

17

Fecha de presentación: diciembre, 2021

Fecha de aceptación: enero, 2022

Fecha de publicación: marzo, 2022

SUSTENTABILIDAD, TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y REGENERACIÓN ECOSISTÉMICA: RE- TOS Y PERSPECTIVAS PARA LA VIDA

SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY AND ECOSYSTEMIC RE- GENERATION: CHALLENGES AND PERSPECTIVES FOR LIFE

Itzel Cardoso Hernández¹

E-mail: icardosoh@cife.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7784-0978>

Fleur Gouttefanjat²

E-mail: fleur.gouttefanjat@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5733-5555>

¹ Centro Universitario CIFE. México.

² Sciences Po. París. Francia.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Cardoso Hernández, I., & Gouttefanjat, F. (2022). Sustentabilidad, tecnología ambiental y regeneración ecosistémica: retos y perspectivas para la vida. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), 142-157.

RESUMEN

La crisis ambiental planetaria representa para el futuro, uno de los escenarios de mayor riesgo e incertidumbre para la humanidad. En este contexto, la tecnología ha destacado más por su nocividad que por su capacidad para prevenir o revertir los problemas ecosistémicos; mientras, los campos de las tecnologías ambientales y específicamente las regenerativas, enfrentaban menor avance y confusión conceptual. Para subsanar este vacío, se identificó el proceso histórico y las características clave de la tecnología ambiental y de la tecnología ambiental regenerativa a partir de un estudio documental de tipo exploratorio no exhaustivo con base en una metodología mixta, delimitando: 1) el contexto evolutivo de ambas tecnologías; 2) la cartografía conceptual de la tecnología ambiental regenerativa; y 3) los retos y perspectivas de aplicabilidad en México. El estudio concluyó que el desarrollo tecnológico regenerativo, requiere robustecer su corpus teórico-práctico; toda tecnología ambiental regenerativa es retributiva multidimensionalmente; el uso de la cartografía conceptual como técnica, clarificó e integró la noción tecnología ambiental regenerativa señalando algunos vacíos; para replantear el paradigma tecnocientífico ambiental regenerativo se requiere una crítica rigurosa y profunda del modelo económico que le subyace; en México, la evidencia apunta hacia la regeneración, siendo deseable, un modelo tecnológico retributivo propio.

Palabras clave: Cambio tecnológico, ciencia y desarrollo, cambio climático, cultura regenerativa, desarrollo regenerativo, deterioro ambiental, educación ambiental.

ABSTRACT

The planetary environmental crisis represents for the future one of the scenarios of greatest risk and uncertainty for humanity. In this context, technology has stood out more for its harmfulness than for its capacity to prevent or reverse ecosystemic problems; meanwhile, the fields of environmental technologies, and specifically regenerative technologies, faced less progress and conceptual confusion. To fill this gap, the evolutionary process and key characteristics of environmental technology and regenerative environmental technology were identified through a non-exhaustive exploratory documentary study based on a mixed methodology, delimiting: 1) the historical context of environmental technologies; 2) the conceptual mapping of regenerative environmental technology; and 3) the challenges and prospects of applicability in Mexico. The study concluded that regenerative technological development requires strengthening its theoretical and practical corpus; all regenerative environmental technology is multidimensionally retributive; the use of conceptual mapping as a technique clarified and integrated the notion of regenerative environmental technology, pointing out its gaps; to rethink the regenerative environmental techno-scientific paradigm requires a rigorous and profound critique of the economic model that underlies it; in Mexico, the evidence points towards regeneration, and a retributive model of its own is desirable.

Keywords: Climate change, environmental degradation, environmental education, regenerative culture, regenerative development, science and development, technological change.

INTRODUCCIÓN

A partir de los años 70 del siglo pasado, los esfuerzos para propiciar el cambio tecnológico necesario en materia ambiental se enmarcaron preferentemente en el contexto hegemónico del desarrollo sostenible propuesto por el informe Brundtland de 1987. Así, los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) pretendieron impulsar las políticas para restablecer un equilibrio entre lo social, lo natural y lo económico. Contrariamente a los resultados esperados por los lineamientos y las políticas globales de la Agenda 2030, el grado de toxicidad y de devastación medioambiental y social actuales, no tienen paralelo en la historia de la humanidad.

Históricamente, la tecnología ha sido considerada como el medio privilegiado para mejorar la calidad de vida de la población del planeta; sin embargo, desde el siglo XIX y de manera recrudescida a lo largo del siglo pasado, la tecnología desplegada se ha mostrado cada vez más incapaz de producir beneficios sociales y económicos para toda la población e, incluso, ha sido considerada a veces francamente nociva para la vida humana y natural como lo afirman las nuevas líneas teóricas con base crítica y marxista.

Ante los efectos de la actual crisis ambiental global, se vuelve necesario reconocer las causas de tal deterioro para poder pensar un desarrollo de tecnologías que no solamente no agudicen los problemas socioambientales actuales sino que puedan permitir la restauración de condiciones óptimas para el desarrollo de la vida vegetal, animal y humana, más allá de intentar mitigar los efectos del cambio climático, por ejemplo (Waisman, et al., 2019). En este sentido, una línea crítica del desarrollo tecnológico de la sociedad surge con las llamadas tecnologías ambientales o ecológicas, orientadas específicamente a la remediación y a la regeneración (Cota-Ruiz, et al., 2018). Esta nueva veta de investigación, tanto conceptual como instrumental, pretende arrojar tecnologías capaces de restablecer los equilibrios socioecológicos perdidos para diversos campos de aplicación.

Empero, tanto en los estudios sobre tecnología ambiental en general, como en las investigaciones sobre el desarrollo regenerativo o economía circular en particular

(Morseletto, 2020), se observa una polisemia y una falta de claridad sobre la caracterización precisa de dichas tecnologías. Aunque abundan ejemplos y artículos de literatura científica sobre tecnología ambiental en general, es insuficiente el trabajo teórico y reflexivo sobre regeneración socioecológica o ecosistémica, sobre todo desde una perspectiva propiamente tecnológica.

El presente artículo pretendió subsanar este vacío, identificando el proceso evolutivo y las características clave de los conceptos *tecnología ambiental* y *tecnología ambiental regenerativa*. Dicho trabajo se construyó a partir de una revisión documental exploratoria no exhaustiva y de la elaboración de un diagnóstico breve sobre los problemas ambientales prioritarios en México. Se empleó una metodología mixta que integró la investigación documental y la observación de contextos locales para lograr una articulación del concepto de tecnología ambiental regenerativa con una visión regional ilustrativa de sus posibles aplicaciones en el territorio mexicano, lo cual permitió delinear los retos y perspectivas en un caso concreto.

De este modo, los propósitos particulares de la investigación fueron: 1) contextualizar el campo de desarrollo de las tecnologías ambientales y su vínculo con las tecnologías ambientales regenerativas; 2) identificar las concepciones típicas de las tecnologías ambientales regenerativas, sus características y relaciones según la técnica de la cartografía conceptual; y 3) delinear los retos y perspectivas de la tecnología ambiental regenerativa en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio documental de tipo exploratorio no exhaustivo basado en una metodología mixta. La reflexión acerca del concepto de tecnología ambiental regenerativa partió de un diagnóstico crítico breve sobre los problemas ambientales prioritarios en México y sobre el contexto en el cual evolucionaron los conceptos de tecnología ambiental y de tecnología ambiental regenerativa. Para lo cual, se diseñaron tres categorías de análisis que fueron guiadas por tres preguntas de investigación (Tabla 1); donde la categoría *tecnología ambientalmente regenerativa* es la central y articuladora de las demás.

Tabla 1. Categorías analíticas y preguntas de investigación.

Categoría analítica	Preguntas de investigación
Desarrollo y contexto de las tecnologías ambientales	¿De qué manera la crisis ambiental actual determina el campo de aplicación prioritario de las tecnologías ambientales en general y las regenerativas en particular?
Noción y componentes de las tecnologías ambientales regenerativas	¿Cómo se pueden delimitar la etimología y las concepciones típicas de la noción principal de tecnologías ambientales regenerativas?
Problemas climáticos y socioambientales en México	¿Cuáles son los retos y perspectivas de las tecnologías ambientales regenerativas producto de un diagnóstico de los problemas nodales climáticos y socioambientales en México?

