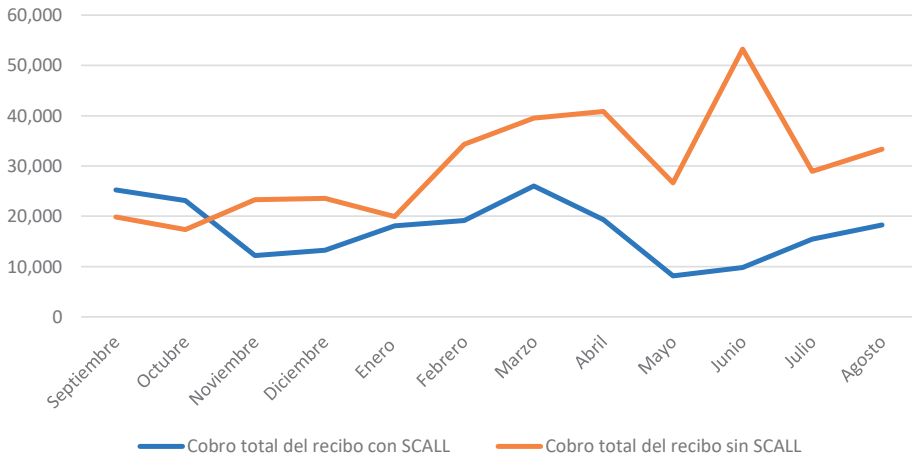
- b) En la Tabla 5 se registró el costo total del servicio de agua potable y saneamiento indicado en el recibo de agua. En este caso podemos apreciar que la diferencia de la sumatoria del costo por el cobro entre el periodo septiembre 2018-agosto 2019 con respecto a septiembre 2019-agosto 2020 fue significativo. El ahorro económico registrado en el primer año fue de \$152735 pesos, es decir, un ahorro promedio mensual de \$12700 pesos, es decir, un ahorro para la empresa del 42.3% en el primer año; resultado económico positivo dado que se logró que en el primer año de aplicación del SCALL se tuviera el retorno de la inversión equivalente a los primeros ocho años. De manera similar, la Figura 8 refleja que son los meses correspondientes al temporal de lluvia donde el SCALL tiene sus mayores contribuciones.

Tabla 5. Comportamiento del costo total del recibo de agua potable y saneamiento de PASA con SCALL y sin SCALL (m³ eje vertical)

	Cobro total del recibo con SCALL con IVA (\$)	Cobro total del recibo sin SCALL con IVA (\$)	Diferencia (\$) [(-) ahorro]
	2019	2018	
Septiembre	25 257	19 839	5 418
Octubre	23 156	17 360	5 796
Noviembre	12 238	23 280	(-) 11 042
Diciembre	13 290	23 550	(-) 10 260
	2020	2019	
Enero	18 087	19 984	(-) 1 897
Febrero	19 187	34 300	(-) 15 113
Marzo	26 025	39 535	(-) 13 510
Abril	19 315	40 885	(-) 21 570
Mayo	8 154	26 678	(-) 18 524
Junio	9 835	53 251	(-) 43 416
Julio	15 445	28 958	(-) 13 513
Agosto	18 246	33 350	(-) 15 104
Consumo total	208 235	360 970	(-) 152 735

Fuente: Elaboración propia con los recibos de agua potable y saneamiento municipal.

Figura 8. Comportamiento del costo total del recibo de agua potable y saneamiento de PASA con SCALL y sin SCALL



Fuente: Elaboración propia con los recibos de agua potable y saneamiento municipal.

Discusión de los resultados

Los beneficios de la eco-práctica implementada por PASA, hasta el momento, son los ahorros físicos en el consumo de agua y la reducción en el gasto por el pago de este servicio. El ahorro de 42% en el pago del servicio del consumo de agua y una reducción del consumo en la parte física proveniente de la red de SAPAL de 39% (1553 m³ de agua potable).

Las razones de la empresa para valorar positivamente la estrategia están claramente en el plano económico; sin embargo, también pueden presentarse como una empresa socialmente responsable con el medio ambiente,

comprometida con el entorno donde opera. Este estudio se trata de un primer paso, para que la organización asuma otro tipo de eco-prácticas en su gestión operativa y se conviertan en un componente estructural del *ethos* institucional.

Hacia los usuarios, la empresa puede promover los valores de compromiso medioambiental que se muestran en esta acción, y servir de ejemplo para que otras empresas en el mismo ámbito regional puedan imitar esta práctica en sus procesos. Tan sólo por mencionar, la Conagua (2018) señala que los usos agrupados consuntivos en "industrial integrado" (Agroindustrial, servicios, industrial y comercio), tenían en 2018 un volumen concesionado en México de 4267 hm³; es decir, 4.9% de los usos consuntivos autoabastecidos, esto sin contar el consumo de agua que tienen usuarios industriales, comerciales y de servicios a través del abastecimiento público urbano desde los organismos operadores. En Guanajuato este uso industrial integrado autoabastecido consume 76.2 Hm³, es decir, 1.8% del total del volumen de agua concesionado en el estado. Para el caso específico de León, el volumen consumido por los usos productivos (comerciales, industriales y mixtos) abastecidos por el organismo operador SAPAL fue de 10.9 Mm³ de agua en 2018, lo que representó 19.3% del volumen total facturado por SAPAL con respecto a todos sus usos. Tal como se vio en la Tabla 1, la tendencia de los usos productivos se ha mantenido al alza con un crecimiento absoluto entre 2010-2018 de 134.7%. Este comportamiento de los usuarios productivos en León representa un componente de presión para el organismo operador, dado los volúmenes comprometidos para los usos público urbanos; entre ellos, el uso doméstico, cuyo volumen representa el 76% del volumen total facturado, con tendencia estable pero creciente, dando la posibilidad a que en el mediano plazo se puedan presentar



escenarios que generen presión a la capacidad de abastecimiento de SAPAL, esto ante la complejidad de éste por concretar el acceso a nuevas fuentes de abastecimiento para la ciudad.

En este sentido, las conductas por un manejo responsable del líquido deberían promoverse transversalmente entre todos los usuarios, para hacer frente a los retos del agua en León, encabezados por el SAPAL y el COTAS del Valle de León; éstos como los principales interesados en conseguir el balance hídrico regional y acompañados por las universidades.

El caso aquí estudiado, puede sumar a que la autoridad municipal difunda este ejemplo como caso de éxito y ayudar a promover la réplica de la estrategia tanto para otras empresas privadas asumiendo la incorporación de este tipo de tecnologías amigables con el medio ambiente, mismas que también contribuyan a comprender que los procesos de producción de bienes y servicios públicos, pueden mejorar la captación de agua de lluvia en superficies aprovechables de la infraestructura urbana que sirva tanto para el riego de parques y jardines, limpieza de los espacios públicos, o incluso para el abastecimiento de las propias instalaciones de los edificios de gobierno en ciertas zonas donde se requiera.

La idea para el sector público municipal también es que asuma una estrategia integral de cosecha de agua de lluvia, como un componente de una política pública comprometida con un ajuste de la demanda de agua en la cuenca y la sustentabilidad medioambiental del territorio. El gobierno municipal como principal promotor de estas iniciativas, y el sector privado sumándose a ellas, debe ayudar a visualizar las eco-prácticas como una base esencial de la educación ambiental para una responsabilidad hídrica por parte de todos los ciudadanos.

Es claro que el escenario en materia hídrica reclama de nuevas conductas para atender la parte ambiental, y la captación puede representar una estrategia hídrica que empuje hacia comportamientos de sostenibilidad que permitan sortear la complejidad hídrica y el escenario de cambio climático por el que atravesará el municipio para la década del 2020.

Reflexiones finales

Al momento, la atención en la captación de agua de lluvia se ha concentrado en la escala de vivienda, esto como parte del interés de establecer estrategias que alivien los múltiples retos que se han presentado en la gestión del agua urbana y rural para lograr materializar el derecho humano al agua. Sin embargo, el tema de la captación requiere análogamente abordar el estudio de aquellas experiencias que nos ofrecen los usuarios industriales, comerciales y de servicios que se encuentran realizando prácticas de captación en sus instalaciones, y que si bien, el origen del cambio en sus conductas puede estar motivado por aspectos económicos, éstos indirectamente contribuyen al ahorro de agua, quitando presión por el líquido proveniente de los acuíferos.

El caso del SCALL en PASA, da cuenta de los múltiples beneficios asociados a la incorporación de la conducta del ahorro hídrico en el ámbito empresarial, para corresponder individualmente a una región enmarcada por un acuífero sobreexplotado. La colaboración entre la universidad, la empresa y la asociación civil fue determinante para concretar y poner en marcha un SCALL que puede resultar en un caso representativo para la ciudad de León ante los resultados positivos del SCALL en su primer año de implementación.



Si bien, en la etapa de valoración de la pertinencia, la metodología desarrollada que calculó las bondades económicas e hídricas para implementar el SCALL en las instalaciones de PASA estimó ser positiva (343 Mm³ de potencial de captación y \$17 900 pesos de ahorro económico anual); para la etapa de operación el SCALL arrojó resultados contundentes, esto derivado del monitoreo de la información proporcionada por los recibos municipales de agua una vez implementado el SCALL, los cuales superaron ampliamente los datos estimados en la fase de la elaboración y pertinencia del proyecto; tan sólo el ahorro de líquido registrado en los recibos entre el periodo anual de consumo sin SCALL (septiembre-2018 y agosto-2019) y el periodo de consumo con SCALL (agosto-2019 y septiembre-2020) fue de 1558 m³. El caso del valor económico por el cobro total del recibo es el que vale la pena destacar, dado que es el monto que debe cubrir mensualmente PASA con SAPAL por la prestación del servicio; en éste la implementación del SCALL destacó su relevancia en su primer año de implementación dado que le significó a la empresa un ahorro económico de \$152735 pesos, el cual se traduce en 72.7% del retorno de la inversión realizado por PASA en su primer año.

Los resultados conseguidos resaltan la necesidad de continuar colaborando con el sector empresarial, facilitando la incorporación de prácticas ahorradoras de agua tal como sucede a través de los SCALL's, especialmente en las zonas áridas y semiáridas del país aprovechando la capacidad de las instalaciones de los parques industriales y comerciales para captar el agua de la precipitación pluvial de cada región.

Actualmente, en el municipio de León hay poco más de 82 mil unidades económicas, de acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE, 2020), lo cual contextualiza la presión que existe por el

agua para fines productivos en la mancha urbana. Pero también, sirve como referente para establecer distintos niveles de escala para replicar la práctica de la captación de agua de lluvia con SCALL's en usuarios industriales, comerciales y de prestación de servicios. El DENUE señala 50981 unidades económicas dentro de actividades como la industria manufacturera, comercio al mayoreo y al menudeo, servicios de transporte, servicios de apoyo a los negocios y de desechos, servicios educativos y corporativos, representando estas actividades las que podrían presentar un perfil adecuado para replicar los SCALL's dentro de sus instalaciones, y contribuir con las prácticas de ahorro de agua que disminuyan la presión que se está ejerciendo sobre el acuífero del Valle de León.



Referencias

- Arrojo, P. (2015). El reto de integrar valores y principios ecológicos, sociales y éticos. En del Moral, L., Arrojo, P., y Herrera, T. (Coords.), *El agua, perspectiva ecosistémica y gestión integrada*, Fundación Nueva Cultura del Agua (pp. 8-15). <https://fnca.eu/biblioteca-del-agua/directorio/file/2767-el-agua-perspectiva-ecosistemica-y-gestion-integrada-de-aguas>
- Castilla, J., García, L., Mesa, A., Quintero, N. y R. (2009). *Agua y políticas de postdesarrollo. Saberes sometidos y gestión de la demanda*. AECID.
- Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG). (2014). *Diagnóstico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento*. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato.
- CEAG. (2018). *Diagnóstico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento*. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2012). *Libro Blanco Conagua-03. Proyecto Presa y Acueducto El Zapotillo*. Conagua. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/LIBROS%20BLANCOS/CONAGUA03%20Proyecto%20presa%20y%20acueducto%20El%20Zapotillo.pdf>
- Conagua. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero del Valle de León (1113), Estado de Guanajuato*. Conagua. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103022/DR_1113.pdf
- Conagua. (2020a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Silao-Romita (1110), Estado de Guanajuato*. Conagua. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/guanajuato/DR_1110.pdf
- Conagua. (2020b). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero del Valle de León (1113), Estado de Guanajuato*. Conagua. <https://sigaims.conagua.gob.mx/dam2>
- Concha, P., Campos, J., Lall, U., y Ennenbach, M. (2020). A citywide assessment of the financial benefits of rainwater harvesting in Mexico City. *Journal of American Water Resources Association*, 56(2), (pp. 247-269).
- Couto, I. y Hernández, A. (2012). Participación y rendimiento de la iniciativa privada en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la frontera México-Estados Unidos. *Gestión y Política Pública*, 21(1), (pp. 215-261).
- De Prada, C. (2003). La "racionalidad oculta" del Plan Hidrológico Nacional. *Archipiélago*, 57, (pp. 58-68).
- Gleason, J. (2014a). Household model of rainwater harvesting system in mexican urban zones. *Journal Southeast University*, 30(2), (pp. 175-180).
- Gleason, J. (2014b). *Sistemas de agua sustentables en las ciudades*. Trillas.

