

# Regenerar para Descarbonizar: Trayectorias Ambientales en el Antropoceno

A stylized, grey-toned graphic of a tree with a thick trunk and several branches, set against a light grey circular background. The tree is positioned on the right side of the page, partially overlapping the main title.

Diosey Ramon Lugo-Morin <sup>1</sup>

## RESUMEN

Este estudio examina críticamente cómo la transición a una economía regenerativa puede acelerar la descarbonización global en la era del Antropoceno. Al borde de una crisis climática sin precedentes, la humanidad se encuentra en una encrucijada crítica. La transición de una economía "gris" -impulsada por los combustibles fósiles y las prácticas insostenibles- a una economía "verde" y regenerativa no es sólo una opción, sino una necesidad urgente para garantizar la supervivencia y la prosperidad de las generaciones futuras. El análisis explora estrategias para avanzar en la descarbonización mediante la adopción de modelos económicos regenerativos, situando el debate en el contexto del dominio humano y su profundo impacto en los sistemas de la Tierra. El estudio sostiene que abordar el reto de la descarbonización en el marco del capitalismo global requiere un enfoque integral y multidimensional. Esto incluye el uso de soluciones basadas en la naturaleza junto con una reestructuración fundamental de los sistemas económicos y sociales.

**Palabras clave:** economía verde, red cero, carbono, sostenibilidad, desarrollo.

---

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional (Colegio de Postgraduados, México), Investigador Independiente, México. ORCID: 0000-0003-2689-7752. E-mail: dioseylugo@gmail.com

**E**ste estudio examina críticamente cómo la transición a una economía regenerativa puede acelerar el proceso de descarbonización global en la era de la dominación humana. Esta era, también conocida como el Antropoceno y considerada por muchos expertos como una nueva época geológica, representa un punto de inflexión en la historia de la Tierra. Se caracteriza por el impacto de la actividad humana en la configuración del futuro del planeta. Las acciones antropogénicas ya han influido decisivamente en los sistemas de la Tierra, alterando los procesos naturales y dejando una huella indeleble en el registro geológico<sup>2,3,4,5</sup>, impulsadas principalmente por el crecimiento exponencial de la población humana y el aumento del consumo per cápita<sup>6</sup>, factores que operan en un contexto de hiperconectividad global<sup>7,8</sup>; esta interconexión, facilitada por las tecnologías de la información y la comunicación, no sólo ha transformado la dinámica económica, sino que ha impregnado todas las esferas de la actividad humana y su interacción con el entorno natural, reconfigurando aspectos económicos, culturales, políticos, ecológicos y sociales a escala planetaria<sup>9,10</sup>. La biosfera se encuentra en el epicentro de esta convergencia de fuerzas transformadoras y está experimentando cambios potencialmente irreversibles en los sistemas ecológicos globales<sup>11,12</sup>, que se manifiestan en una pérdida de biodiversidad, cambios en los patrones climáticos globales, alteraciones en los ciclos biogeoquímicos fundamentales y una degradación generalizada del suelo y expansión de las zonas áridas. La evolución de la Tierra se está reconfigurando frente a la humanidad. El insaciable apetito de progreso de la

<sup>2</sup> Malhi Yadvinder, "El concept of the Anthropocene", *Annual Review of Environment and Resources*, n° 42 (2017), p. 77-104.

<sup>3</sup> Steffen Will, Crutzen Paul & McNeill, John, "The anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature", *Ambio*, vol. 36 n° 8 (2007), p. 614-621.

<sup>4</sup> Castree Noel, "The anthropocene and the environmental humanities: extending the conversation", *Environmental Humanities*, n° 5 (2014), p. 233-260.

<sup>5</sup> Zalasiewicz Jan, Williams Mark, Haywood Alan & Ellis, Michael, "The anthropocene: a new epoch of geological time", *Phil. Trans. R. Soc. A*, n° 369 (2011), p. 835-841.

<sup>6</sup> Erlich Paul & Erlich Anne, "Can a collapse of global civilization be avoided", *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 280 n° 1754 (2013), p. 1-9.

<sup>7</sup> Grumbach Stéphane & Hamant Olivier, "Digital revolution or anthropocenic feedback?", *The Anthropocene Review*, vol. 5 n° 1 (2018), p. 87-96.

<sup>8</sup> Lade Steven, Steffen Will, et al., "Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions", *Nature Sustainability*, n° 3 (2020), p. 119-128.