La identificación y reconstrucción de la información acerca de estas tres categorías de análisis se hizo a partir de la revisión de materiales documentales, estadísticos y hemerográficos. Se seleccionaron en principio 627 artículos científicos de revistas indexadas en las bases de datos digitales y científicas en español e inglés como Scopus, Web of Science, Scielo y Redalyc. En algunos casos se revisaron documentos anteriores a 2015. Se consultaron materiales, libros y reportes en sitios oficiales como la Organización de Naciones Unidas (ONU), la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y los trabajos y materiales publicados por Instituciones educativas de prestigio como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Los artículos fueron seleccionados a partir de ciertas palabras claves que articularon los algoritmos de búsqueda (Tabla 2).

Tabla 2. Palabras clave para articular los algoritmos de búsqueda.

Categoría	Palabras llave
1. Environmental, technologies and regenerative	regenerative ecology, regenerative design, regenerative technology, ecotechnology, bioecological technolog*, sustainab*, technolog*, alternative technolog*, ancient technolog*, industrial ecology, environmental biotechnology, environmental bioengineering, environmental engineering, appropriate technology, environmental technology
2. Concept	theor*, history, mean*, definition, classif*, taxonom*, types, conceptual framework
3. Regeneration, autopoiesis	regenerative environmental sciences, regenerative, protective, regenerative development, regenerative design, restoration technolog*, restoration ecology, eco-regeneration, biomimetics
4. Capitalism, living systems, sustainable, marxism,	neoliberalism or generative capitalism, natural capitalism, green capitalism, circular economy, bioeconomy, new economy, productive forces, critics, living systems, regenerative sustainable, regenerative development
5. Environment, nature	climate crisis, environmental crisis, socioecolog* conflict*, transition

Dada la centralidad de la categoría tecnología ambiental regenerativa, era necesario delimitar el concepto rigurosamente, tamizando la información existente. Por lo cual se utilizó la técnica de cartografía conceptual propuesta por Sergio Tobón en 2015. Esta técnica de investigación cualitativa surgida desde el pensamiento complejo y la socioformación, tiene por objetivo comunicar, aclarar, mejorar o proponer nuevos conceptos, teorías o metodologías definiendo sus categorías analíticas básicas a partir de preguntas. Se basa en analizar un concepto mediante ocho ejes: noción, categorización, caracterización, diferenciación, clasificación, vinculación, metodología y aplicación o ejemplificación; cuyos resultados preliminares dieron forma estandarizada al concepto tecnología ambiental regenerativa (Tabla 3). Las fuentes encontradas debían abordar algún elemento de los ocho ejes de la cartografía conceptual.

Tabla 3. Ejes de la Cartografía Conceptual Tecnología Ambiental Regenerativa (TAR).

Categoría	Preguntas centrales
1. Noción	¿Cuál es la etimología y definición típica de TAR? ¿Cuál podría ser una definición integrada de TAR considerando sus raíces y antecedentes próximos?
2. Categorización	¿En qué clase general se encuentra el tema de TAR?
3. Caracterización	¿Cuáles son las características de TAR?
4. Diferenciación	¿De qué otros conceptos cercanos, que estén en la misma clase general, se diferencian las TAR?
5. División	¿Cuáles son los tipos o aplicaciones de las TAR?
6. Vinculación	¿Con qué enfoques, disciplinas, áreas o campos externos se relacionan a las TAR?
7. Metodología	¿Cuáles son los ejes o pasos esenciales para abordar o aplicar las TAR?
8. Ejemplificación	¿Cuál o cuáles podrían ser ejemplos pertinentes de TAR, considerando los ejes de la metodología?

Procedimiento

Fase 1. Con base en la recuperación documental, se analizaron el contexto y las concepciones sobre la TAR. Para la organización de las lecturas y el registro de las referencias, se utilizó el software de gestión de referencias Mendeley, lo que posibilitó la selección y el procesamiento de los 100 documentos que cumplieron con los criterios.

Fase 2. Posteriormente se elaboró un archivo en forma de registro documental con citas textuales y no textuales, en el cual se organizó la información por ejes temáticos.

Fase 3. Se analizó la información, se redactaron los resultados y se procedió a su discusión.

Fase 4. La versión preliminar de presentación de los hallazgos de investigación fueron sometidos a la revisión de expertos en la materia para corroborar su pertinencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contexto y evolución conceptual de las tecnologías ambientales en general y de las tecnologías ambientales regenerativas en particular

Desde la segunda mitad del siglo XX, se multiplicaron las reflexiones y estrategias prácticas en torno a temas como la protección del ambiente y la ecología, las tecnologías ambientales y la sostenibilidad. Sin embargo, obtuvieron pocos resultados a la hora de corregir los múltiples efectos de la crisis ambiental actual.

Estas reflexiones encontraron un primer impulso durante la llamada Conferencia Científica de las Naciones Unidas sobre Conservación y Utilización de los Recursos de 1949, la cual fue seguida por un largo debate sobre medioambiente entre los años setenta y ochenta. A lo largo de esas décadas, se pronunciaron varios organismos internacionales sobre la cuestión climática y sus declaraciones lograron que las instancias gubernamentales formalizaran sus intenciones para proteger la capa de ozono (Protocolo de Montreal, 1987) y firmaran el Protocolo de Kyoto (1997) y posteriormente, los Acuerdos de París (2015). Estos acuerdos fueron pautados por el naciente concepto de desarrollo sostenible, entendido como la satisfacción de las necesidades sociales y económicas del presente sin comprometer las de las futuras generaciones. Hasta ahora, el Informe Brundtland y la Agenda 2030 definen la noción de sustentabilidad dominante, de cuyos lineamientos penden la mayoría de las políticas públicas en distintos campos específicos de intervención. Dichas políticas públicas son orientadas en especial por los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), expresados hoy día en 17 líneas de acción.

En este contexto, el modelo económico sobre el cual descansan los postulados del desarrollo sostenible ha sido poco cuestionado. En general, la discusión ha sido, más bien, acotada a la crisis climática, las tecnologías ambientales y la sustentabilidad. Estas, incluyeron perspectivas y pronósticos sobre la variación del clima antagónicos entre sí; los debates sobre la viabilidad del propio paradigma tecnocientífico como lo indicaran González-Márquez & Toledo (2020); así como aquellas discusiones propias del avance tecnológico cuando pretendieron la real protección del medio natural o para volver más eficientes los procesos productivos (Hauschild, et al., 2020); incluso, se consideran algunos debates éticos.

En este sentido, aunque es difícil imaginar la crisis medioambiental actual sin las tecnologías energéticas, mecánicas, biológicas y químicas desplegadas en la etapa industrial; el papel del desarrollo capitalista en la configuración del patrón tecnológico actual, ha sido poco investigado y criticado. Por lo cual, las consecuencias sobre el ambiente de esta configuración tecnológica —pautada por la extracción de ganancias y la acumulación de capital— tampoco han sido visibilizadas como tales. Esta falta de claridad sobre la configuración de la tecnología actual se recrudece en el marco de una crisis de la ciencia, ella misma subsumida a los intereses del capital.

De este modo, la crisis ambiental se entrelaza con una crisis del patrón tecnológico y con una crisis de la ciencia debido a que el paradigma del desarrollo sostenible no percibe sus propias anomalías (González-Márquez & Toledo, 2020) y minimiza en su análisis, el substrato económico que subyace al modelo tecnológico y de producción mayoritariamente capitalista (Arrizabalo, 2018).

Los retos ecológicos y sociales que enfrenta la humanidad en el siglo XXI abren nuevos imaginarios sobre el futuro y la vida. En efecto, la destrucción acelerada de los ecosistemas, la contaminación ambiental y la extinción de especies, recrudecen otros conflictos sociales como el despojo, la migración, la criminalidad, la insalubridad y la pobreza. A manera de respuesta, se inauguraron nuevos campos de análisis y de intervención social y ambiental para superar la crisis tecnológica, ecológica y social. Es en este marco que la noción de regeneración toma un sitio en el debate (Gibbons, et al., 2018), junto con otras respuestas que buscan ser contrahegemónicas. Durante las tres últimas décadas, la permacultura, la economía alternativa o de intercambio justo, el rescate del conocimiento ancestral (Diamond, 2019) y los movimientos ecologistas y de resistencias regionales abonaron al campo regenerativo sin una clara intención, pero encaminadas a ello. Aportaron no solamente al desarrollo de tecnologías alternativas y al objetivo de alcanzar la armonía del ser

humano con el ambiente, sino a los procesos de producción y reproducción sociales sostenidos en el principio activo de la vida, la autodeterminación, la complejidad e integración de actores y conocimientos. Intentaron generar una racionalidad distinta, cuyos fundamentos y principios marcaron ciertas diferencias con el paradigma del desarrollo sostenible inicial.