- Gleason, J., Corona, Y., y Casiano, C. (2020). Mexican rainwater harvesting movement in recent years. En Gleason, J. (Coord.), *International rainwater catchment systems experiences* (pp. 73.-82). IWA Publishing.
- Gleason, J. y Corona, Y. (2020). The importance of rainwater catchment systems. En Gleason, J. (Coord.), *International rainwater catchment systems experiences*. IWA Publishing, (pp. 3-11).
- Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN). (2020). *Programa Municipal de Desarrollo Urbano y de Ordenamiento Ecológico y Territorial de León, Gto. Versión Integral*. Instituto Municipal de Planeación. <https://www.implan.gob.mx/planeacion-estrategica.php#:~:text=Ecol%C3%B3gico%20Territorial%202020-,El%20Programa%20Municipal%20de%20Desarrollo%20Urbano%20y%20Ordenamiento%20Ecol%C3%B3gico%20y,condiciones%20ambientales%20y%20los%20asentamientos>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2020). *Resultados 2020 Censo de población y vivienda*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://censo2020.mx/>
- Karim, R., Sakib, S., Sakib, B., y Imteaz, M. (2021). Rainwater harvesting potenciales in commercial buildings in Dhaka: Reability and Economic Analysis. *Hydrology*, 8, 9, (pp. 2-16).
- Kniffen, B. (2020). Harvesting the potential. En Gleason, J. (Coord.), *International rainwater catchment systems experiences*. IWA Publishing, (pp. 31-40).
- Ortiz, J., Masera, O., y Fuentes, A. (2014). *La ecotecnología en México*. Unidad de Ecotecnologías. Imagia, CIECO, UNAM.
- Ortiz, J., Malagón, S., y Masera, O. (2015). Ecotecnología y sustentabilidad: una aproximación para el sur global. *Interdisciplina*, 3, (pp. 193-215).
- Paulín, J. (2021) *La gestión ambiental en la industria de autopartes de Querétaro*. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Perero, E. (2019). *Agua y Economía Circular*. CONAMA. <http://www.fundacionconama.org/wp-content/uploads/2019/09/Agua-y-Economi%CC%81a-Circular.pdf>
- Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental, S.A. DE C.V. (SICA). (2019). *Programa para la prevención y gestión integral de residuos en el municipio de León, Guanajuato (entrega Final)*. León: Sistema Integral de Aseo Público de León. <https://www.aseopublicoleon.gob.mx/copia-de-leyes-y-reglamentos-1>
- Tagle, D., Azamar, A., y Caldera, A. (2018). Cosecha de agua de lluvia como resiliencia hídrica para León, Guanajuato: una reflexión desde la Nueva Cultura del Agua. *Expresión Económica*, 40, (pp. 5-23).
- Tagle, D. (2020). Una mirada de la economía circular a los programas de reducción de residuos en León, Guanajuato ¿Soluciones concretas o paliativos ambientales? *Expresión Económica*, 44, (pp. 59-79).



- Tagle, D. y Caldera, A. (2021). Corporatización de tipo neoliberal en la gestión del agua en México. Lecciones de León, Guanajuato. *Tecnología y ciencias del agua*. http://www.revistatyca.org.mx/public/journals/1/documentos/2021/proximos_numeros/marzo_abril_2021/2490_final.pdf
- Vargas, D. y Lomnitz, E. (2020). Catalyzing the widespread adoption rainwater harvesting in Mexico City. En: J.A. Gleason (Coord), *International rainwater catchment systems experiences*. IWA Publishing, (pp. 107-118).
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2021) *Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030*. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050/resource/c39c7a5b-adb1-443e-8832-17ca0aa26510>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2019). *Sistemas de Información de Tarifas de Agua Potable*. Instituto Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (2021). <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://187.189.183.90/#>
- Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL). (2020). *Estaciones Metereológicas*. Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León. <https://www.sapal.gob.mx/est-meteorologicas>



ECONOMÍA CIRCULAR EN EL FLUJO DE MATERIAL AUTOMOTRIZ EN MÉXICO HACIA LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

*Maritza G. Ramírez Díaz**
*Claudia A. Cortés Escobedo***

Introducción

En la actualidad, el automóvil tiene una función importante en la vida de los seres humanos como es la necesidad de movilidad, pero además, crea una ilusión de independencia y libertad y estatus, esto, aunado a los patrones de producción y consumo actuales en materia automotriz que son insostenibles, hace necesario un cambio de paradigmas en la relación que tenemos con este tipo de productos.

* Becario Conahcyt del Instituto Politécnico Nacional.

** Docente e investigadora en los Programas de Maestría y Doctorado en Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional.

Los patrones de producción y consumo en general para la industria automotriz, están directamente relacionados con la sostenibilidad como fue concebida en 1987 por la Comisión Bruntland de la Organización de las Naciones Unidas (ONU): “Satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Bruntland, 1987). Sin embargo, esta concepción involucra diferentes percepciones según la capacidad con la que se cuente para satisfacer las necesidades presentes. Así, para los países desarrollados podría tener el significado de mantener el status socio-económico actual, mientras que para los países en vías de desarrollo las prioridades estarán dirigidas a satisfacer las necesidades actuales. En algunos países, esta diferencia genera un conflicto lingüístico entre la diferencia entre sostenibilidad, sustentabilidad y perdurabilidad, estas concepciones dejan de lado por una parte la conservación de la biósfera como base fundamental, tanto para asegurar la disponibilidad de recursos para satisfacer las necesidades humanas, como para absorber y asimilar los residuos y emisiones generadas por las actividades humanas, por otra parte, la perspectiva de ciclo de vida, que implica la contribución de los impactos en todas las etapas del ciclo de vida de un producto, que derivado de la globalización, cada etapa puede realizarse en distintas zonas geográficas.

Adicionalmente, el desarrollo de la técnica en la humanidad siempre ha ido ligado con un impacto en las transformaciones sociales (Medina, 2012). Sin embargo, este desarrollo de la técnica manifestada como innovación tecnológica puede utilizarse como una oportunidad de cerrar ciclos de flujos de materiales (Charter, 2019), intercambiando la minería urbana por la minería convencional, lo que supone ventajas económicas, ambientales y sociales,



sobre todo, en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible planteados, si se considera una perspectiva de ciclo de vida adecuada.

En particular, el caso del automóvil ha sido uno de los productos que ha tenido mayor impacto en dichas transformaciones sociales, incluso considerando uno de los avances tecnológicos de esta industria, "el fordismo", como hito en una de las revoluciones industriales en la historia de la humanidad.

En México solo se categorizan a los desechos automotrices dentro de rubros como residuos sólidos urbanos, metales, llantas, etc. (Cámara de diputados del H. Congreso de la unión, 2003), teniendo como consecuencia que no todos los flujos de materiales automotrices tengan una correcta gestión y aprovechamiento. Por esta razón, y considerando la reciente publicación de la Ley General de Economía Circular (Dirección General de Difusión y Publicaciones, 2021), se hace necesario establecer un marco metodológico para utilizar los principios de Economía Circular (EC) referentes a la generación de nuevos flujos de materiales que sustituyan la extracción de materia prima virgen (minería urbana), manteniendo los materiales en la tecnosfera el mayor tiempo posible, como recurso para el acercamiento a los objetivos del desarrollo sostenible.

En este marco metodológico se propone como un primer paso la clasificación de los sistemas automotrices de acuerdo con el potencial aprovechamiento de los materiales que los componen, considerando reducir el uso de recursos utilizando principios de manufactura esbelta y estrechando ciclos de materiales, además de ralentizar ciclos de uso mediante ecodiseño, reciclaje, reparación, reuso y remanufactura. En este trabajo se presenta una breve revisión sobre la evolución del uso de materiales en los automóviles, para luego revisar sus impactos ambientales y sociales en general, considerando la contribución



en los diferentes objetivos de desarrollo sostenible. Partiendo de una revisión de las normas referentes a la clasificación de residuos en México, se propone una clasificación de los componentes automotrices como base para la aplicación de los principios de EC; se presentan ejemplos de aplicación que podrían utilizarse para cada sistema en los diferentes principios de la EC.

Metodología

A partir de una búsqueda bibliográfica de los materiales y sistemas automotrices, además de la normatividad aplicable en México sobre el manejo de residuos y chatarra en la industria automotriz, se revisan y reportan los mecanismos de la EC como herramientas de sostenibilidad y se establecen propuestas para su aplicación.

El automóvil: Evolución e impacto

El desarrollo tecnológico dentro de la industria automotriz ha traído como resultado mejoras respecto a los materiales utilizados en el vehículo automotor, no obstante, este desarrollo ha sido basado mayormente en un modelo de economía lineal, lo cual ha influido directamente en el aumento de la generación de residuos, teniendo repercusiones económicas, sociales y ambientales (Cárdenas, 2013).

Evolución de los materiales utilizados en los vehículos

Inicialmente los principales materiales de los que el automóvil estaba construido eran la madera y el metal, modelo desarrollado por Nicolás Cugnot en 1769 denominado carronato, manteniéndose principalmente el metal y



sus aleaciones como material clave para la manufactura del automóvil hasta nuestros días debido a sus cualidades como resistencia mecánica, dureza y tenacidad, además de su abundancia en el planeta tierra. A pesar de esto, es necesario recalcar que los metales y sus derivados son recursos no renovables, lo cual ha repercutido en el aumento de la dificultad de su obtención y por consiguiente el alza en los costos económicos y ambientales que la extracción de materia prima virgen de dicho material conlleva.

Con el paso de los años, la relevancia de la industria automotriz se consolidó mediante la celebración del *Salón internacional del automóvil* en 1905, evento donde se establecieron Francia, Italia, Austria y Estados Unidos como principales países potencia en la construcción de automóviles.

Desde la creación del primer modelo de automóvil hasta el debut del evento conocido como *El Salón internacional del automóvil*, la principal adición en materia tecnológica al automóvil fue la incorporación del motor de combustión interna por Gottlieb Daimler en 1860, teniendo relevancia hasta la actualidad de manera que a pesar del descubrimiento de fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles; los automóviles con motor a gasolina siguen siendo los de más fácil acceso para la mayor parte de la población, repercutiendo directamente en la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero.

En 1939 se incorporaron los techos convertibles en los automóviles, para el año de 1967 se presentó al plástico como material alternativo en la manufactura de carrocerías, en 1977 se incorpora al aluminio como material en la producción de carrocerías y en 1988 aparece el primer sistema de seguridad reduciendo el riesgo de muerte en caso de impacto (Cárdenas, 2013).

La principal razón para la modificación de la estructura del automóvil respecto a sus materiales fue la crisis energética de los años setenta,



cambiando el peso de los vehículos debido a la necesidad de disminuir la cantidad de combustible empleado, siendo este un antecedente importante para ejemplificar la importancia de industrias cada vez más sostenibles, cuyos modelos no se encuentren basados en la dependencia total de materias primas vírgenes y combustibles fósiles, demostrando que pese a que el concepto de sostenibilidad puede considerarse como algo relativamente nuevo, existen ejemplos a lo largo de la historia de diversas industrias de estrategias de mejora que buscaban la satisfacción de las necesidades de la época, mientras disminuían el compromiso de las posibles necesidades futuras del mercado (Ramos, 2018).

Las nuevas necesidades de los usuarios y la industria del vehículo automotor incentivaron la sustitución de materiales, implementando el uso de materiales cerámicos y polímeros en diferentes sistemas automotrices.

Impacto ambiental y social del automóvil

La evolución del automóvil también ha traído consigo aumento en el impacto ambiental en materia de agotamiento de materias primas y diversos tipos de contaminación, razón por la que se han establecido mecanismos de regulación que eviten el daño ambiental.

La preocupación respecto a la contaminación generada por la industria automotriz se ha enfocado principalmente en la disminución de emisiones contaminantes del aire durante su uso, no obstante, en México no se le ha dado la debida importancia al problema que los restos de un vehículo representan para la contaminación.

El avance en la industria automotriz ha repercutido socialmente en diversos aspectos, ya que ha otorgado al ser humano la facilidad de transportarse, estando



posicionada actualmente como una de las industrias más importantes a nivel mundial, pero trayendo consigo daños irreversibles tales como el agotamiento de materias primas no renovables consecuencia de un modelo de economía lineal, emisión a la atmósfera de gases tóxicos, contaminación y erosión de suelos provocado con la generación y mala administración de residuos, riesgos para la salud pública como incubadores de plagas, desequilibrio en flora y fauna, además de representar pérdidas económicas importantes, ya que el costo de la minería urbana siempre será menor al provocado por la extracción de materia prima virgen (Cárdenas, 2013).

Los instrumentos de regulación ambiental son aplicados de manera diferente en cada país, al contar con leyes, acuerdos y normativas propias de cada gobierno, aumentando el grado de complejidad en la aplicación de una gestión apropiada del flujo de material automotriz.

Clasificación actual de residuos en México (SEMARNAT)

El problema ambiental que significan los desechos y la falta de un adecuado sistema para gestionarlos es una situación que se hizo presente hace décadas y desde entonces se han creado diferentes estrategias para combatir su constante avance.

La normatividad mexicana se ha ido actualizando constantemente tomando como base la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo*, realizada en Río de Janeiro en junio de 1992 y muchas otras que han tenido lugar a lo largo de los años. Sin embargo, encuentra su base principal en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos pues es de esta que se derivan todos los documentos legislativos vigentes en la nación.



El 08 de octubre de 2013, en el Diario Oficial de la Federación fue publicada la *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos* (LGPGIR), la cual funge actualmente como la máxima ley en gestión de residuos en México (Cámara de diputados del H. Congreso de la unión, 2003).

La LGPGIR tiene como principal objeto la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así mismo, el artículo quince de dicha ley agrupa y subclasifica los residuos en peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial.

A continuación, se presentan los criterios en los que se categorizan los residuos de acuerdo con la norma antes mencionada.

Residuo peligroso

La SEMARNAT define en su glosario a un residuo peligroso como aquel que posee alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio (SEMARNAT, 2015). Se establecerá en las normas oficiales mexicanas que especifiquen la forma de determinar sus características, que incluyan los listados de estos y fijen los límites de concentración de las sustancias contenidas en ellos, con base en los conocimientos científicos y las evidencias acerca de su peligrosidad y riesgo (SEMARNAT, 2002a), (SEMARNAT, 2002).

La NOM-052-SEMARNAT-2005, "Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos", permite al generador de los residuos identificar si sus desechos son nocivos a partir de los criterios que se resumen a continuación (SEMARNAT, 2005).



Residuos de la industria minera metalúrgica

Acorde a la SEMARNAT, dentro de los residuos de la industria minera metalúrgica, se clasifican todos los residuos provenientes de las actividades relacionadas con la extracción de minerales de metales, su obtención, fundición, refinado, laminación, elaboración de productos, tratamientos térmicos de metales y de reciclado de materiales (SEMARNAT, 2017a).

Residuos sólidos urbanos (RSU)

Son definidos por la SEMARNAT como los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (SEMARNAT, 2017b).

El artículo 18 de la LGPGIR establece que los residuos sólidos urbanos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, de conformidad con los Programas Estatales y Municipales para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos, así como con los ordenamientos legales aplicables (SEMARNAT, 2013).

- Orgánicos: Todo desecho de origen biológico que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo.
- Inorgánicos: Todo desecho que no es de origen biológico.



Residuos de manejo especial (RME)

Los RME son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (SEMARNAT, 2013).

Para que las Entidades Federativas soliciten la clasificación de manejo especial para uno o varios residuos, se deberá cumplir con los siguientes criterios (2.4.1 o 2.4.2).

2.4.1 Que se generen en cualquier actividad relacionada con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios, y que no reúnan características domiciliarias o no posean alguna de las características de peligrosidad en los términos de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (SEMARNAT, 2005).

2.4.2 Que sea un Residuo Sólido Urbano generado por un gran generador en una cantidad igual o mayor a 10 toneladas al año y que requiera un manejo específico para su valorización y aprovechamiento.

Pero invariablemente deberá cumplirse con el criterio establecido en el 2.4.3, de la NOM-161-SEMARNAT-2011 (SEMARNAT, 2013).

2.4.3 Que sea un residuo, incluido en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos de una o más Entidades Federativas, o en un Estudio Técnico-Económico.

De esta clasificación se desprende que la propuesta de clasificar los materiales automotrices de acuerdo con sus funciones o sus sistemas podría incorporarse a través de un estudio técnico-económico derivado de la sección 2.4.3, aplicable a la industria automotriz como residuos de manejo especial.

Economía circular como instrumento para la sostenibilidad

Durante los años setenta surgen los primeros conceptos relacionados con la economía circular, a la par de las primeras instituciones encargadas de su estudio, no obstante, el concepto logró ser consolidado hasta los años noventa. Como principales exponentes del tema se encuentran autores como Walter Stahel, Willian McDonough, Michael Braungart, Janine Benyus, Reid Lifset, Thomas Graedel y Gunter Pauli, entre otros; de manera que gracias a los trabajos de dichos autores fue posible establecer las primeras nociones de economía circular (Heriz, 2018).

La EC se genera a partir de un cambio de paradigma respecto a las consecuencias del modelo de sobreexplotación lineal de la mano con los primeros movimientos ambientalistas y la economía verde, comprendiendo que el desarrollo económico y social basado en este modelo es insostenible y por lo tanto, ofreciendo una relación entre el medio ambiente y el sistema económico, el cual impulsa un sistema de recirculación de recursos que puede ser implantado en los niveles micro, meso y macro.

Es así como se debe comprender a la EC, la cual no es una solución completa a todos los problemas del modelo económico lineal pero cuya versatilidad aplicativa permite contribuir en la recuperación de recursos, extensión de vida de productos, reducción de desperdicios, eficiencia de los sistemas, disminución de impactos y la ecología industrial.

Los principios de la EC son variados y buscan estimular el desarrollo económico, entre los cuales destaca la valorización de residuos como fuente de materias primas secundarias, convirtiéndolos así en flujo de material alternativo a la extracción de materia prima virgen, además de proponer un nuevo modelo

que tiene como objetivo la eficiencia del uso de los recursos, principios que se pueden integrar para contribuir al desarrollo económico, social y ambiental.

La ONU define al desarrollo sostenible como *“la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.”* (Informe titulado «Nuestro futuro común» de 1987, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo), cuyos pilares principales son el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente (onu, s. f.).

Gracias a la celebración de la Cumbre de las Naciones Unidas el 25 de septiembre de 2015, líderes de más de ciento cincuenta países aprobaron el documento titulado *“Transformar Nuestro Mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”*, dentro del cual se homologan los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), siendo estos mecanismos que buscan disminuir las brechas mediante un trabajo conjunto de la población y los dirigentes enfocados, entre los cuales se destacan algunos de estos principios por su compatibilidad con los principios de la EC.

Características de la economía circular (Soto, 2019)

- Es holística, regenerativa y conjetura cambios en la mentalidad colectiva de la sociedad, mediante la concientización e implantación de nuevos hábitos.
- Esta interrelacionada con la responsabilidad social de todos los gobiernos, empresas y la población general.
- Es un modelo orientado a la futura permanencia.
- Está basada en la eficiencia.
- Prioriza la utilización de materias y procesos renovables.
- Es un modelo viable.

Objetivos del Desarrollo Sostenible compatibles con la aplicación de los principios de la economía circular en la industria automotriz

La EC se basa en principios interrelacionados con la sostenibilidad ya que confluyen aspectos ambientales, económicos y sociales, si bien el concepto de economía circular no se encuentra plasmado directamente dentro Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), la economía circular contribuye en su consecución, mediante instrumentos que incorporan: reutilización, reciclaje, apertura del flujo de material, reducción de emisiones, optimización de vida útil, entre otros.

Los ODS compatibles con la aplicación de los principios de la EC en la industria automotriz son: 9. Industria, innovación e infraestructura, 11. Ciudades y comunidades más sostenibles y 12. Producción y consumo responsables. Dichos objetivos cuentan con una serie de indicadores para el adecuado monitoreo a través de los años hasta 2030. A continuación, se mencionan los indicadores que inciden directamente en la aplicación de la economía circular de la industria automotriz. (ONU, 2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G. 2681-P/Rev. 3), Santiago) (ONU México, s. f.).

Industria, innovación e infraestructura.

La construcción de infraestructuras resilientes tiene como objetivo la promoción de la industrialización inclusiva y sostenible, al mismo tiempo fomentar la innovación.

El crecimiento económico y desarrollo social se encuentran directamente relacionados con el desarrollo industrial sostenible, de manera que el



crecimiento industrial debe contar con infraestructuras resilientes y el respaldo de la innovación; la aspiración de las industrias a la sostenibilidad impactará positivamente en la mejora del nivel de vida y el ambiente.

La aplicación de los principios de la economía circular depende directamente del desarrollo industrial, donde al ser la industria automotriz una de las más sólidas a nivel mundial y cuya infraestructura se encuentra presente en diversos países como México, persiste la necesidad de que las innovaciones en este sector sean encaminadas a la sostenibilidad.

Las metas de este indicador compatibles con los principios de la economía circular aplicables en la industria automotriz derivadas son (ONU México, s. f.):

- Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.
- Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto (PIB), de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados.
- De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

Ciudades y comunidades sostenibles.

En este caso el objetivo presentado por las ONU es lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, de acuerdo con la información presentada, se estima que poner en marcha prácticas sostenibles respecto al uso del transporte tendrá costos mínimos en comparación con los beneficios, si bien este principio tiene relación con otros aspectos, las metas compatibles con los principios de la economía circular en la industria automotriz únicamente son las relacionadas con el transporte y gestión de desechos.

Las metas compatibles con los principios de la economía circular aplicables en la industria automotriz relacionadas con este indicador son (ONU México, s. f.):

- De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad avanzada.
- De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo *per cápita* de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

Producción y consumo responsables.

El principio de este objetivo está relacionado con la garantía de la sostenibilidad en las modalidades de consumo y producción; los recursos naturales existentes son limitados por lo que se propone un cambio para disminuir el costo ambiental, proponiendo la reducción de desechos y la producción sostenible.



Aunque algunas metas de este principio se encuentran relacionadas principalmente con el consumo alimentario y eléctrico a nivel mundial, es aplicable en la industria automotriz de manera que la gran mayoría de la población es consumidora directa o indirectamente del sector automotriz y aunque una gran parte de la sostenibilidad depende de la industria es necesario recalcar que la sociedad también juega un papel importante en la generación de residuos.

Las metas compatibles con los principios de la economía circular aplicables en la industria automotriz son (ONU México, s. f.):

- Aplicar el Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, con la participación de todos los países y bajo el liderazgo de los países desarrollados, teniendo en cuenta el grado de desarrollo y las capacidades de los países en desarrollo.
- De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
- De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

Aplicación de los principios de economía circular como alternativa para el flujo de materiales en la industria automotriz.

La EC surgió como una alternativa a la economía lineal, integrando gran variedad de principios, objetivos y estrategias (Schwanholz y Leipold, 2020) considerándose como una economía industrial restaurativa y regenerativa por concepto, intención y diseño (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Lieder y Rashid, 2016). Con esto en mente y en el marco de la mejora en la gestión de residuos en el sector automotriz, se propone otorgar un valor a los residuos para



su conversión en materia prima utilizando los principios de la EC propuestos por Geissdoerfer y Martínez, también conocidos como las 6R (Reutilizar, Reciclar, Rediseñar, Remanufacturar, Reducir y Recuperar) (Geissdoerfer *et al.*, 2017; Martínez *et al.*, 2021).

Con base en las contribuciones anteriormente mencionadas, a continuación, se presentan algunos ejemplos de aplicabilidad de los principios de la economía circular en la industria automotriz.

Reducir el uso de materias primas, energía, materiales y otros recursos durante la fabricación, las emisiones y la generación de residuos.

Como se menciona en el apartado *Evolución de los materiales utilizados en los vehículos*, el automóvil se ha ido adaptando a las necesidades de su mercado, siendo un ejemplo de la reducción del uso de materias primas y otros recursos la sustitución por materiales plásticos en algunos de sus componentes para la disminución del peso del automóvil a causa de la crisis energética de los años sesenta, teniendo como consecuencia directa la disminución en el uso de combustibles (Ramos, 2018), demostrando la posibilidad de cambios en el rubro de *Industria, innovación e infraestructura*, a pesar de la poca homologación de conceptos sobre los temas de economía circular y sostenibilidad a través de la aplicación del principio de reducción.

Propuestas:

- Incentivar el uso de energías renovables tanto en el proceso de manufactura como en la etapa de uso del automóvil como sistemas de recarga eléctrica, de hidrógeno o híbridos (Sagaria *et al.*, 2022; Zarzavilla *et al.*, 2022).



- Reducción de consumo de combustible y políticas de eficiencia energética en todo el ciclo de vida del automóvil (Srisakda *et al.*, 2022).
- Desarrollar estrategias para la disminución de emisiones en los diversos procesos que van desde la extracción de materia prima hasta la chatarrización, mediante selección de proveedores locales y priorizando proveedores con buenas prácticas de eficiencia energética (Klemm y Wiese, 2022).
- Reducir el peso de los vehículos para reducir el uso de combustible (Gonçalves *et al.*, 2022).