Frente a la crisis climática y socioambiental, a partir de la década de 2010 y con la llegada de la noción *regeneración*, se abre un nuevo escenario para el futuro que permite superar la tradicional polaridad hacia donde se había estado dirigiendo a la humanidad conceptualmente y de facto: la extinción-irreversibilidad *versus* mitigación o adaptación-resiliencia.

Evolución conceptual de las Tecnologías Ambientales Regenerativas

Sin encontrar un término igual a Tecnologías Ambientales Regenerativas (TAR), sus referentes próximos se hayan principalmente en las modernas ciencias básicas y aplicadas. El concepto TAR, es resultado de un devenir histórico arraigado en primer lugar en el desarrollo de las llamadas tecnologías ambientales en general (TA). Mismas que han evolucionado a partir de un marco de referencia principal: las ciencias ambientales y/o sustentables. En este marco, el concepto TAR empieza a reclamar su propia especificidad conceptual al pretender restaurar ecosistemas, es decir, a revertir daños, recuperar suelos, preservar regiones, reintroducir especies, recuperar agua, limpiarla y reutilizarla o reestablecer el paisaje, incluso ejemplificar estos hechos en casos puntuales (Cota-Ruiz, et al., 2018). De este modo, las TA han sido vinculadas comúnmente con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y con la Agenda 2030, adquiriendo en este marco cierta concreción bajo los nombres de ecotecnología ambiental, ingeniería ambiental, biotecnología o bioingeniería ambiental, tecnología sustentable o tecnología medioambiental.

En sus inicios y desde la mirada oficial de la Comisión para el Desarrollo Sostenible (1998), a la TA se la entendió como aquella tecnología racional capaz de hacer menos daño que las tecnologías convencionales. Desde la visión de las ingenierías ambientales del Instituto Politécnico Nacional (IPN), a las TA se las describe como aquellas que más allá de la gestión limpia de los recursos naturales, utilizan insumos menos dañinos, sustituyen sustancias químicas peligrosas, utilizan mejores combustibles y reciclan residuos o subproductos. Por su parte, en el ámbito del cambio climático y del calentamiento global, sus aplicaciones estuvieron limitadas a paliar y mitigar los efectos nocivos que las variaciones de temperatura

o que las emisiones de CO₂ ejercen sobre el medio, según lo reportado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y Waisman, et al. (2019). Y, desde las políticas públicas, el propósito de las TA fue orientado a formar sociedades más resistentes o resilientes ante los efectos irreversibles de los desastres naturales o conflictos.

La compleja evolución del concepto de TAR parte del panorama general de nacimiento de las ciencias ambientales y de sus respectivas tecnologías, pero adquiere mayor fuerza en el marco específico de la devastación y creciente toxicidad ambiental y del surgimiento de los términos de ecodesarrollo (Estenssoro, 2015) y de desarrollo sostenible (Purvis, et al., 2019). En la práctica, este desarrollo se vincula con los modelos industriales para el manejo de desechos, la industria de cero impacto ambiental y con el desarrollo de las economías verdes (Hauschild, et al., 2020); asimismo, se las vincula con los modelos organizativos como la permacultura, la economía solidaria, las ecoaldeas y el rescate del conocimiento local o ancestral; así como con aquellas otras tecnologías destinadas a la generación de energías alternativas, limpias, renovables y aquellas destinadas a la biorremediación (Cota-Ruiz, et al., 2018). Finalmente, se reconoce que era posible producir impactos retributivos a la naturaleza y crear ambientes integrados a ella a partir de ecoinnovaciones de mayor alcance (Dewick, et al., 2019; Egmore, et al., 2021).

Entre el largo camino del avance conceptual de la biominimización y del biodiseño, para la década de 2010 toma mayor fuerza el llamado diseño regenerativo como un concepto clave (Camrass, 2021). Sus propósitos en lo general, bien se alinean con los propósitos de las TAR; debido a que el diseño regenerativo se sustenta en una comprensión ecológica del entorno surgida desde los principios de la ecología y de la biología pero aplicados a la arquitectura y a la construcción. Se basa en un pensamiento sistémico que busca comprender cómo las cosas se influyen mutuamente dentro de un todo. Posteriormente y con nuevos aportes, surge también la llamada sostenibilidad regenerativa descrita por Robinson & Cole, (2015); esta, entendida como un enfoque positivo de la sostenibilidad que se basa en la noción de sostenibilidad procesual y en una corriente particular de la Teoría Social Constructivista.

Estas dos vetas devinieron en la noción conocida como desarrollo regenerativo; entendido como una alternativa viable e inspiradora del cambio social y ecológico cuya racionalidad económica también propicia un tipo de retribución al ambiente. Como enfoque, critica al desarrollo sostenible clásico, por ser fundamentado en un único escenario ecológico ambiental catastrofista, donde la

humanidad pierde sus recursos físicos críticos o sobrepasa la capacidad de carga ecológica (Robinson & Cole, 2015).

Junto con los avances del desarrollo regenerativo, se daba paso a la investigación sobre las ciudades regenerativas y, posteriormente, a la cultura regenerativa; todo apuntando hacia una reorganización global de los espacios urbanos y rurales (Girardet, 2020). Esta cultura, pretende reorganizar, restaurar, renovar y revitalizar los sistemas naturales (Gibbons, et al., 2018). Un ejemplo de la aplicación normativa de este nuevo sentido dado a la regeneración sostenible o al desarrollo regenerativo fue la conmemoración del Día de la Tierra, donde la Organización de Naciones Unidas en 2021, modificó su discurso tradicional al convocar en esta ocasión, a la regeneración planetaria tanto ecológica como humana.

Como se observa, la evolución de la noción de regeneración es clave para analizar el surgimiento del concepto de TAR como una respuesta deseable y multidimensional capaz de orientar decisiones acerca de la producción de tecnologías nuevas o mejoradas, pese a los vacíos conceptuales y procedimentales que son necesarios para su concreción.

Cartografía conceptual

Noción: raíces etimológicas y síntesis conceptual de las Tecnologías Ambientales Regenerativas

Por falta de una definición rigurosa del concepto de Tecnología Ambiental Regenerativa, se propuso una definición y delimitación conceptual, a partir del análisis de sus componentes básicos: tecnología, ambiente y regeneración.

El fundamento del concepto moderno de tecnología se rastrea en los diccionarios internacionales como la Real Academia de la Lengua Española y el Merriam-Webster Incorporated. El término tecnología, proviene de las raíces etimológicas: *τεχνολογία* -tecnología; *τεχνολόγος* -tecnólogos; *τέχνη* -*téchne*, arte y *λόγος* -lógos, tratado. Actualmente, a la tecnología se la define como el conjunto de teorías y técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico. En sus bases históricas, la tecnología refiere una relación directa a las ingenierías, las cuales, al aplicar la ciencia y las matemáticas, las propiedades de la materia y los recursos de energía en la naturaleza, se hacen útiles a la población a través del diseño y de la manufactura de productos complejos. En el idioma español, la tecnología está ligada a la aplicación del conocimiento científico en general; pero en el sentido ambiental, la tecnología es preferentemente útil para que sean sometidas las materias desechadas a

determinados tratamientos para su reutilización. En cambio, desde la visión anglosajona, se describe a la tecnología como la aplicación del conocimiento de un área en particular o como la capacidad de aplicación otorgada a algo singular. De hecho, en el idioma inglés, se distingue a la tecnología como sustantivo y como resultado; como una forma de llevar a cabo una tarea utilizando procesos técnicos, métodos o conocimientos; incluso, como los aspectos especializados de un campo particular de esfuerzo; pero ya no se la considera un arte.

Por su parte, el término ambiente proviene de la raíz latina *ambiens, -entis*: que rodea o cerca. Incluye como totalidad, los aspectos naturales, tecnológicos, sociales, económicos políticos, morales, culturales, históricos y estéticos como lo reportó la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Sin embargo, entender el entorno desde la noción de naturaleza resulta más útil para destacar que la naturaleza es el seno donde se sostiene la vida planetaria. La naturaleza es comprendida aquí como el ambiente total, es decir la esencia, el orden y el entorno bio-geofísico-químico que circunda a todas las formas de vida mutuamente integradas. Al cercar todas las formas de vida integradas, la noción de naturaleza también permite comprender la esencia de toda tecnología en sus aspectos abstractos o materiales, pues en ella está inmersa. De este modo, no se puede concebir a una tecnología separada de ella, ni a sus productos o prestaciones, pues necesariamente inciden directa o indirectamente en ella.

Por otro lado, el término de regeneración proviene de la raíz latina regenerare. Como lo refiere la Real Academia de la Lengua Española, regenerar implica otorgar nuevo ser a algo degradado para restablecerlo o mejorarlo, a partir de restaurar su fuerza y propiedades originales. Aunque en su sentido literal se ligue la palabra regeneración a un tipo de renacimiento, reforma y restauración, no siempre alude a una sola comprensión y direccionalidad. Por ejemplo, la Teoría de los Sistemas Vivos elaborada por Capra en 1996, considera por su importancia, la categoría autopoiesis. En sus raíces esta palabra deriva del griego *αυτο*, -auto, sí mismo, y *ποιησις*, -poiesis, creación o producción. Expresa la capacidad de los seres vivos en el planeta Tierra para mantener su estructura y regenerarse de manera dinámica, a pesar de los cambios en sus condiciones externas. Como sistema integrado, cuenta con la capacidad activa de crear sus propios componentes y de modificar su composición interna. Por tanto, esta capacidad es importante en el debate de las tecnologías ambientales y especialmente las regenerativas, porque supera la noción de resiliencia utilizada en el campo ambiental, como la resistencia o capacidad de

adaptación de las especies frente a los efectos negativos o irreversibles de la crisis climática y/o socioambiental. La refuta porque la resiliencia niega la capacidad natural de autoregeneración de los seres vivos y su potencialidad (Egmore, et al., 2021).

Así, al integrar la complejidad de las palabras tecnología, ambiente y regeneración se propone a las TAR no como un mero artificio, sino como toda invención, innovación o herramienta, producto de la aplicación práctica de saberes, conocimientos, métodos o procesos; antes, durante o después de todo proceso productivo, industrial o social, para recuperar y otorgar nuevo ser al medio ecológico y humano. Regenerar el entorno natural, actualmente degradado, implica recuperar los equilibrios vitales y restaurar sus fuerzas biológicas y propiedades originales; comprendiendo las relaciones organizativas implícitas entre sus múltiples dimensiones técnica, económica, social y natural. Estas tecnologías tienen el propósito de sostener la vida como fuerza procreativa, en cada contexto a escala local, regional o planetaria, aportando valor y valor de uso positivo a la humanidad y a la naturaleza, en un sentido integrador, retributivo, co-evolutivo, autorregulado y emancipatorio.

Con esta noción se supera la relación directa de las tecnologías en general y de las ambientales en particular, a las ciencias o las ingenierías por exclusivo; entendidas tradicionalmente como un producto tangible separado de la naturaleza y otros cuerpos de conocimiento. La TAR necesariamente ha de ser comprendida como un proceso integrador; esto incluye sus aspectos subjetivos y materiales; así como los aspectos relacionales al contexto en donde se desarrollan y las relaciones sociales que propician; independientemente de que representen como resultado, un artificio, una técnica o método o un proceso de invención, de innovación o mejora socioecológica o ambientalmente regenerativa.

Categorización de las TAR

Las TAR pertenecen a la clase general de tecnología. Esta clase por ser la más amplia, es tan grande como la totalidad de los artificios históricamente desplegados y diseminados en todos los espacios de metabolización ecológica y entre las relaciones de producción y reproducción económico-sociales. Pueden ser ordenadas temporalmente a partir de los periodos precapitalista, capitalista, y transcapitalista o postneoliberal.

De esta clase general, deriva la clase primaria. En la clase primaria pueden ubicarse aquellas tecnologías fundadas en las ciencias básicas o experimentales ambientales propiamente y a aquellas, no reconocidas ambientales

como las derivadas de la ingeniería biomédica, por ejemplo (Figura 1). Como clase primaria, las tecnologías especialmente ambientales representan a todas aquellas áreas de conocimiento cuyas aplicaciones prácticas están orientadas hacia algún aspecto medioambiental del sector público o privado, a gran escala o micro escala.

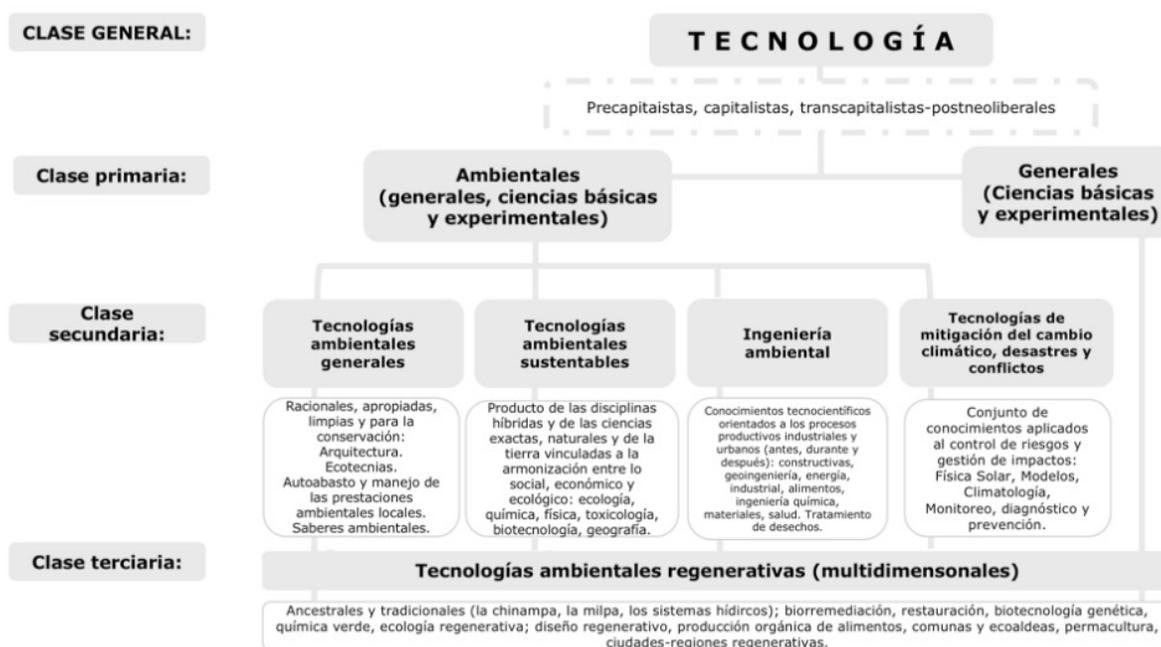


Figura 1. Clase general, primaria, secundaria y terciaria de las TAR.

Por su parte, la clase secundaria incluye aquellas áreas sustanciales o técnicas más especializadas de la TA. Aquí se agrupan al menos cuatro grupos; unas de ellas son generales y otras más especializadas. Entre las generales sustantivas se encuentran la antropología ambiental, la historia ambiental, la ecología política o la economía política. Entre las TA particularmente experimentales, se encuentran la ingeniería ambiental, la ecotecnología ambiental, la biotecnología ambiental, la tecnología sustentable, la nanotecnología ambiental, la bioingeniería genética y la exploración espacial; también la física solar, la química, la ecología, la toxicología y la geografía. El tipo tecnológico ambiental más común, se ilustra en cada etapa del proceso de su aplicación: extracción, producción, desecho, tratamiento; o más recientemente, con aquellas asociadas a la protección o al desarrollo de nuevas tecnologías basadas en el uso de microorganismos vivos, en la síntesis artificial de sustancias o en la creación de nuevos materiales.

Finalmente, las TA específicamente regenerativas se ubican en la clase terciaria como aquellas directamente vinculadas al cuidado, restauración o, ahora, regeneración ecológica y socioambiental de forma multidimensional. Las TAR, son un campo abierto para cualquier otra clase de tecnología general o secundaria ya en transición.

Caracterización de la TAR

A partir de los aportes hasta ahora mencionados, se propone distinguir a la TAR con los siguientes postulados:

- **Articula** a todo artificio, invención o innovación producto de la aplicación práctica de saberes, conocimientos y métodos que son puestos en marcha antes, durante o después de todo proceso creativo, productivo, industrial o social que inciden en el ambiente y en la naturaleza directa e indirectamente.
- Posee un **objetivo complejo**: En primer lugar, busca recuperar y otorgar nuevo ser al medio ecológico y humano degradado al restaurar, renovar y revitalizar los sistemas y fuerzas biológicas, maximizando el beneficio de lo ecológico y comunitario sobre los intereses meramente económicos y políticos del capitalismo. En segundo lugar, pretende abonar a un cambio de paradigma tecnológico y científico al impulsar la creación de nuevas fuerzas organizativas y fuerzas productivas técnicas y regenerativas, superando aquellas que fungen como el sustento instrumental de la

industria y producción de mercancías evidentemente nocivas o destructivas. Este cambio presupone un sin número de invenciones, artificios e innovaciones científicas y sociales significativas y novedosas.