Reutilizar productos finales o sus componentes.

Además de los impactos anteriormente mencionados la industria automotriz repercute directamente en la aparición de conflictividades sociales como lo son el hurto de vehículos y tráfico ilegal de autopartes usadas, siendo estos delitos de los que más valor económico se genera (Sain, 2004, Dónnola, 2008) , exponiendo que el mercado de autopartes usadas es uno de los más prolíficos debido a las dificultades económicas que representa la manutención de un automóvil relacionadas con las desigualdades de la población, convirtiendo este en el principio de más fácil aplicación pero relacionado directamente con cifras negras y delincuencia (Rodríguez, 2016).

Propuestas:

- Incentivar el mercado de autopartes usadas extrayendo las que no hayan finalizado su ciclo de vida útil de los autos que son considerados *chatarra*.



- Elaborar estrategias para visibilizar este tipo de piezas como una oportunidad para el comercio para reducir las desigualdades provenientes de la tenencia y mantenimiento del automóvil (Rodríguez, 2016).
- Evaluar los automóviles en deshuesaderos para revisar las partes que pueden ser usadas en autos en reparación (Pérez y Fonseca, 2018).
- Promover políticas públicas que permitan la revisión periódica de autos abandonados, mediante reportes de corralones, vía pública y viviendas para la recirculación de las autopartes funcionales (Cruz y Ertel, 2010).

Reciclar.

Se estima que 76 % del residuo automotor puede reciclarse fácilmente debido a su constitución principalmente por hierro y acero, de manera que existen mercados establecidos que utilizan chatarra metálica como insumo, sin embargo, no existen mercados importantes de materiales reciclados dentro de la industria automotriz pese a iniciativas como la *Directiva 2000/54/EC* sobre vehículos que llegan al final de su vida útil aprobada por el Parlamento de la Unión Europea (Álvarez, 2004).

Propuestas:

- Utilizar los metales y otros materiales propios de autos considerados chatarra como fuente de materia prima (Rojas y Quishpe, 2019; Palola *et al.*, 2022).
- Análisis de las características del vehículo que para identificar mejoras que permitan reducir el impacto de la fabricación, embalaje y transporte mejorando, propiciando su reciclabilidad a través del ecodiseño (Sánchez *et al.*, 2019).
- Reglamentación relacionada con el reciclaje de autopartes (Flores, 2013).

- Evaluación de resultados con parámetros del Análisis de Ciclo de Vida que comparen la cantidad de emisiones de la manufactura propia del modelo lineal versus el reciclaje (Chang y Munguia, 2016; Xia y Li, 2022; Liu *et al.*, 2022).
- Rediseñar nuevos productos que utilizaran componentes, materiales y recursos recuperados de un ciclo de vida anterior (Betancourt y Solano, 2016; Bahaloo y Mousavi, 2022; Stelzer *et al.*, 2022; Tong *et al.*, 2022).

Rediseñar.

A causa de los requerimientos establecidos por la Directiva 2000/54/EC, para la industria automotriz algunas empresas innovaron en materia de producto y producción, implementando el diseño para el desensamble y reciclaje, las cuales van desde estudios sobre el ciclo de vida y materiales hasta manuales para el desensamble de componentes (Cruz y Ertel, 2010).

Propuesta:

- Rediseñar automóviles para compatibilizar autopartes de diferentes modelos, aumentar la facilidad de desmontaje de separación para facilitar la gestión de residuos y reciclaje.
- Ecodiseño (Sun *et al.*, 2022).
- Optimización de espacio para la reducción de peso del automóvil y por ende la reducción del uso del combustible (Ramos, 2018).
- Alargar la vida útil del automóvil y sus componentes (Romero, 2019).

Recuperar.

El vehículo automotor está compuesto por diversos sistemas, subsistemas y componentes, razón por la cual existe la posibilidad de recuperación de diversos tipos de materiales, como ejemplo podemos mencionar la recuperación de

algunos metales a partir del convertidor catalítico del automóvil (Amante *et al.*, 2010; Valero *et al.* 2014), sin embargo, como pasa con otros principios de EC, tampoco existen mercados a gran escala.

Propuestas:

- Utilizar los deshuesaderos automotrices como un área de oportunidad para la correcta gestión de residuos que utilicen los vehículos cuya vida útil ha concluido como un nuevo flujo de material (Weissman, 2020; Allon *et al.*, 2020).
- *Upcycling* (Korley *et al.*, 2021).
- *Downcycling* (Ortego *et al.*, 2018).

Remanufacturar.

Como antecedente de la aplicación de dicho principio en el sector automotriz se puede citar la planta industrial en Choisy-le Roi, Francia, de la compañía Renault, donde se practica la reingeniería en autopartes usadas, logrando una reducción de 80 % en consumo energía, 88 % en el consumo de agua y 77 % en la generación de residuos con relación al modelo tradicional de producción (Lett, 2014).

Propuestas:

- Concientizar a las empresas ensambladoras automotrices respecto a los beneficios económicos y ambientales de la remanufactura de piezas, para ofrecer opciones más baratas que sean más accesible para la población consumidora (Rivera, 2018).
- Evaluar la sustentabilidad de los diversos procesos de remanufacturación para determinar cuáles son ambiental y económicamente viables (Salazar *et al.*, 2015).

- Categorización de productos remanufacturados para el conocimiento de sus características (Aguilar *et al.*, 2015).
- Incentivar la creación de empresas de remanufactura automotriz (Villalba y Granados, 2016; Gunasekara y Gamge, 2021; Jaca *et al.*, 2018).

Alargar la vida útil.

Los sistemas de préstamo de servicios en la actualidad han cobrado importancia como una característica de la modernidad líquida (Bauman, 2003), un ejemplo son los proveedores de servicios de transporte privado (taxis, Uber, etc.), así como los servicios de renta de autos, que podrían ser una oportunidad de implementación de un sistema de control de flujo de materiales a través del control automotriz utilizando las plataformas empresariales de los sistemas de renta.

Propuestas:

- Implementar un sistema de control de autopartes bajo los principios de economía circular en empresas de renta de autos y servicios de transporte privado con autos "ecoeficientes" para alargar la vida útil de las autopartes (Gulzari *et al.*, 2022).

Las propuestas planteadas permiten tener distintas alternativas para aplicación de la EC, algunas de ellas muy recientes, para optimizar el flujo de materiales permitiendo su permanencia dentro de la tecnosfera. Sin embargo, uno de los problemas digno de ser revisado es la gobernanza requerida para la aplicación de estas alternativas. Además, es recomendable realizar un análisis de ciclo de vida, considerando las dimensiones social, ambiental y económica para asegurar la viabilidad, equidad y habitabilidad de cada una

de las propuestas. Para asegurar su aplicación, sería de utilidad realizar una clasificación de los sistemas automotrices con base en los materiales utilizados y la usabilidad y frecuencia de fallo de los sistemas para poder canalizarlos en las diferentes alternativas de flujo de materiales y sistemas. Incluso podría utilizarse inteligencia artificial y minería de datos para canalizar cada uno de los componentes automotrices.

Reflexiones Finales

La aplicación de los principios de la EC respecto a las materias primas en la industria automotriz es posible, de manera que se han encontrado ejemplos de la aplicación de las 6R en dicha rama desde antes de que existiese un concepto bien establecido de la EC, sin embargo, el establecimiento de dicha conceptualización permitirá englobar diversas rutas a la sostenibilidad en la industria automotriz, además, pese a la existencia de casos de éxito en dicha aplicación son mercados poco explorados aun en la actualidad.

Por otra parte, es necesario establecer una clasificación de residuos automotrices para poder implementar acciones que permitan cerrar ciclos de flujo de materiales, así como incluir políticas y cambios en la normativa del rediseño de los automóviles, incrementando la duración de sus partes para poder hacerlas reparables, remanufacturables y de fácil mantenimiento, por consiguiente, hacer más eficiente el uso de recursos que permitan su reuso y reciclaje al final de su ciclo de vida.

Es imposible eliminar la dependencia del automóvil y la realización de un cambio radical respecto al consumo dentro de la industria automotriz, siendo



la solución más viable el encaminarse hacia la sostenibilidad a través de herramientas como la economía circular, ya que pese a que siempre existirá un costo ambiental y económico en la aplicación de estos principios este es menor en la mayoría de los casos al costo de la implementación de materia prima virgen, recalcando la importancia de la comprensión de los aspectos sociales implicados en el camino hacia una industria más sostenible, ya que en países como México la manutención del automóvil y sus implicaciones son de difícil acceso para la mayoría de la población, es así como la aplicación de los principios de la economía circular podría ser un camino hacia la eliminación de desigualdades sociales en materia de transporte.

La EC es una pieza clave para la sostenibilidad pero cuya aplicación sólo será posible gracias al cambio de paradigma respecto a los materiales y productos como parte de un ciclo continuo para la formación de nuevos sistemas, el desarrollo a partir de la adaptación de los sistemas ya existentes, el uso de energías renovables y un pensamiento colectivo que busque un beneficio global, con ejemplos de aplicación en diversos países como los pertenecientes a la Unión Europea, además de impulsarse en México mediante la reciente aprobación de la *Ley General de Economía Circular (LGEC)*, en la cual se promueve la adopción de un nuevo modelo de producción y aprovechamiento de los recursos con el objetivo de preservar y disminuir los impactos del medio ambiente (Dirección General de Difusión y Publicaciones, 2021).

La aplicación de la EC es posible dentro del sector automotriz gracias a la versatilidad de su implementación que puede ir desde la mejora de procesos internos, hasta una aplicación global (Jaca *et al.*, 2018) como lo son los objetivos del desarrollo sostenible. Si bien en México no se ha reparado en considerar la mayoría de las consecuencias negativas a gran escala, propias

de años de implementación de una economía lineal, sí se puede contribuir a la reducción de estas consecuencias para las generaciones futuras, pero esto no será posible sin antes comprender de forma sistémica las implicaciones ambientales, sociales y económicas de este enfoque lineal.

Referencias

- Aguilar, M., Medina, M., Leal, J., y Borbón, M. (2015). Categorización de los productos regresados para la remanufactura utilizando Metodología Bayesiana. *Congreso Internacional de Investigación Academia Journals*. <http://dspace.aeipro.com/xmlui/handle/123456789/616>
- Allon, F., Barcan, R., y Eddison, K. (2020). *The temporalities of waste*. 1st ed. Ed. Routledge.
- Álvarez, M. (2004). Política ambiental y su impacto en la innovación tecnológica y organizativa: el reciclaje de vehículos automotores. *Contaduría y Administración*, 213, 73–98.
- Amante García, B., Lacayo Vidal, A., Piqué Miserachs, M., y López Grimau, V. (2010). Gestión de residuos a lo largo del ciclo de vida de un automóvil. *Afinidad: revista de química teórica y aplicada*, 67(549), (pp. 342-348).
- Bahaloo, N., y Mousavi, S. (2022). Efficient extraction of critical elements from end-of-life automotive catalytic converters via alkaline pretreatment followed by leaching with a complexing agent. *Journal of Cleaner Production*, (p. 344), 131064.
- Bauman, Z. (2003) *Modernidad líquida*. Trad. Rosemberg, M. Ed. Fondo de cultura económica.
- Bejarano, R., y Torres, N. (2012). Globalización, tecnociencias y culturas relacionales. *Revista Logos, Ciencia y Tecnología*, 4(1), (pp. 107-120).
- Betancourt, D., y Solano, J. (2016). Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (icopor) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes. *Luna azul*, (43), (pp. 286-310).
- Brundtland, G. (1987) *Our common Future*. Oxford University Press. (Trad. en castellano, Nuestro futuro común, Madrid, Alianza Ed., 1988).
- Cámara de diputados del H. Congreso de la unión. (03 de octubre de 2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Diario Oficial de la Federación 18-01-2021. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf
- Cárdenas, C. (2013). El automóvil y su impacto ambiental y psicosocial. *SCHEMA*, 3, (pp. 136–155).
- Chang, K., y Munguía, N. (2016). *Análisis de ciclo de vida en la manufactura de escapes automotrices* [Tesis de maestría, Universidad de Sonora]. <http://repositorioinstitucional.unison.mx/handle/20.500.12984/4135>
- Charter, M. (2019). *Designing for the Circular Economy*. Routledge.
- Cruz, R., y Ertel, J. (2010). Propuesta de configuración de redes de recolección de autos al final de su vida útil en México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 26(2), (pp. 135-149).
- Dirección General de Difusión y Publicaciones (2021). Ley General de Economía Circular. Dirección General de Difusión y Publicaciones. <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/5431>