- Es **retributiva económica, social y ecológicamente**. En la práctica, la TAR crea productos, bienes o servicios de valor de uso positivo y duradero, aun cuando estos mantengan todavía una forma mercantil capitalista. Maximiza el beneficio ambiental en vez reducir el impacto.
- **Reorganiza** la complejidad de los problemas ambientales con visión histórica, a partir de diálogos y prácticas incluyentes, reconociendo y abriendo paso a propuestas novedosas y disímiles. En conjunto, son capaces de integrar, co-generar conocimientos y experiencias de acuerdo a las necesidades formativas del entorno, al azar, a la complejidad y al conflicto mismo.
- Su **instrumentación** implica comprender los fundamentos, evaluar, corregir y mejorar dinámicamente las relaciones complejas, históricas, multidimensionales y organizativas no solo en lo económico, técnico, social y natural, sino replanteando críticamente y éticamente el papel que juegan sus creadores, ingenierías, científicos, educadores, instituciones y comunidades respecto a las TA o a las TAR.
- **Visión**: Sostener la vida humana y planetaria como un todo en equilibrio dinámico. El destino de la humanidad se sienta en sus múltiples capacidades y potencialidades biológicas, individuales y colectivas para asegurarse un horizonte cultural y de existencia viables.

Diferenciación de la TAR de otros conceptos cercanos

Las sutiles diferencias entre los conceptos cercanos a las TAR no son claramente perceptibles sin un análisis comparativo (Tabla 4).

Tabla 4. Diferenciación de las Tecnologías Ambientales Regenerativas con conceptos cercanos.

Concepto	Características principales	Diferenciación con la TAR
Ciencias ambientales	Se entienden como el conjunto de campos del conocimiento con el propósito de crear productos o servicios ambientales orientados a la solución concreta de múltiples problemas ecológicos y sociales indicados por los lineamientos internacionales y la propia emergencia ambiental. Muestran una intersección de las ciencias naturales, sociales y humanas para el estudio, tratamiento, gestión y planificación de los problemas ambientales. Se ilustran con 1) las llamadas disciplinas híbridas o 2) por aquellas ciencias agrupadas y articuladas desde un campo de aplicación particular. Se consideran aquí a la química ambiental, la ingeniería ambiental, la ciencia de los materiales ecológicos, la economía ecológica, la etnoecología, la sociología industrial, la psicología ambiental, la toxicología, la geografía, la física solar, la geoingeniería y la climatología.	Estos campos no refieren a un tipo particular de TAR sino al cuerpo científico que podría generarlas.
Ingeniería ambiental	Tratan de la aplicación del conocimiento tecnológico, especialmente del aprovechamiento de recursos, de los procesos extractivos, de la producción en sí y del tratamiento de desechos orientados a la minimización del daño que la industria vierte al entorno en contextos como el desarrollo industrial, urbano o rural.	Este tipo de tecnología se diferencia de las TAR en tanto que tratan de controlar o mitigar los efectos nocivos y reducir al mínimo el impacto ambiental de la industria pero sin pretender algún tipo de regeneración. Muchas veces están orientadas a la explotación y producción de bienes o servicios ambientales para el mercado a diferencia de las TAR, cuyos principios son retributivos con el ambiente.

Biotecnología ambiental	Trabaja con la restauración de ecosistemas por sustitución o reintroducción de especies, por el uso de la genética o el uso de organismos vivos. La biorremediación, como especialidad de la biotecnología ambiental, se avoca a la remoción de compuestos contaminantes y desperdicios a través del uso de sistemas biológicos para degradar o transformar los contaminantes en compuestos no tóxicos o menos dañinos, demostrando, ser mejores que los métodos químico-físicos en términos de eficiencia y de economía.	Las TAR se asocian directamente a este tipo de tecnologías, especialmente por su capacidad de restauración o reparación, por tanto se la reconoce como un tipo específico de TAR pero no como el modelo que las explica a todas, por su alta complejidad metodológica y tecnológica.
Tecnología sustentable	La tecnología sustentable remite a todo artificio de pequeña o gran escala capaz de impulsar el desarrollo económico, social y ambiental para garantizar el aprovechamiento razonable de recursos sin menoscabo de los recursos de las generaciones futuras en asuntos de agua, aire, suelos, energía, riesgos naturales y cambio climático. Se las vincula a los 17 Objetivos del Desarrollo Sustentable, al cambio climático y a los preceptos de los organismos normativos multinacionales de la Organización de Naciones Unidas.	Si bien es parte de sus metas el reestablecer los equilibrios entre economía, sociedad y ambiente, se ciñen a los lineamientos y políticas dictadas por los organismos internacionales y la Agenda 2030. Usualmente procuran modelos económicos enfocados a la creación de mercados más que a la mejoría de la calidad de vida y el cuidado del ambiente en los hechos. Las TAR, en cambio, se asocian a alguna actividad mercantil o capitalista de tipo positivo al margen de estos lineamientos, por su capacidad de autogestión.
Tecnología apropiada o intermedia o ecotecnología	Refiere un tipo de tecnología, limpia, versátil, amigable con el medio ambiente que es desarrollada con mano de obra intensiva local, inclusiva y a bajo costo. Está adaptada a las necesidades locales y aprovecha los recursos de los diferentes tipos de población, con base en las ciencias y el avance de la tecnología moderna. Aprovecha los saberes locales e integra la participación de sus comunidades.	Este tipo de tecnología se une a las TAR al favorecer una adecuación de innovaciones regionalizadas e integradoras para mejorar no solo la calidad de vida de comunidades sino también los problemas y conflictos específicos por falta de acceso a bienes y servicios ambientales básicos. Se diferencian sin embargo de las TAR en tanto que no se conciben a sí mismas como regenerativas. Su tipo nutre no obstante la caracterización general de las TAR en su conjunto.
Conocimiento ancestral ambiental	Refiere al legado cultural de cada grupo originario cuyas tecnologías han sido capaces de demostrar armonía con el medio ambiente y sustento a la vida y a las relaciones sociales de producción. Se basa en un modo de concepción del mundo, apoyado en conocimientos sobre el entorno natural y sobre una ética social y planetaria distinta a los modelos productivistas que sustituyen los modos originarios de producción.	No se consideran tecnologías a las derivadas de conocimientos ancestrales, debido a la estrecha relación que ahora guardan las ciencias con las ingenierías. Los conocimientos ancestrales son regularmente desvalorizados por la dificultad de acceder a ellos y por tratarse de lenguajes y concepción humano-todo diferentes. Sin embargo, su legado aporta evidencias para la fundamentación de las TAR actuales.

Cada concepto venido de los campos cercanos a las TAR, aportan elementos para comprender la esencia del conjunto de las TA, el hilo conductor que las une y el enfoque de aplicabilidad que las separa. En conjunto, proveen elementos para identificar los principios determinantes de las TAR.

División o tipos de aplicación de la TAR

Producto del contexto económico e histórico al que pertenece el avance tecnológico en general, podrían distinguirse tres tipos de aplicación de las TA y TAR: a) TA pre-capitalistas; b) las TA capitalistas nocivas y de valor de uso positivo; y c) TAR transcapitalistas y postneoliberales.

Entre las TA capitalistas nocivas se encuentran aquellas que pretendan legitimar el modelo de desarrollo económico dominante, actualizando términos, metodologías o evidencias según se presenten las crisis, sin pretender modificar los modos de producción actuales. Privilegian la ganancia y la explotación de los recursos humanos y naturales, cuyos bienes y productos generados son, intencionalmente o no, mayoritariamente destructivos, tóxicos y degradantes debido principalmente a su afanosa necesidad de acumulación de poder, riquezas y utilidades.

Por su parte, las TA capitalistas de uso positivo sostienen medios económicos alternos y/o mixtos cuya vocación es integrarse a una dinámica socioecológica diferente. Expresan algún tipo de valor de uso y valores positivos en sus sistemas productivo, propiciando otros modos de producción y relaciones organizativas de largo plazo y acordes a los principios de la naturaleza.

Finalmente, ligadas a las anteriores, las TAR auténticamente regenerativas aplican procesos retributivos en los procesos tecnológicos, económicos, sociales y ambientales de manera integral. Se fundan en una práctica ética. Sus diseños tecnológicos y de aplicación son por principio restaurativos, autodeterminados y co-evolutivos aun cuando todavía mantengan relaciones mercantiles capitalistas. Apuntan globalmente hacia una necesaria reconfiguración ecológica del capitalismo; y hacia nuevas formas de organización social y de gestión del conocimiento bajo el principio de reproducción y sostenimiento de la vida.

Vinculación de la TAR con campos externos de investigación

Los campos de la TA en general y de la TAR en particular, se pueden unir en mayor o menor grado a todas las esferas del conocimiento y de la praxis humana formal e informal. Pero desde las ciencias, en el sentido teórico y experimental, la regeneración ambiental se enriquece y se vincula con por lo menos tres campos disímiles entre sí pero coincidentes en el objetivo de sostener el ciclo de la vida: 1) la sustentabilidad, el desarrollo sostenible, la Agenda 2030 y sus actualizaciones; 2) las concepciones sistémicas o comunitarias del *otro desarrollo* y el activismo; y 3) en la teoría marxista y de sus nuevos exponentes; debido a su puntual cuestionamiento sobre el modo de producción tecnocapitalista.

Desde el punto de vista tecnológico, la teoría marxista clásica y contemporánea, es particularmente prolífica. Primero porque da cuenta del papel de las fuerzas productivas del capital, y especialmente del tipo de tecnología capitalista empleada en los procesos de producción y en la generación de diversos problemas ambientales actuales. En segundo lugar, este mirador también permite la formulación de un concepto transhistórico de tecnología como fuerza productiva técnica que pretende la conservación, el desarrollo y la reproducción de la vida humana.

La corriente del *otro desarrollo*, por su parte, destaca la reconexión con los otros, con los cuerpos, con el mundo no humano y con la vida en general. Considera la vida como un sistema mutuamente interconectado. Se trata de una perspectiva epistemológica crítica y sistémica, a partir de la cual surgen la ecología política y otras ciencias o disciplinas ambientales que pueden llamarse híbridas.

Finalmente, el paradigma de la sustentabilidad se destaca porque aportó el andamiaje conceptual, normativo y técnico más difundido para el desarrollo de las tecnologías ambientales y, más recientemente, de las regenerativas.

De este modo, las crisis climática y ecológica, llaman a un entendimiento multidimensional entre prácticamente todas las áreas del conocimiento. A todas las áreas de acción se las urge a incluir en sus cuerpos teóricos y experienciales la cuestión retributiva en lo técnico, ecológico y social. En atención a las generaciones actuales y futuras, los campos externos vinculados a las TAR son llamados a reorganizar sus diálogos.

Metodología para aplicar las TAR

Para el avance del campo metodológico de lo regenerativo, ya fueron propuestos algunos enfoques para su diseño e implementación (Gibbons, et al., 2018). Sin embargo, para el campo de las TAR hace falta todavía un marco metodológico específico, por lo que se requiere un tratamiento mucho más detallado.

Con base en la metodología de investigación Acción Participativa y de Aprendizaje Social (Reed, et al., 2007), los elementos mínimos para aplicar las TAR implican identificar el problema o necesidad, declarar los objetivos regenerativos, elegir la tecnología (diseño) y su implementación bajo un marco participativo de acción y cambio cultural (Figura 2). Se requiere considerar siempre el propósito ulterior y destacar la experiencia de apropiación social en el proceso, cuyo producto es un aprendizaje y una retribución concreta al entorno natural, social y económico. En toda etapa del proceso, la vida es el eje rector, la técnica o método el cómo o medio y la retribución el resultado.

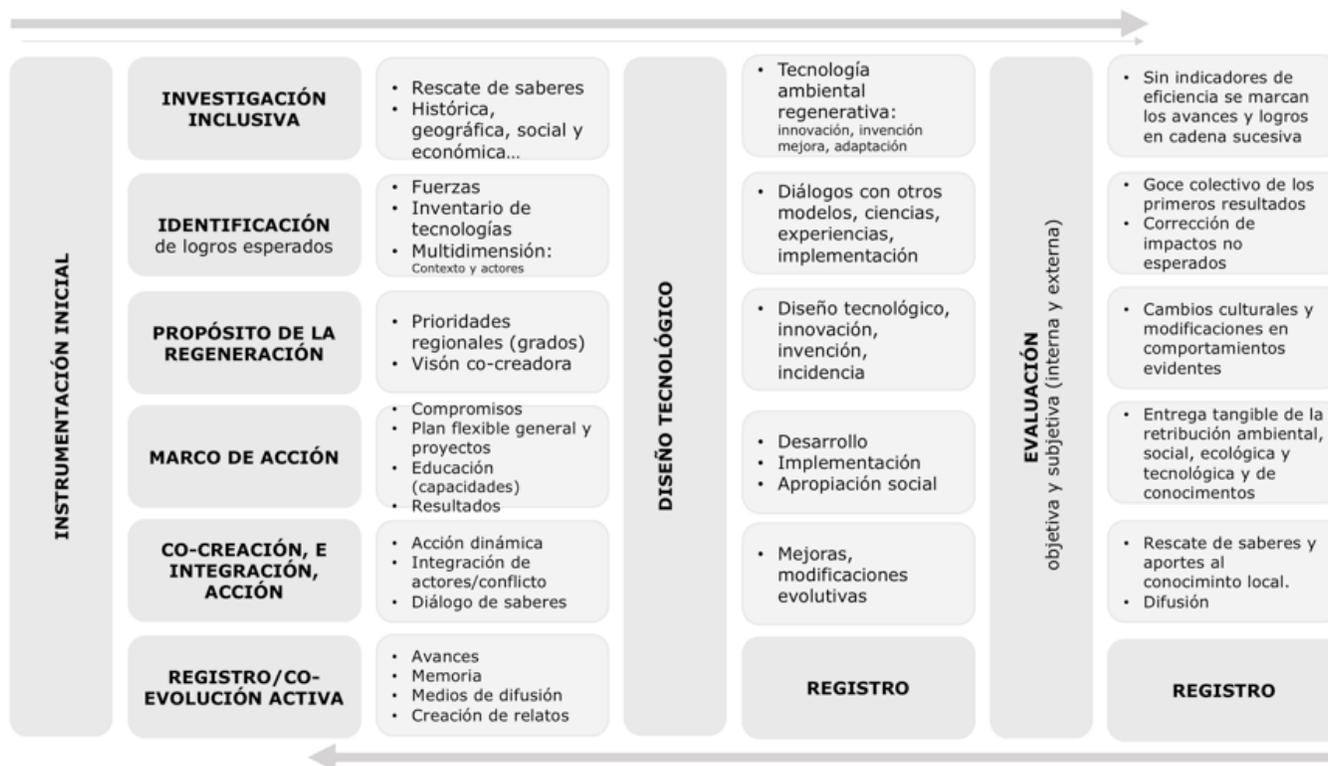


Figura 2. Marco de aplicación de las TAR.

Ejemplificación de la Tecnología Ambiental Regenerativa

De acuerdo a la tipología o división de la TA previamente presentada, se pueden ejemplificar a las TAR a partir del modelo económico dominante. En la siguiente división (Tabla 5) se pueden reconocer a las TAR, a) precapitalistas, b) capitalistas nocivas *versus* creadoras de valor de uso positivo y c) a las transcapitalistas -entendidas como antineoliberales, pero no necesariamente anticapitalistas- (Luna-Nemecio, 2021b). Como característica fundamental, las TAR transcapitalistas y postneoliberales critican y reformulan las estructuras epistemológicas y materiales de los actuales valores de uso sometidos por el capital para inventar nuevos valores de uso verdaderamente potenciadores de la vida y de las relaciones comunitarias.

Tabla 5. Ejemplificación de las TAR en comparación con otras TA.

Tipo de TA	Nombre	Descripción
Precapitalistas	Gestión integral del agua; Milpa y domesticación del maíz; Chinampa, Calendarios y el orden cíclico	La disciplinas arqueológica y antropológica presentan sistemas tecnológicos ancestrales altamente eficientes en la gestión integral de distintos recursos, como el agua por ejemplo. Lo que ha permitido a civilizaciones enteras el mantenimiento de un modo de vida autosuficiente y una cultura milenaria. Se ilustra este aspecto con invenciones como la milpa, la Chinampa o aquellas tecnologías ligadas a los ciclos astronómicos y sus calendarios, lo que permitía la actuación desde un orden cósmico que garantizaba los equilibrios naturales planetarios.