- Dónnola, J. (2008). *Desarmaderos. Marco normativo e investigación judicial*. Ed. Nova Tesis.
- Ellen MacArthur Foundation (2013). *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation. 1, (p. 7).
- Flores, D. (2013). *Diseño de un centro de reciclaje y fragmentación de vehículos siniestrados y declarados pérdida total por las aseguradoras según normas INEN en el Ecuador* [Tesis de doctorado, Universidad Internacional SEK] <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/657>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., y Hultink, E. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*. 143, (pp. 757-768).
- Gonçalves, M., Monteiro, H., e Iten, M. (2022). Life Cycle Assessment studies on lightweight materials for automotive applications - An overview. *Energy reports*. 8, (pp. 338-345).
- Gulzari, A., Wang, Y., y Prybutok, V. (2022). A green experience with eco-fiendly cars: a young consumer electric vehicle rental behavioral model. *Journal of Retailing and Consumer Services*. (65) 102877.
- Gunasekara, H., y Gamage, J. (2021). Remanufacture for sustainability: a comprehensive business model for automotive parts remanufacturing. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(6) (pp. 1386-1395).
- Heriz, B. (2018). *Economía circular: Un nuevo modelo de producción y consumo sostenible*. Tebar Flores.
- Jaca, C., Ormazábal, M., Prieto, V., Santos, J., y Viles, E. (2018). *Economía Circular. Guía para PYMEs*. Ediciones Universidad de Navarra, S.A. (EUNSA).
- Klemm, C., y Wiese F. (2022). Indicators for the optimization of sustainable urban energy systems based on energy system modeling. *Energy, Sustainability and Society*, 12(1),
- Korley, L., Epps, T., Helms, B., y Ryan, A. (2021). Toward polymer upcycling—adding value and tackling circularity. *Science*, 373(6550), (pp. 66-69).
- Lett, L. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), (pp. 1-2).
- Lieder, M., y Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, (pp. 36-51).
- Liu, J., Daigo, I., Panasiuk, D., Dunuwila, P., y Hamada, K. (2022). Impact of recycling effect in comparative life cycle assessment for materials selection – A case study of light-weighting vehicles. *Journal of Cleaner Production*, (349), 131317.
- Martínez, G., Sánchez, J., Molina, V., Utrilla, P., e Izquierdo, M. (2021). *Economía Circular: Fundamentos y aplicaciones*. Thomson Reuters.
- Organización de las Naciones Unidas México (ONU México). (s. f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. ONU México. <https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>



- ONU. (s. f.). *Ciudades y comunidades sostenibles*. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- ONU. (s. f.). *Consumo y producción sostenibles*. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- ONU. (s. f.). *Desarrollo sostenible*. Asamblea General de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- ONU. (s. f.). *Industria, innovación e infraestructura*. Objetivos de Desarrollo Sostenible <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- Ortego, A., Valero, A., Valero, A., e Iglesias, M. (2018). Downcycling en el proceso de reciclaje de automóviles: una evaluación termodinámica. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 136, (pp. 24-32).
- Palola, S., Laurikainen, P., García, S., Astorkia, E. G. y Sarlin, E. (2022). Towards sustainable composite manufacturing with recycled carbon fiber reinforced thermoplastic composites. *Polymers*, 14 (6), 1098.
- Pérez, E., y Fonseca, J. (2018). *Expansión comercial de autopartes a Centro América de Éxodo V y P. S.A.S.* Fundación Universitaria de la Cámara de Comercio de Bogotá UNIEMPRESARIAL. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/20894>
- Ramos, V. (2018). Evolución del uso de los materiales plásticos en la industria automotriz. *INNOVA Research Journal*, 3(12), (pp. 17-27).
- Rivera, J. (2018). *La remanufactura aplicada en el mantenimiento del transporte integrado para la reducción de costos* [Tesis de licenciatura, Fundación Universidad de América]. <http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/7081>
- Rodríguez, E. (2016). La sustracción de vehículos y el tráfico ilegal de autopartes usadas en Argentina. Delitos de pobres, poderosos y sectores medios. *Delito y Sociedad*, 1(35), 49-83.
- Rojas, G., y Quishpe, J. (2019). Una visión deontológica al consumo y reciclaje de plásticos de la industria automovilística. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* (mayo 2019). <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/05/vision-deontologica-plasticos.html>
- Romero, R. (2019). *Desarrollo de un biopolímero a base de colágeno para aplicaciones automotrices* [Tesis de doctorado, CIATEQ]. <https://207.249.123.233/jspui/handle/1020/377>
- Sagaria, S., Duarte, G., Neves, D., y Baptista, P. (2022). Photovoltaic integrated electric vehicles: Assessment of synergies between solar energy, vehicle types and usage patterns. *Journal of Cleaner Production*. 348, 131402.
- Sain, M. (2004). *Un estado fallido ante las nuevas problemáticas delictivas. El caso argentino*. Documento de Trabajo N° 119, Universidad de Belgrano. http://www.ub.edu.ar/investigaciones/dt-nuevos/119_sain.pdf

- Salazar, E., Capuz, S., Arredondo, K., de Reza, S., y Mier, I. (2015). *Caracterización de la remanufactura en el contexto de la frontera norte de México. 19th International Congress on Project Management and Engineering Granada*. <http://dspace.aeipro.com/xmlui/handle/123456789/616>
- Sánchez, E., Castillo, E., Bravo, V., Abarca, E., y Montufar, P. (2019). Análisis del proceso de manufactura mediante proceso CAD-CAM de un molde para materiales compuestos para la industria automotriz. *Ciencia Digital*, 3(2), (pp. 620-635).
- Schwanholz, J., y Leipold, S. (2020). Sharing for a circular economy? An analysis of digital sharing platforms' principles and bussiness models. *Journal of Cleaner Production*. 269, 122327.
- SEMARNAT. (2002). *Normas Oficiales Mexicanas: Impacto ambiental. Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial*. https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas.2000/compendio.2000/04dim.institucional/04_02.Normatividad/data_normatividad/RecuadroIV.2.8.htm
- SEMARNAT. (2002a). *Normas Oficiales Mexicanas: Residuos (Peligrosos, sólidos municipales y biológico-infecciosos)*. *Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial*. http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas.2000/compendio.2000/04dim.institucional/04_02.Normatividad/data_normatividad/RecuadroIV.2.4.htm
- SEMARNAT. (2005). *Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos*. Diario Oficial de la Federación. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>
- SEMARNAT. (01 de febrero de 2013) *Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo*. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-semarnat-2011.pdf>
- SEMARNAT. (7 de diciembre de 2015). *Glosario de educación ambiental*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/glosario-de-educacion-ambiental#:~:text=Contaminaci%C3%B3n%3A%20Deterioro%20o%20desequilibrio%20de,esferas%20f%C3%ADsica%20de%20la%20Tierra>
- SEMARNAT. (1 de marzo de 2017). *Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial*. Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial>
- SEMARNAT. (10 de enero de 2017). *Clasificación, reciclaje y valoración de los RSU*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/clasificacion-reciclaje-y-valoracion-de-los-rsu>



- SEMARNAT. (2018). *Glosario*. Gobierno de México. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/compendio_2019/RECUADROS.INT.GLOS/D3.GLOS.SITIOS.htm#:~:text=Residuo,Residuos%20de%20manejo%20especial.
- Soto, M. (2019). *Objetivos de desarrollo sostenible y economía circular. Desafíos en el ámbito fiscal*. COMARES.
- Srisakda, N., Sumitsawan, P., Fukuda, A., Ishizaka, T., y Sangsrichan, C. (2022). Reduction of vehicle fuel consumption from adjustment of cycle length at a signalized intersection and promotional use of environmentally friendly vehicles. *Engineering and Applied Science Research*. 49(1), (pp. 18-28).
- Stelzer, P., Cakmak, U., Eisner, L., Doppelbauer, L., Kállai, I., Schweizer, G., Prammer, H., y Major, Z. (2022). Experimental feasibility and environmental impacts of compression molded discontinuous carbon fiber composites with opportunities for circular economy. *Composites Part B: Engineering*, (234), 109638.
- Sun, S., Jin, Ch., He, W., Li, G., Zhu, H., y Huang, J. (2022). A review on management of waste three-way catalysis and strategies for recovery of platinum group metals from them, *Journal of Environmental Management*, (305), 114383.
- Tong, X, Dai, H., Lu, P., Zhang, A., y Ma, T. (2022). Saving global platinum demand while achieving carbon neutrality in the passenger transport sector: linking material flow analysis with integrated assessment model, *Resources, Conservation y Recycling*, (179), 106110.
- Valero, F., Ovando, E., y Valenzuela, O. (2014). *Estudio para la recuperación de platino a partir de residuos catalíticos de automóviles* [tesis de doctorado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9472>
- Villalba, R. y Granados, K. (2016). *Creación de empresa remanufactura de partes para vehículos comerciales* [tesis de maestría, Universidad EAN]. <http://hdl.handle.net/10882/8938>.
- Weissman, D. (2020). Landfill urbanism: opportunistic ecologies, wasted landscapes. *Detritus*, (11) (pp. 19-34).
- Xia, X., y Li, P. (2022). A review of the life cycle assessment of electric vehicles: considering the influence of batteries. *Science of the Total Environment*, (814), 152870.
- Zarzavilla, M., Quintero, A., Abellán, M., Serrano, F., Austin, M., y Tejedro, N. (2022). Comparison of Environmental Impact Assessment Methods in the Assembly and Operation of Photovoltaic Power Plants: A Systematic Review in the Castilla—La Mancha Region. *Energies*.15(5), 1926.





REFLEXIONES PARA EL DEBATE

En este libro se propuso analizar la relación entre la sustentabilidad y el impulso que tiene sobre los procesos de innovación y tecnología; para este fin, la noción de sustentabilidad se ha discutido y analizado desde dos perspectivas diferentes.

La primera perspectiva con una visión oficial basada en planteamientos ortodoxos que marcan la tendencia de un tipo de tecnologías, cuyo uso empata con los mercados predominantes a la luz de políticas públicas que proponen dar atención en forma transversal a los problemas que devienen y atentan en contra de la sustentabilidad a partir del uso de mecanismos de mercado y desarrollos tecnológicos que suponen la posibilidad de sustituir a los recursos naturales. Se trata de un diseño de políticas públicas que en muchos casos solo generan medidas paliativas para soluciones parciales a los problemas que dan origen a una crisis ambiental que se extiende a un plano multidimensional.

La segunda perspectiva pone en el centro la visión social y humana antes que la económica para dar voz a las tradiciones, el conocimiento ancestral, el respeto a los símbolos, a la cultura, la identidad con el territorio y la empatía



con la naturaleza que se vive en las comunidades autóctonas de la región latinoamericana cuya mirada define de forma diferente la sustentabilidad, ya que ella se entiende como parte intrínseca de su forma de vida y marca rasgos específicos a las tecnologías e instrumentos que utilizan para su diario vivir y que tienen como principio la conservación de los recursos y el respeto a los ciclos ecosistémicos presentes en la naturaleza.

A la luz de estos dos enfoques, el diagnóstico inicial es coincidente con la velocidad de la sobreexplotación de los recursos y la expansión de los impactos de la actividad económica sobre el ambiente, ambos muy por encima de las soluciones que se proponen en cualquiera de las dos visiones, ya sea desde las alternativas que surgen del mercado convencional y las políticas impulsadas por los gobiernos, como desde la acción y la resistencia que surgen en las comunidades que defienden su territorio, sus recursos naturales, la cultura y todo lo que implica el avasallamiento del capitalismo en estos escenarios.

Particularizando sobre el papel de la innovación y de las tecnologías en el desarrollo y su relación con la sustentabilidad, por un lado, existe una clara contraposición que se expresa en la dependencia tecnológica que tienen los países en desarrollo de los países desarrollados, y por el otro, la creatividad expresada en innovaciones tecnológicas frugales que recuperan el conocimiento ancestral y respetan las dinámicas de los ecosistemas naturales al mismo tiempo que ofrecen soluciones a problemas locales específicos y que se denominan tecnologías apropiadas.

Las experiencias que en este texto se analizaron contribuyen a la generación de evidencias que sustentan la relación posible entre el uso de tecnologías que cumplen con la atención a un problema o necesidad y al mismo tiempo

contribuyen a mejorar, al menos, alguno de los parámetros que impactan negativamente en el camino hacia la sustentabilidad.

En un primer bloque, los capítulos que se presentaron exploraron diversos enfoques, desde los cuales se entiende la sustentabilidad, ya sea en ámbitos regionales o locales a partir de las medidas de política pública, hasta acciones de las organizaciones sociales y la industria de la transformación.