Capitalistas	Nocivas: energía nuclear, petroquímica, movilidad, bioingeniería genética en alimentos, presas, parques eólicos, desarrollos turísticos; extractivismo.	Las tecnologías ambientales capitalistas nocivas están empleadas en múltiples ámbitos y generan un abanico de efectos negativos. A título de ilustración, los efectos biológicos de la radiación producida por la energía nuclear, dependen de la dosis y el grado de absorción de los tejidos, provocando mutaciones, cáncer o la muerte. Estos efectos son foco rojo de contaminación y toxicidad ambiental cuyos tratamientos, como la biorremediación y nanorremediación, pueden requerir del uso de organismos vivos genéticamente modificados. Actualmente la tecnología nuclear se utiliza en la agricultura, la preservación de alimentos, la medicina y la producción de energía eléctrica. En cuanto a los impactos sociales producidos por las TA capitalistas nocivas, se señalan los conflictos generados por la construcción de presas y parques eólicos así como por la contaminación industrial del aire, la tierra y el agua.
	Valor de uso positivo: intermedias o apropiadas, ecotecnología, limpias, biodegradables, de reuso. Ciclo verde. Empresas sociales rurales. Salud.	Las tecnologías capitalistas con valor de uso positivo no tienen como meta la subversión del modo de producción capitalista actual pero aportan beneficios generales en términos de medioambiente. Algunos ejemplos de este tipo de tecnología son La Isla Urbana como modelo tecnológico amigable, económico, descentralizado y participativo basado en tecnologías de captación y saneamiento de agua de bajo costo, acercando conocimientos científicos de avanzada a poblaciones donde era difícil obtenerla. Sus productos o servicios ambientales están orientados a la revitalización, la recuperación o regeneración de ecosistemas locales lo mismo que la atención a los conflictos provocados por la escasez de agua en grandes urbes. En esta veta, se pueden mencionar también la producción de alimentos libre de sustancias sintéticas como los orgánicos y producto de técnicas tradicionales. Quedan representadas también las empresas sociales con manejo sustentable.
Transcapitalistas y postneoliberales	Regenerativas, restaurativas y retributivas: biorremediación y rescate, conocimiento ancestral, compostables y producción tradicional de alimentos.	Las tecnologías ambientales regenerativas tienen como objetivo claro la regeneración del entorno natural. De ellas se cuentan los ejemplos en México. Se puede mencionar a la Chinampa en primer lugar. En efecto, se reconoce no solo porque es una TA precapitalista sino por ser también una oportunidad de TAR transcapitalista al permitir superar problemas relativos al abasto de alimentos y a la contaminación ambiental (reducción de CO ₂). La Chinampa demuestra no solo un uso retributivo al ambiente y al sostenimiento de valores culturales y de convivencia sino que permite un modo autogestivo y calidad de vida a sus practicantes por generaciones. Se puede referir también a la comunidad p'urhepecha de Cherán K'eri, en el estado de Michoacán, cuyas acciones en conjunto, apuntan hacia la regeneración. Otro ejemplo sería la cultura que promueve las ciudades regenerativas. Por su parte, la permacultura permitiría superar el modelo hegemónico de la sostenibilidad —economía verde—, por un concepto de administración de la tierra tendiente a la regeneración de los determinantes de la vida humana y natural, como principio y base iniciales. En este modelo, el uso de tecnología para resolver los problemas ambientales se volvería más colectivo y democrático ya que se considera innecesario dejarla en manos de una ciencia costosa y compleja.

Estos tres grupos con sus ejemplos, si bien son representativos de los distintos tipos de TA y de TAR, no son exhaustivos. Existe evidencia de otros ejemplos en cuanto a tecnología ambiental ligada a procesos de regeneración, pero se encuentran aislados y desarticulados entre sí. Especialmente cuando provienen de la acción social y son promovidos por colectivos u otro tipo de organizaciones autogestivas, civiles, innovadoras y contestatarias. Además, regularmente sus medios de difusión se encuentran lejos de las bases de datos científicas.

Dentro del paradigma clásico de la sostenibilidad, la protección del medioambiente no significó un cambio sustancial en el modelo económico capitalista actual, a pesar de la devastación ecológica y de su horizonte catastrofista para el futuro. La tecnología respaldada por el discurso del desarrollo sostenible había estado encauzada hacia la extracción de ganancias y la acumulación de capital, antes de estar orientada a la guarda de los entornos naturales. En este marco, la reflexión acerca de las TA propiamente regenerativas precisa sostenerse en un cuestionamiento riguroso del tipo de tecnología capitalista desarrollada hasta la fecha, con base en las relaciones de poder y de explotación que conforman el núcleo del modo de producción capitalista.

Tal cuestionamiento parte de una consideración acerca de las finalidades esenciales que tiene toda tecnología respecto al desarrollo de la humanidad. A partir de los planteamientos de la teoría formulada por Karl Marx y los avances realizados por Jorge Veraza, a la tecnología se la puede considerar una fuerza productiva técnica de la humanidad; por tanto, se entiende como un medio, una herramienta -en su parte subjetiva y material- para el mantenimiento, la reproducción y el desarrollo de la vida humana; proceso en la cual la naturaleza es parte consustancial. Además, porque el ser humano al ser un ente fundamentalmente libre, las fuerzas productivas desplegadas por él mismo han de tener un propósito esencialmente libertario.

Estas finalidades humanas y libertarias de las fuerzas productivas técnicas —las cuales abarcan a la tecnología— han sido históricamente contradichas por el desarrollo del modo de producción capitalista y, en particular, por los requerimientos del capital en términos de acumulación. A partir del siglo XX a la fecha, este trastocamiento fue incluso sinónimo de tecnologías propiamente nocivas para la reproducción de la vida humana y de toda la vida natural en general.

El debate acerca de las TAR requiere partir no solo del cuestionamiento básico en torno a las finalidades reales del desarrollo tecnológico actual, sino forzosamente ha de partir de una crítica sobre el tipo de ciencia desplegada desde el siglo pasado. El camino hacia la regeneración tecnológica es largo todavía; por lo que precisa apoyarse y conectarse con reflexiones de corte epistemológico, ontológico, teórico y práctico, no solamente a propósito de la crisis climática y socioambiental, sino del papel y de las funciones de la tecnología por sí misma en sus múltiples contextos.

[Retos y perspectivas de las Tecnologías Ambientales Regenerativas en México](#)

Las TAR venidas de una visión positiva, diferenciadora y acorde a valores humanos universales, demuestran para México un potencial elevado para materializar la solución a múltiples efectos climáticos, ecológicos y sociales, pero al mismo tiempo, se enfrentan grandes retos.

Primero destacar que el despliegue de las TA en México como en el resto del mundo no puede explicarse sin considerar al menos los siguientes campos: a) el avance tecnológico-industrial por sí mismo; b) el modelo económico preponderante y las dinámicas de los distintos ambientes macro urbanos y rurales; c) las reservas ecológicas y su biodiversidad con relación a variables planetarias; d) el desarrollo normativo e institucional asociado a todos los campos regulatorios vinculantes; e) el desarrollo de la ciencia, la investigación y la educación ambiental social o formal; f) los problemas históricos, directos e indirectos derivados de los procesos organizativos y los conflictos socioambientales imperantes; y especialmente, g) el desarrollo de las TA y TAR como área de conocimiento integral. Así, a cada uno de estos pilares le compete un aspecto analítico de la TA y por tanto de la TAR, lo que señala atribuciones detalladas para todo campo implicado.

En segundo lugar, los principales desafíos de la TA y de la TAR en México se reconocen a partir de la identificación de los problemas socioambientales prioritarios, producto de un diagnóstico breve sobre las realidades locales. Los problemas prioritarios hallados se pueden enmarcar en el crecimiento constante de la demanda de energía, el cambio del clima, la tendencia exponencial del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, el incremento de la contaminación de los suelos, las aguas y el aire; la progresiva degradación de los ecosistemas naturales, la pérdida de especies y los problemas relacionados al cambio de uso de suelo. Se suman también la conflictividad causada por la puesta en marcha de los megaproyectos y diversos conflictos socioambientales comunes a todo el continente latinoamericano, así como problemas socioecológicos propios al territorio mexicano. Además, por ser el territorio mexicano altamente diverso, sus regiones corresponden a climas, culturas y problemáticas específicas; tal hecho particulariza necesidades, así como conflictividades y desigualdades en torno a recursos naturales (Gavito, et al., 2017) the incorporation of the scientific community (among them ecologists).

En tercer lugar, la identificación de la potencialidad del desarrollo de las TAR en México implica reconocer que, aunque desde la década de los años 70 se presentan datos sobre el deterioro ambiental, es hasta el año 2019 cuando el Estado mexicano expone la magnitud de la crisis climática y ecológica nacional, señalando la falta de información y registros actualizados sobre el grado de

la devastación ambiental real y el rol nocivo del sector tecnológico industrial. En el diagnóstico de emergencia ambiental regionalizado de los Programas Nacionales Estratégicos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), se reconocen abiertamente los problemas y los grupos sociales más afectados por la alta nocividad ambiental alcanzada en últimas décadas, donde tienen especial mención las prácticas depredadoras de los corredores industriales, cuyo crecimiento y aceleración, ha generado múltiples escenarios de degradación y conflictividad socioambiental (Luna-Nemecio, 2021a).

En términos prácticos, estos diagnósticos proporcionan una base sobre la cual es posible diseñar tecnologías ambientales regenerativas no solamente restauradoras. Tal diseño no puede restringirse a la solución de los problemas ecosistémicos o socioambientales prioritarios del país, sino al propósito de regeneración desde una perspectiva multidimensional más amplia. El proceso implicaría seguir apostando por la integración de saberes, de actores sociales y de tecnología de primer nivel para alcanzar una auténtica y definitiva reversión de daños; especialmente la restauración de los daños que la industria y el modelo de desarrollo económico capitalista impusieron a los territorios y a las comunidades mexicanas. Lo anterior es posible, reconociendo que se trata de los primeros pasos. Así, con base en la evidencia empírica, es posible afirmar que aun no se ha concretado el modelo de desarrollo tecnológico, científico y ecológico lo suficientemente innovador, regenerativo, retributivo y emancipatorio en México.

CONCLUSIONES

México y el mundo, enfrentan una oportunidad histórica para ir más allá de la protección pasiva de entornos productivos ambientales o urbanos y dirigirse hacia una auténtica regeneración. El reto exige un replanteamiento integral del paradigma tecnocientífico actual, considerando que toda tecnología o sus productos o servicios inciden en el ambiente; en materia propiamente ambiental o específicamente regenerativa, sus soluciones, no han de pertenecer al campo de las ingenierías ni de las ciencias experimentales por exclusivo. El replanteamiento tecnocientífico implica orientar todo diseño tecnológico hacia el desarrollo y la reproducción de la vida natural en general y la humana en particular. De este modo, la invención o innovación tecnológica en términos de regeneración, presenta dimensiones teóricas y prácticas de suma complejidad, por lo que se requerirá un corpus teórico-práctico más robusto.

Al contextualizar el campo de desarrollo de las tecnologías ambientales y su relación con las regenerativas, se encontró una relación co-evolutiva con otros cuerpos de conocimiento como la teoría crítica, la teoría de los sistemas vivos y el propio paradigma de la sustentabilidad, incluyendo también los conocimientos ancestrales ambientales.

La construcción de la noción de tecnología ambiental regenerativa sigue en proceso. En efecto, el concepto se asume en un campo de amplia interconectividad, alta dinamicidad y complejidad; de ahí que el uso de la cartografía conceptual como técnica investigativa permitiera, a partir de sus ocho ejes, sistematizar y orientar la búsqueda documental así como guiar la construcción del corpus conceptual de las tecnologías ambientales regenerativas. Sin embargo, precisa de una mayor delimitación de las características; profundizar en los criterios metodológicos y en los mecanismos de vinculación.

En cuanto a delinear los retos y perspectivas de la tecnología ambiental regenerativa en México con base en un diagnóstico breve, se puede concluir que su desarrollo en el país, avanza, es viable y necesaria; aunque implica la superación de varios obstáculos. Los principales problemas ecosistémicos o socioambientales identificados requieren de una intervención acelerada que supone la reestructuración además, del paradigma retributivo en las dimensiones socioeducativa, tecnológico-científica, ecológica y económica.

Una limitante de la investigación radicó en que el acceso a información detallada sobre los tipos de tecnologías ambientales regenerativas actuales se encuentran en bases de datos que no gozan de un alto nivel de indización, especialmente en el caso de aquellas asociadas a conocimientos ancestrales. La exposición reducida de estos temas en bases documentales digitales como Scopus o Web of Science, provocan cierta invisibilidad pese a su creciente importancia investigativa. Esto abre oportunidades para valorar el trabajo de campo y el uso de otras fuentes documentales, incluidas las llamadas grises.

Finalmente y con miras a identificar a las tecnologías regenerativas ambientales vivas, queda pendiente la tarea de ampliar la mirada continental sobre tecnologías ambientales regenerativas con un doble propósito: 1) seguir trazando su mapa; y 2) explicar más ampliamente cómo este tipo de tecnología regenerativa precapitalista, capitalista o postcapitalista incide en los procesos de desarrollo regional y en el cambio cultural global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrizabaló, X. (2018). Imperialismo, destrucción de fuerzas productivas y crisis crónica del capitalismo: El Capital, instrumento imprescindible para comprender la economía mundial actual. *Economía y Desarrollo*, *160*(2).
- Camrass, K. (2021). Urban regenerative thinking and practice: a systematic literature review. *Building Research and Information*, *0*(0), 1–12.
- Cota-Ruiz, K., Nuñez-Gastelúm, J. A., Delgado-Rios, M., & Martínez-Martínez, A. (2018). Biorremediación: Actualidad De Conceptos Y Aplicaciones. *Biotecnía*, *21*(1), 37–44.
- Dewick, P., Maytorena-Sanchez, E., & Winch, G. (2019). Regulation and regenerative eco-innovation: the case of extracted materials in the UK. *Ecological Economics*, *160*, 38–51.
- Diamond, S. (2019). Addressing the imagination gap through STEAMM+D and indigenous knowledge. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, *116*(6), 1851–1856.
- Egmose, J., Jacobsen, S. G., Hauggaard-Nielsen, H., & Hulgard, L. (2021). The regenerative turn: on the re-emergence of reciprocity embedded in living ecologies. *Globalizations*, *18*(7), 1271–1276.
- Estenssoro, F. (2015). El Ecodesarrollo como concepto precursor del desarrollo sustentable y su influencia en América Latina. *Universum (Talca)*, *30*(1), 81–99. <https://doi.org/10.4067/s0718-23762015000100006>
- Gavito, M. E., Van der Wal, H., Aldasoro, E. M., Ayala-Orozco, B., Bullén, A. A., Cach-Pérez, M., Casas-Fernández, A., Fuentes, A., González-Esquivel, C., Jaramillo-López, P., Martínez, P., Masera-Cerruti, O., Pascual, F., Pérez-Salicrup, D. R., Robles, R., Ruiz-Mercado, I., & Villanueva, G. (2017). Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *88*, 150–160.
- Gibbons, L., Cloutier, S., Coseo, P., & Barakat, A. (2018). Regenerative Development as an Integrative Paradigm and Methodology for Landscape Sustainability. *Sustainability*, *10*(6).
- Girardet, H. (2020). People and Nature in an Urban World. *One Earth*, *2*(2), 135–137.
- González-Márquez, I., & Toledo, V. (2020). Sustainability science: A paradigm in crisis? *Sustainability (Switzerland)*, *12*(7), 1–18.
- Hauschild, M. Z., Kara, S., & Røpke, I. (2020). Absolute sustainability: Challenges to life cycle engineering. *CIRP Annals*, *69*(2), 533–553.
- Luna-Nemecio, J. (2021a). Conflictos socioambientales por la defensa del agua en México: un meta-análisis cartográfico conceptual. *Industry and Higher Education*, *13*(4), 398–412.
- Luna-Nemecio, J. (2021b). Sustentabilidad y resiliencia: Avatares y alternativas para las ciudades frente a la devastación socioambiental en el siglo XXI. *Bitacora Urbano Territorial*, *31*(2), 7–13.
- Morseletto, P. (2020). Restorative and regenerative: Exploring the concepts in the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, *24*(4), 763–773.
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, *14*(3), 681–695.
- Reed, M. S., Dougill, A. J., & Taylor, M. J. (2007). Integrating local and scientific knowledge for adaptation to land degradation: Kalahari rangeland management options. *Land Degradation and Development*, *18*(3), 249–268.
- Robinson, J., & Cole, R. J. (2015). Theoretical underpinnings of regenerative sustainability. *Building Research and Information*, *43*(2), 133–143.
- Waisman, H., De Coninck, H., & Rogelj, J. (2019). Key technological enablers for ambitious climate goals: Insights from the IPCC special report on global warming of 1.5 °C. *Environmental Research Letters*, *14*(11), 1–5.