De esta manera, en el primer capítulo, “La construcción de políticas de economía circular en América Latina”, los autores nos dan una orientación de la efectividad de las políticas públicas para impulsar acciones a favor de un aspecto concreto que va en contra de la sustentabilidad, el uso indiscriminado de los recursos naturales frente a una sociedad altamente consumista. El reciclaje y reúso de los productos se proponen como alternativas que requieren del uso de tecnologías importadas y autóctonas para desmaterializar la economía. Sin embargo, se presentan diferencias importantes en los marcos regulatorios, así como, en la brecha entre la frontera tecnológica de los países de América Latina con respecto de los países del norte, sin abordar posibilidades importantes de avance de las tecnologías locales en los países de la región. Se concluye que a pesar de la tendencia a legislar sobre los residuos en la región no se logra consolidar una propuesta integrada de economía circular en ninguno de los países. Lo que impone el reto de continuar generando investigaciones que tengan incidencia en los tomadores de decisiones para que se impulsen acciones en un sentido más orientado a los principios de la sustentabilidad.

El segundo capítulo, “Manifestaciones de la Ecoinnovación: Estudios de caso en Europa y México”, puso en el centro de su discusión las innovaciones con enfoque ambiental como alternativa tecnológica para impulsar acciones favorables hacia la sustentabilidad, en dos contextos que han respondido a



distintas motivaciones. En los países europeos donde la ecoinnovación es una respuesta a los incentivos que genera la política pública, se utilizan tecnologías de punta, como es el caso de los sectores eléctrico y textil, en tanto que en México las ecoinnovaciones vinculadas a tecnologías apropiadas de nivel básico son una respuesta social de las organizaciones para conjuntar sus necesidades productivas con el cuidado de los recursos naturales. Al respecto se abre una importante discusión que da lugar a la construcción de categorías, conceptos y nuevos enfoques que permitan comprender las particularidades de los procesos ecoinnovadores en distintos ámbitos, asumir que en escenarios de carencia también existe la creatividad y la innovación para la solución de problemas locales.

El tercer capítulo, “Maíz transgénico en México: sustentabilidad, movimiento social y tecnología”, condujo a una reflexión sobre la sustentabilidad desde la ecología política para entender al cultivo del maíz transgénico, como una nueva tecnología que perpetúa el dominio de la agricultura industrial en contra de la diversidad de los maíces nativos y de la cultura de las sociedades tradicionales. Es desde esta visión heterodoxa que se cuestiona la falta de empatía entre la nueva tecnología con la sustentabilidad y, por el contrario, muestra cómo queda inmersa en un modelo global que genera caos en los ecosistemas al atentar en contra de la biodiversidad y acentuar la concentración del poder entre los distintos sectores sociales como forma de dominio a través de la concentración de la biotecnología en pocas corporaciones. En este trabajo se resalta ese papel de los grupos sociales que defienden la persistencia del maíz criollo ante esa tecnología como la defensa de patrones culturales campesinos en México y el debate ético por la manipulación de los genes y el impacto que trae consigo esta manipulación. La evidencia de una doble vía,

donde los campesinos actúan en la defensa de los cultivos autóctonos para incidir en el tipo de tecnología, en las políticas públicas y en un camino hacia la sustentabilidad a contracorriente de los acuerdos comerciales que promueven la biotecnología y los transgénicos en un marco que fortalece la globalización, evidencia ese debate entre dos miradas y dos formas de entender la naturaleza.

El capítulo cuarto, "Sistema socio-ecológico del Cañón del Usumacinta: interacciones entre unidades productoras de miel y la naturaleza", se focalizó en los sistemas socioecológicos, discutiendo la complejidad de la interacción humana con los servicios ecosistémicos que proporcionan la preservación genética de la abeja en un área protegida a partir de soluciones basadas en la naturaleza que se han presentado en la meliponicultura, una actividad que deviene de tiempos ancestrales en la región de estudio. El análisis se presentó desde una perspectiva de red, conformada por diversos elementos involucrados en la producción de miel, que operan en concierto para la conservación de la biodiversidad de la región, da un mayor peso a las interacciones de los recursos para la sobrevivencia de las personas, al cuidado de los recursos comunes y a las técnicas utilizadas que se corresponden con prácticas ancestrales, a ello se suman muchos otros elementos que consolidan las transmisiones del sistema y que garantizan una alta cohesión entre nodos capaz de soportar perturbaciones; la perspectiva de los autores representa una complejidad que abona a la conservación de los bienes comunes y muestra el valor que tiene como patrimonio biocultural. Una visión de la sustentabilidad que antepone la conservación frente a toda lógica de "racionalidad" y que provoca al estudio del entendimiento de una nueva racionalidad.

El capítulo quinto "Las energías renovables. Una visión global y local de su implementación en México", se ubica en el análisis de las energías

alternativas desde una perspectiva crítica, lejos de cumplir con el objetivo de la sustentabilidad, señala que la modalidad bajo la cual se han impulsado este tipo de tecnologías va en contra del discurso que ofrece alternativas al modelo actual, y por el contrario, estas opciones garantizan la preservación de un modelo basado en el combustible fósil que ha impactado fuertemente en el plano ecológico y social. A partir de reportes de agencias especializadas se muestra que el cambio acelerado en la matriz energética hacia las energías renovables aún queda muy alejado de la posibilidad de incidir en el abandono de la economía basada en la energía fósil.

El segundo bloque de capítulos permitió tener una mirada de la tecnología en sí y de sus aplicaciones concretas, así como, de los resultados que hasta ahora muestran en un avance hacia la reducción de los impactos sobre el medio ambiente. Estas experiencias que se documentan comprenden diferentes niveles de aplicación.

El capítulo sexto “Un paradigma taxonómico para las tecnologías de paneles fotovoltaicos”, presentó una propuesta de análisis de los paneles solares como una alternativa tecnológica en el sector energético a partir de la construcción de una taxonomía que revela las ventajas entre los diferentes tipos de paneles, desde la naturaleza de sus materiales de fabricación, su potencial como fuente de reciclaje, eficiencia en la conversión energética, costos de producción y vida útil. En este sentido, resulta interesante rescatar la evolución que este trabajo presenta sobre las fuentes de energía y la introducción de estas nuevas tecnologías cuyos desechos e insumos para su fabricación también generan impactos sobre el medio ambiente. Nos ofrece un ejercicio de modelación que permitiría decidir en cuanto a las características de los paneles para reducir dichos impactos.

El séptimo capítulo “Revalorización de residuos contaminantes para la restauración de cuencas. Producción de biocombustibles a partir de las descargas de la industria tequilera en la cuenca alta del río Santiago”, nos ha mostrado una alternativa interesante que deriva de la economía biofísica para contrarrestar el problema que generan los residuos industriales, en particular aquellos que derivan de la producción de tequila. La revaloración de los residuos agroindustriales es un área emergente que responde a la presencia de viejos problemas sobre los que se puso poca atención como fue la contaminación de cuerpos de agua y de los suelos. Se aloja en una discusión teórica que coloca por encima de los criterios de la rentabilidad económica los límites biofísicos de la materia y la energía, a la luz de una realidad donde otros elementos de corte social, económico y político juegan en contra, toda vez que el criterio que predomina en la lógica de funcionamiento de la producción del tequila en la región de los altos de Jalisco es la eficiencia económica.

La propuesta tecnológica se centra en la reutilización de las vinazas del tequila para la fabricación de bioetanol y aunque se señala en el estudio que las pruebas muestran que el bioetanol, es técnica y económicamente viable, evidencia la necesidad de establecer: una importante reorganización de la industria que esté alineada a su escala de producción, redefinir la política pública a favor de un modelo que sustituya al actual modelo basado en energía fósil y establecer un nuevo tipo de relaciones humanas que facilite el desarrollo tecnológico. Un reto que involucra investigaciones de corte social que doten de elementos para la aplicación de alternativas tecnológicas ya probadas.

El capítulo octavo “Captación de agua de lluvia en el corredor industrial guanajuatense: un planteamiento para una gestión participativa”, presentó la propuesta de una tecnología poco aplicada en México, que deriva de un



convenio universidad-empresa, para la captación de agua de lluvia como alternativa al problema del estrés hídrico. Incorporando datos económicos y datos hídricos publicados y recopilados, los autores se propusieron valorar la pertinencia del uso de una metodología y una ecotecnia para tal fin, con resultados muy favorables. La pertinencia del estudio se explica no solo por el desarrollo de una nueva tecnología verde o ecotecnia, sino también por la historia de contaminación del río Lerma, que se vive desde años atrás en esa región. Se muestran las resistencias iniciales a una propuesta innovadora y los resultados favorables después de su aplicación en una empresa, en términos de reducción de consumos de agua, eficiencia en costos, promoción de una cultura y de valores medioambientales a partir de un uso responsable del líquido vital. En ese sentido, se resaltó la importancia de la vinculación de la Universidad con la iniciativa privada, el papel preponderante del gobierno municipal y las posibilidades de crear una cultura ecológica en la ciudadanía ante el impulso de iniciativas innovadoras que reflejan el compromiso ambiental de las empresas que la pudieran adoptar.

El noveno y último capítulo analizó las posibilidades de innovar a partir de la identificación de alternativas sustentables para el flujo de materiales que derivan de los procesos de la industria automotriz, con base en los principios de la economía circular que son: reutilizar, reciclar, rediseñar, remanufacturar, reducir y recuperar. Identificando problemas específicos que se presentan en las distintas fases de la cadena de producción en este sector, se proponen las alternativas que responden a alguna de las "R". De esta manera, se abre una veta de estudio interesante que podría llevar a la identificación de los elementos y condiciones que exige la aplicación de cada una de esas propuestas para consolidar una visión circular en los procesos de producción de una industria



que históricamente ha marcado la tendencia de las innovaciones, en este momento con una visión amplia y sistémica que incorpore los aspectos ambientales, económicos y sociales.

El reto que nos impone vincular a la tecnología a una visión de futuro fincada en la sustentabilidad es enorme, los trabajos aquí presentados tan solo son una pequeña muestra del camino hacia donde se dirigen las reflexiones y las alternativas tecnológicas que derivan de la innovación y que tratan de aportar hacia una sociedad más sustentable. También, muestran que hay evidencias de que la tecnología por sí misma no es una respuesta y se requiere de un conjunto de elementos, actitudes y configuraciones de los diferentes actores involucrados, con una visión crítica que evalúe objetivamente las cualidades y limitaciones de la tecnología que se construye a favor de la sustentabilidad.

Estamos conscientes de que las aportaciones que se presentan en este texto, siempre serán aproximaciones inacabadas que darán pauta a nuevas reflexiones y vetas de investigación; si bien, es cierto que ponemos en duda la vigencia de algunas miradas teóricas, también queremos continuar abonando al análisis de los intersticios que se gestan entre el escenario del capitalismo y la naturaleza para construir un desarrollo social con una perspectiva de sustentabilidad más firme y con resultados más próximos, la urgencia del tema nos convoca a seguir proponiendo alternativas de análisis pero también acciones en la práctica; la crisis que transita el planeta tierra pone en duda en mediano y largo plazo la subsistencia humana.

Las coordinadoras

SINTESIS CURRICULAR

Graciela Carrillo González

gcarri@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8969-5096>

Doctora en Economía por la Universidad de Barcelona, Maestra en Economía y Política Internacional por el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE) y Licenciada en Planificación para el Desarrollo Agropecuario por la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), nivel I. Profesora Investigadora. Es docente en la Maestría en Sociedades Sustentables y del posgrado de Economía y Gestión de la Innovación.

Actualmente, es jefa del Departamento de Producción Económica (DPE) y fue jefa del área de investigación del área Análisis y Gestión Socioeconómica de las Organizaciones y editora de la revista científica *Administración y Organizaciones*. Es miembro de la International Society of Ecological Economics (ISEE), de la Sociedad Mesoamericana de Economía Ecológica (SMEE) y vicepresidenta de la Red de Investigación y Docencia sobre Innovación Tecnológica (RIDIT).

Líneas de investigación: Economía Circular, Bioeconomía, Ecología Industrial, Ecoinnovación, Desarrollo Local Sustentable. Ha participado en diversos foros y ha escrito cerca de 90 artículos en revistas y libros, ha coordinado 10 libros colectivos y asesorado a más de 25 estudiantes de posgrado.



Griselda Martínez Vázquez

grismar@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2735-1690>

Doctora en Ciencias de Gestión por la Université Jean Moulin (Lyon 3) , Francia. Maestra en Ciencias Sociales por FLACSO México. Especialista en Estudios de la Mujer por El Colegio de México y Administradora Industrial por UPIICSA/IPN. Profesora/investigadora de la licenciatura en Administración y de la Maestría en Economía y Gestión de la Innovación en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). Autora de varios artículos especializados publicados en revistas nacionales e internacionales

Líneas de investigación: Mujeres con poder: empresarias, ejecutivas y políticas; Procesos de aprendizaje y transferencia del conocimiento tradicional, innovación y emprendimiento social. Conductora del programa de radio "feminino-masculino" en UAM Radio 94.1FM.



Ruth Selene Rios Estrada

rriose@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8798-4190>

Doctora en Estudios Organizacionales por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Maestra en Ciencias en Metodología de la Ciencia del Centro de Investigaciones Económicas y Administrativas. Egresada de la carrera de Administración Industrial de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional (UPIICSA-IPN).

En el ámbito laboral ha colaborado con diferentes empresas de la iniciativa privada como consultora y especialista en sistemas de productividad y calidad; trabajó por más de 10 años en el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y también, ha impartido cursos de propósito específico en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Secretaría de Educación Pública (SEP), la COFEPRIS y el ISSSTE.

Actualmente, es profesora investigadora de tiempo completo de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco en el Departamento de Producción Económica. Perteneció al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) y al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) como Candidata a Investigadora.

Líneas de investigación: Poder en las organizaciones de educación superior, Formación integral de investigadores, Neuroeducación en la cátedra universitaria y Procesos de manufactura en la Industria 4.0. Uno de sus últimos emprendimientos científicos es el podcast llamado "La bendita tesis, exorcizando sus demonios" www.benditatesis.com



José Ignacio Ponce Sánchez

jjponce@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8560-4556>

Doctor y Maestro en Economía, Gestión y Políticas de Innovación de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Licenciado en Economía por la UAM Xochimilco. Ha sido Profesor Asociado del Departamento de Producción Económica (DPE) e investigador postdoctoral en el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM), en el Departamento Académico de Administración, estudiando el análisis de los determinantes de la productividad científica, la evaluación de las políticas de ciencia y tecnología, la innovación y el emprendimiento. Actualmente, se desempeña como Profesor Investigador en el Departamento de Estudios Institucionales de la UAM Cuajimalpa.

Es miembro de la Red Latinoamericana para el estudio de Sistemas de Aprendizaje, Innovación y Construcción de Competencias (LALICS) y de la Red de Investigación y Docencia en Innovación Tecnológica (RIDIT).

Sus líneas de investigación son: Procesos de adopción de la bioeconomía basada en el conocimiento en América Latina, así como los Procesos de economía circular, sustentabilidad y extractivismo en la misma región, también ha trabajado en los mecanismos de vinculación de la academia y el sector productivo. de multilatinas mexicanas.



Sergio Solís Tepexpa

ssolis@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8547-033X>

Licenciado en Administración por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X), Maestro en Economía con especialización en empresas, finanzas e innovación por la UAM, Unidad Azcapotzalco. Realiza el Doctorado en Ciencias Sociales, en el Área de Economía y Gestión de la Innovación de la UAM, Unidad Xochimilco. Estudió la especialidad en Econometría aplicada en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Economía en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ha laborado en empresas dedicadas a la construcción e ingeniería relacionada con las telecomunicaciones. Actualmente es profesor-investigador titular C del Departamento de Producción Económica (DPE) en la UAM, Unidad Xochimilco. Fue coordinador de la Licenciatura en Administración de mayo de 2012 a marzo de 2017. Jefe del área de Investigación Análisis y Gestión Socioeconómica de las Organizaciones (AGSEO) de 2022 a la fecha. Miembro de la Red Iberoamericana: Innovación y Transferencia Tecnológica para fabricantes de Muebles (RITMMA).

Sus Líneas de investigación son: Economía de la Innovación, Ecoinnovación, Financiamiento No tradicional, *Crowdfunding*, Economía Digital.



Hilda Teresa Ramírez Alcántara

hramirez@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8385-6546>

Doctora en Ciencias de Gestión por la Universidad Jean Moulin (Lyon 3), de Lyon Francia y Doctora en Estudios Organizacionales de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I). Maestra en Gestión Socioeconómica por la Universidad Lumière (Lyon 2), Lyon Francia. Licenciada en Administración de Empresas por la Facultad de Contaduría y Administración de la UNAM. Posgrado en Administración de Empresas Públicas Estratégicas por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Actualmente es profesora investigadora de Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAM-X), es miembro de la Academia Internacional de Ciencias Político-Administrativas y Estudios de Futuro A.C y del comité científico. Lyon, Francia, de la Academy of Management (Estados Unidos de América). Pertenece al cuerpo académico "Laboratorio de Ingeniería en el Management socioeconómico" (LIMSE), con líneas de investigación en análisis y gestión socioeconómica de las organizaciones.

Sus líneas de Investigación son: Aprendizaje, conocimiento y gestión de la información en las organizaciones, *Management* socioeconómico, Gestión, innovación y sustentabilidad, Factores para la ecoinnovación y el Papel de las organizaciones productivas rurales en el desarrollo local e Indicadores de ecoinnovación en comunidades rurales y pequeñas empresas.



Alfonso Tonatiuh Torres Sánchez

tonatiuhuam@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8521-7123>

Doctorante en Estudios Organizacionales en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I). Licenciado en Administración por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). Cuenta con un diplomado en Transversalización del Enfoque de Derechos Humanos en las Empresas otorgado por la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH). Se ha desempeñado como facilitador de servicios de la Administración Pública local, en puestos operativos y de coordinación. Ha sido profesor de asignatura en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Actualmente pertenece a la Red Mexicana de Investigadores en Estudios Organizacionales. Sus líneas de investigación son: Sustentabilidad, Políticas Públicas, Derechos Humanos, Género y Diversidad Sexual en Entornos Organizacionales.



Yolanda Cristina Massieu Trigo

ymassieu@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1170-8480>

Doctora en Economía por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Maestra en Sociología Rural por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y licenciada en Medicina Veterinaria y Zootecnia por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X), donde imparte docencia en la licenciatura en Sociología, el Posgrado en Desarrollo Rural y la Maestría en Sociedades Sustentables (MSS). Sus temas de investigación son: impactos socioeconómicos, ambientales, políticos y culturales de la biotecnología agrícola; Innovación tecnológica en la producción agropecuaria y trabajadores agrícolas; Biodiversidad, bienes comunes, ecología política y propiedad intelectual; Campesinado y soberanía alimentaria; Agrocombustibles y crisis energética; así como Problemas socioambientales, socioeconómicos, tecnológicos y políticos en general de la sociedad contemporánea. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel II. Tiene múltiples publicaciones, entre las que destacan tres libros como autora única, ha presentado más de 100 ponencias en diversos eventos académicos y dirigido 45 tesis de licenciatura y posgrado en temas relativos a su especialidad.



Ángel José Martínez Salinas

anuamtz@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6877-0744>

Licenciado en Sociología por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X), con el trabajo "El Concepto de Poder en Norbert Elías"; Maestro en Ciencias de la Complejidad por la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), con la tesis "Diseminación de la Cultura Política en la Ciudad de México, estudio basado en agentes". Actualmente cursa el Doctorado en Ciencias de la Administración en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en la Facultad de Contaduría y Administración estudiando a la organización empresarial en el Sistema Socio - Ecológico para explicar los micro fundamentos sustentables como mecanismos esenciales en la creación de valor sustentable.



Paola Selene Vera Martínez

p.vera@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5889-7277>

Economista por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Maestra en Finanzas y Doctora en Ciencias de la Administración por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesora Titular A, de tiempo completo en la Facultad de Contaduría y Administración de la UNAM. Sus líneas de investigación son "Administración, sustentabilidad y complejidad" y "Sistema socio-ecológico, finanzas y límites planetarios". Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Académica certificada ANFECA. Miembro de la Federación Mexicana de Universitarias. Miembro del Comité Asesor del Programa Universitario de Estudios sobre Asia y África, UNAM. Medalla Alfonso Caso 2013. Mención especial del Premio de Investigación en las disciplinas financiero-administrativas Arturo Díaz Alonso en 2017.



Erika Guadalupe Ceballos Falcón

erika.ceballos@ujat.mx

Licenciada en Relaciones Internacionales, Bachelor of Arts in International Political Studies, Maestra en Administración en la Universidad de las Américas, A.C., realizó estudios de Doctorado en Ciencias de la Administración en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es Profesora-Investigadora de tiempo completo de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, adscrita a la Academia de Administración y miembro del Núcleo Básico de Profesores de la Maestría en Desarrollo Agropecuario Sustentable del PNPC. Su línea de investigación es Gestión Estratégica de Agronegocios Sustentables, ha realizado estancias en la Universidad DePaul en Chicago, Illinois; Centro Universitario del Petén (CUDEP) de la Universidad de San Carlos de Guatemala y en dos ocasiones en el Instituto de Investigación de la Facultad de Contaduría y Administración de la UNAM.



Yolanda Mexicalxóchitl García Beltrán

ymgb1988@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9258-0783>

Actualmente realiza una estancia postdoctoral en el Programa de Energía de El Colegio de México (COLMEX) y es investigadora asociada en el proyecto "Reapropiación socioambiental para el manejo integral y comunitario de la cuenca Atoyac-Zahuapan" de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Doctora en Ciencias Sociales por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X) y Maestra en Ciencias Sociales por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Se desempeñó como asistente de investigación en la Maestría en Sociedades Sustentables (UAM-X). Sus temas de interés son: Conflictos socioambientales, Energías renovables y Resistencias étnicas contemporáneas.



Aleida Azamar Alonso

gioconda15@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7915-7611>

Doctora en Economía Internacional y Desarrollo por la Universidad Complutense de Madrid. Profesora Investigadora del Departamento de Producción Económica (DPE), Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). Coordinadora de la Maestría en Sociedades Sustentables de la misma institución. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores CONACYT, Nivel II. Miembro de la Sociedad Internacional de Economía Ecológica (ISSE). Vicepresidenta de la Sociedad Mesoamericana y del Caribe de Economía Ecológica (SMEE). Forma parte del Grupo de la Iniciativa para la Transparencia de las Industrias Extractivas (EITI). Integrante de la Red energía y poder popular en América Latina. Integrante del Grupo Territorio, Género y Extractivismo (TGE). Miembro del Grupo de Trabajo de Geografía Crítica Latinoamericana de Ciencias Sociales (CLACSO) y del Grupo de Trabajo de Estudios Críticos del Desarrollo Rural (CLACSO). Miembro de la Asociación de Estudios Latinoamericanos (LASA). Miembro de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales (AMER). Integrante del Consejo de la organización no gubernamental Engenera, A.C. -Energía, Género y Ambiente. Integrante de diversas colectivas que colaboran con el tema de los impactos de la minería. Líneas de investigación: Economía política, Economía ecológica, Extractivismo, Minería, Energía, Sustentabilidad, Ecofeminismo, Movimientos y conflictos socioambientales.



Armando Valle Yahutentzi

avalle@correo.xoc.uam.mx

Licenciado en Ciencias Políticas y Administración Pública por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Maestro en Políticas Públicas por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). Diplomado en Evaluación de Políticas y Programas Públicos por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). Consultor Senior en Evaluación de impacto social para I-GUAL Consultores S.A. De C.V. Coordinador de logística en el Instituto Electoral del Estado de México (IEEM). Líneas de investigación: Pobreza Energética; Desarrollo y Derecho Urbano; Movimientos sociales.



Jaime Muñoz Flores

jmflores@correo.xoc.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6683-0184>

Postdoctorado en Física de Materia Condensada y Nanopartículas (CINVESTAV – Stanford); Doctorado en Economía Matemática (UNAM); Maestría en Matemáticas área de Probabilidad y Estadística (UNAM); Licenciatura en Física (UAM) y Licenciatura en Matemáticas (UAM) . Otros estudios y estancias académicas: Aphonmicron, Notre Dame University, Cambridge University, Harvard University. Presidencia de los Estados Unidos Mexicanos; Profesor Titular “C” (UAM); Jefe de Política Económica y Desarrollo (UAM); Coordinador del Doctorado en Ciencias Económicas (UAM); Coordinador General (UAM); Director General (UAM); Coordinador de Planeación y Desarrollo Académico (UAM); Funcionario otros 12 cargos diversos en la UAM; Secretario del Consejo Mexicano de Posgrado; Medalla al Mérito Universitario (1987); Medalla al Mérito Universitario (1990). MH (2003).

Líneas de investigación: Sustentabilidad Energética; Política Económica y Desarrollo.



Joel García Galván

Joel.garcia@cucea.udg.mx

<https://orcid.org/0000/-0002-8928-3515>

Candidato Doctor en Ciencias para el Desarrollo Sustentable de la Universidad de Guadalajara (UDG). Maestro en Ciencias para el Desarrollo Sustentable UDG. Licenciado en Economía UDG.

Profesor de calidad perfil PRODEP del Departamento de Economía y miembro del CA UDG 116 en Teoría Económica y Desarrollo Sustentable. CUCEA UDG. Coordinador de la Licenciatura en Gestión y Economía Ambiental y de la Licenciatura de Administración Gubernamental y Políticas Públicas, CUCEA.

Secretario Administrativo del Centro Universitario de la Costa Norte CUCOSTA-UDG. Publicaciones Libro: Nuevos Horizontes Educativos a Favor de la Naturaleza. Capítulo "Universidad en Vinculación para la Sustentabilidad y la Industria 4.0."

Artículo de revista: "Propuesta de Mejora en la Calidad del Aire: Caso Zona Metropolitana de Guadalajara". Ecología Política del agua: metabolismo social, ganadores y perdedores en la disputa por el agua del Río Santiago, Jalisco. México.



Salvador Peniche Camps

speniche@cucea.udg.mx

Profesor-investigador del departamento de economía del Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas de la Universidad de Guadalajara (UDG). Economista por la UEM-ML, Maestro en Relaciones Internacionales por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Doctor en Ciencias Sociales por el Colegio de Michoacán. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel II. Profesor invitado del Instituto de Desarrollo Sustentable de la Universidad de la Columbia Británica y egresado de la cohorte 10 del Programa Superior de Estudios sobre el Desarrollo Sustentable de El Colegio de México (COLMEX). Ha realizado investigación y docencia sobre temas relacionados con el impacto ambiental de la actividad económica, en particular sobre el tema de la economía del agua. Es miembro fundador y presidente de la Sociedad Mesoamericana de Economía Ecológica (2023-2024) y miembro de la Sociedad Internacional de Economía Biofísica. Destaca la participación en la presentación de la candidatura del lago de Chapala en las redes internacionales de Lakenet y en la red de Lagos Vivos de la ONG alemana internacional Global Nature Fund.



Luis Héctor Quintero Hernández

hector.q@cucea.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9222-927X>

Profesor de tiempo completo de Departamento de Economía de la Universidad de Guadalajara (UDG). Doctor en Negocios y Estudios Económicos por la UDG. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel I. Sus líneas de investigación son Gestión energética y fuentes de energía renovables. Fundador del Centro de Innovación, Incubación y Diseño (CIID) de la Universidad de Guadalajara. Especialista en gestión de proyectos tecnológicos, diagnóstico empresarial y, en la formulación y evaluación de proyectos. Ha participado en la operación de diversos programas de apoyo económico y modernización tecnológica. Consultor del Programa de Modernización Tecnológica CONACYT-Banco Mundial, consultor del proyecto e-Cadena Productiva BID-FOMIN, consultor del proyecto e-Redes Infodev-Banco Mundial.



Daniel Tagle Zamora

datagle@ugto.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6203-7429>

Doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Es profesor del Departamento de Estudios Sociales de la División de Ciencias Sociales y Humanidades del campus León de la Universidad de Guanajuato (UG). Es responsable de Cuerpo Académico Agua, Energía y Cambio Climático. Trabaja líneas de investigación de la relación entre economía y ambiente como son gestión del agua urbana, gestión de residuos, ecotecnias y cambio climático. Actualmente es miembro del sistema nacional de investigadores nivel I del CONAHCYT.



Alex Caldera Ortega

arcaldera@ugto.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7609-8724>

Profesor-investigador del Departamento de Gestión Pública y Desarrollo de la División de Ciencias Sociales y Humanidades del Campus León de la Universidad de Guanajuato (UG). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), Nivel I.

Doctor en Investigación en Ciencias Sociales, mención en Ciencia Política, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, sede académica México (06'-09'); Maestro en Administración y Políticas Públicas por el Colegio de San Luis y Licenciado en Ciencias Políticas y Administración Pública por la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Trabajo académico, investigación en el área de ciencia política, particularmente políticas públicas y más específicamente gestión ambiental y del agua.

Juan Antonio Rodríguez González

ja.rodriguezgonzalez@ugto.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3409-1951>

Profesor de tiempo completo del Departamento de Estudios Sociales, de la División de Ciencias Sociales y Humanidades del Campus León. Licenciado en Sociología por la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Maestro en Población y Desarrollo Regional. por la Universidad Autónoma de Aguascalientes Doctor en Ciencias Sociales con énfasis en Sociología por la Universidad de Guadalajara. Posdoctorado en Sociología del Trabajo de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Línea de Investigación: Empresas y empresarios en el Desarrollo Local. Corporatización de la Gestión de los Servicios Públicos en el entorno local.

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), Nivel I. Perfil PRODEP. Coordinador del Observatorio de Problemas Sociales. Responsable de Laboratorio de Políticas Públicas para el Desarrollo Local. Publica artículos en revistas indexadas y capítulos de libro en editoriales de prestigio. Ha dirigido tesis de licenciatura y posgrado sobre empresas y empresarios, cultura empresarial, estrategias empresariales, patrimonio industrial, empresas culturales, entre otros.



Jesús Eduardo Medina Rico

je.medinarico@gmail.com

Egresado de la Universidad de Guanajuato (UG) en la Licenciatura en Ingeniería Ambiental, con un diplomado en el Manejo de Cuencas Hidrográficas; estuvo al frente por más de nueve años en el Consejo Técnico de Aguas de León A.C. a cargo de diseños e implementación de sistemas de captación de agua de lluvia y su purificación en el sector social e industrial, obras de conservación de suelo, agua y aire entre otros proyectos, actualmente es consultor independiente.



Maritza Guadalupe Ramírez Díaz

mramirezd1300@alumno.ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1946-2817>

Es Ingeniera en sistemas automotrices por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Unidad Azcapotzalco y estudiante del último semestre del Posgrado en Tecnología Avanzada por el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica Maestra en Gestión Socioeconómica por el Instituto Politécnico Nacional. Participante activo de la Red de Genero de ESIME UA y CIITEC desde hace más de dos años, Brigadista de Servicio Social Comunitario del Instituto Politécnico Nacional desde 2018, Becario CONAHCyT y Mentora Politécnica para el impulso de las jóvenes en áreas STEM por parte de la Unidad Politécnica de Gestión con Perspectiva de Género (UPGPG). Sus líneas de investigación actualmente son: Sostenibilidad y Responsabilidad Social, Análisis de ciclo de vida y Economía Circular.



Claudia Alicia Cortés Escobedo

ccortese@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4824-2941>

Docente e investigadora en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) desde 2006. Es profesora colegiada en los programas de Maestría y Doctorado en Tecnología Avanzada desde 2009. Doctora en materiales por el CINVESTAV-IPN-Qro (2007), Maestra en Ciencias en Metalurgia y Materiales e Ingeniería Química Industrial por la ESIQIE-IPN (2005 y 2001). Cuenta con formaciones adicionales en docencia, innovación tecnológica, análisis de ciclo de vida y sustentabilidad.

Realizó una estancia posdoctoral en la Universität des Saarlandes (2009), también participó como profesora invitada en la Université Paris Diderot (2013), en la ESIQIE (2009-2018) y en la UPIEM (2019-actualidad). Ha dirigido 24 proyectos de investigación con financiamiento interno y seis externos en el área de materiales funcionales en estado sólido.

Cuenta con más de 130 publicaciones, de las cuales 51 están indexadas en JCR y más de 1000 citas (Google académico, índice $h=21$). Ha publicado una patente, seis capítulos de libros y ha dirigido más de 20 tesis de licenciatura y posgrado en el área de desarrollo de materiales funcionales.

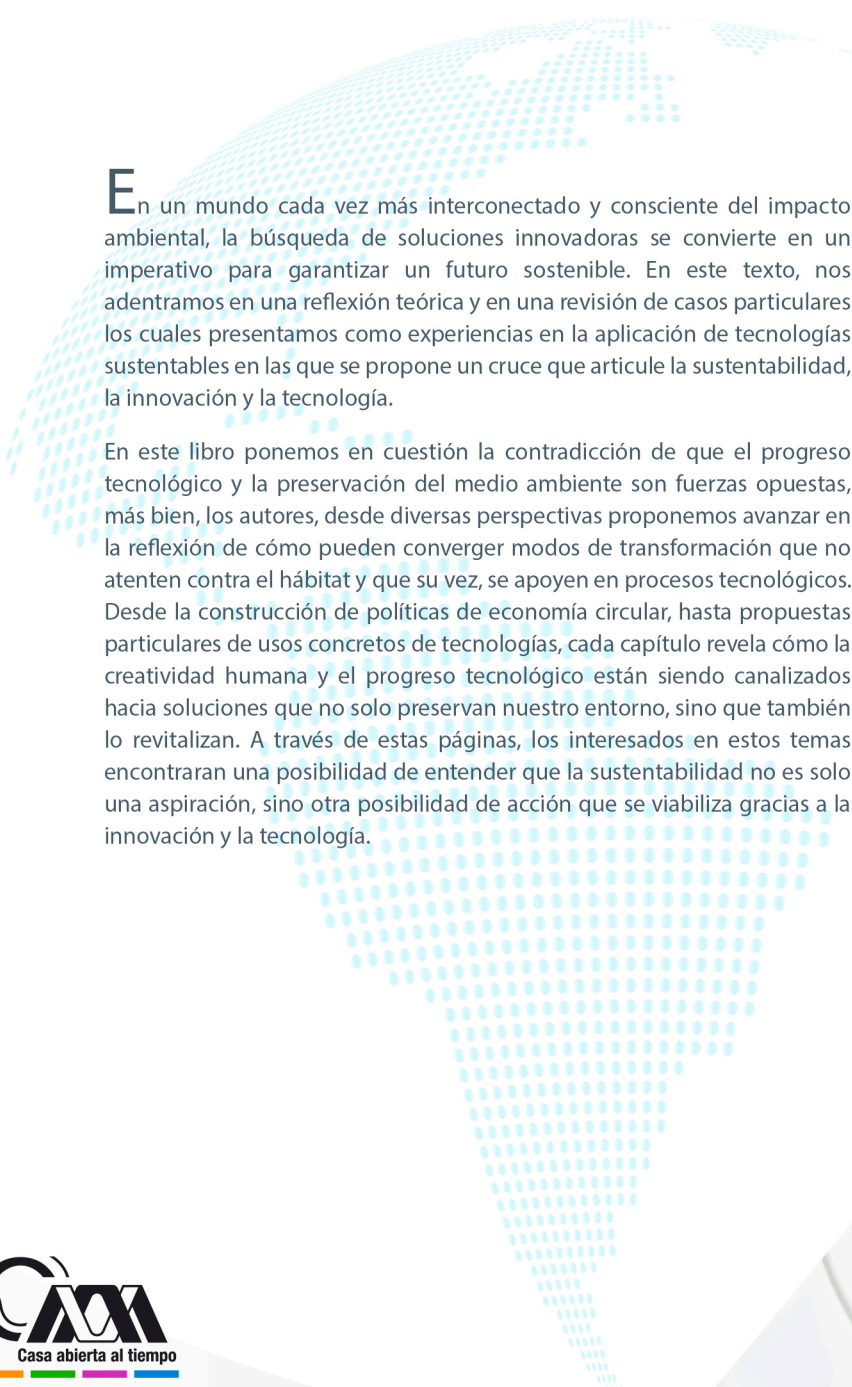
Ha impartido más de 44 unidades de aprendizaje en los niveles superior, así como de posgrado y participó en la comisión de diseño del plan de estudios de la carrera INES en la UPIEM-IPN, diseñando nueve unidades de aprendizaje y participó en la evaluación de la maestría en T. A. de la BUAP.

Ha participado como evaluadora para el proceso de selección por parte del DAAD desde 2012 hasta 2018, así como en diferentes comités editoriales y de organización de congresos para el acceso universal al conocimiento.



Participó como líder en la acreditación inicial de seis ensayos en las ramas química y metalmecánica ante la EMA y como Experta técnica del Comité ISO-REMCO de Normalización Nacional en Metrología del IMNC, A. C. elaborando y revisando normas en materia de Materiales de Referencia (2008-2011). Además, fungió como representante del sector educativo en el subcomité de evaluación en fuentes fijas de la EMA (2011).





En un mundo cada vez más interconectado y consciente del impacto ambiental, la búsqueda de soluciones innovadoras se convierte en un imperativo para garantizar un futuro sostenible. En este texto, nos adentramos en una reflexión teórica y en una revisión de casos particulares los cuales presentamos como experiencias en la aplicación de tecnologías sustentables en las que se propone un cruce que articule la sustentabilidad, la innovación y la tecnología.

En este libro ponemos en cuestión la contradicción de que el progreso tecnológico y la preservación del medio ambiente son fuerzas opuestas, más bien, los autores, desde diversas perspectivas proponemos avanzar en la reflexión de cómo pueden converger modos de transformación que no atenten contra el hábitat y que su vez, se apoyen en procesos tecnológicos. Desde la construcción de políticas de economía circular, hasta propuestas particulares de usos concretos de tecnologías, cada capítulo revela cómo la creatividad humana y el progreso tecnológico están siendo canalizados hacia soluciones que no solo preservan nuestro entorno, sino que también lo revitalizan. A través de estas páginas, los interesados en estos temas encontrarán una posibilidad de entender que la sustentabilidad no es solo una aspiración, sino otra posibilidad de acción que se viabiliza gracias a la innovación y la tecnología.