<sup>9</sup> Anttiroiko Ari-Veikko, "Castells network concept and its connections to social, economic and political network analyses", *Journal of Social Structure*, n° 16 (2015), p. 1-18.

<sup>10</sup> Surugiu Marius-Răzvan & Surugiu, Camelia, "International trade, globalization and economic interdependence between european countries: implications for businesses and marketing framework", *Procedia Economic and Finance*, n° 32 (2015), p. 131-138.

<sup>11</sup> Herrfahrdt-Pähle Elke, Schlüter Maja, et al., "Sustainability transformations: socio-political shocks as opportunities for governance transitions", *Global Environmental Change*, n° 63 (2020), 102097.

<sup>12</sup> Görg Christoph, Plank Christina, et al., "Scrutinizing the Great Acceleration: The Anthropocene and its analytic challenges for social-ecological transformations", *The Anthropocene Review*, vol. 7 n° 1 (2020), p. 42-61.

humanidad está erosionando la biosfera, empujándola más allá de sus límites regenerativos<sup>13,14</sup>. Este ataque se manifiesta en una tragedia de tres actos: Primero, la sobreexplotación de las fuentes renovables de vida (el agua dulce se está agotando, los bosques se están deforestando); segundo, el agotamiento de los recursos finitos de la Tierra (los combustibles fósiles y los minerales están desapareciendo de las bóvedas del planeta); y en tercer lugar, y quizás lo más inquietante, la erosión de la resistencia de los ecosistemas (los amortiguadores de la naturaleza se están agotando, comprometiendo la capacidad del planeta para mantener sus servicios vitales frente a las crecientes perturbaciones). Al empujar contra estos límites planetarios, nos encontramos en una carrera contrarreloj, desafiados a redefinir nuestra relación con el único escenario que hemos conocido: La Tierra.

Las proyecciones actuales muestran un panorama preocupante para el futuro. Si no se controlan las tendencias actuales de crecimiento demográfico y consumo excesivo, se prevé que la demanda humana de recursos y servicios ecosistémicos supere en un 100% la capacidad de regeneración del planeta de aquí a 2050<sup>15</sup>. Así pues, esta era representa tanto un reto como una oportunidad para redirigir el curso de la civilización humana hacia un futuro sustentable y equitativo, lo que requiere una comprensión profunda de la interconexión de los sistemas de la Tierra.

Una paradoja global se está desarrollando con intensidad: mientras la ciencia reclama con urgencia una reducción de las emisiones de gases que cambian el clima, especialmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), la sociedad se encuentra en una encrucijada ideológica. Durante décadas, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha advertido de un futuro sombrío. Pero esta urgencia científica choca con el escepticismo y las prioridades económicas a corto plazo. En el centro de esta controversia hay una pregunta clave: ¿Son los niveles de CO<sub>2</sub> un indicador válido del progreso de la sociedad? Este debate divide a las naciones, sobre

---

<sup>13</sup> Ceballos Geraldo, García Andrés & Ehrlich Paul, "The sixth extinction crisis loss of animal populations and species", *Journal of Cosmology*, n° 8 (2010), p. 1821-1831.

<sup>14</sup> Jean-Louis Martin, Virginie Maris & Daniel Simberloff, "The need to respect nature and its limits challenges society and conservation science", *PNAS*, vol. 113 n° 22 (2016), p. 6105-6112.

<sup>15</sup> Andrea Collins, Alessandro Galli, et al., "Living within a One Planet reality: the contribution of personal Footprint calculator", *Environmental Research Letters*, vol. 15 n° 2 (2020), p. 1-14.

todo en países como Estados Unidos, donde la sustentabilidad ambiental suele quedar eclipsada por el crecimiento económico<sup>16</sup>. La reticencia a dar prioridad a la reducción del CO<sub>2</sub> por encima de los intereses económicos refleja no sólo la miopía política, sino también las contradicciones del modelo de desarrollo capitalista. A medida que el mundo se acerca a un punto de inflexión climático, conciliar progreso y sustentabilidad nunca ha sido tan urgente ni tan difícil<sup>17</sup>. Esta actitud refleja una dicotomía en la percepción global de la descarbonización: mientras algunos países la ven como una oportunidad para el desarrollo sustentable, otros la consideran una amenaza para su crecimiento económico<sup>18,19</sup>. Entre estos últimos, está la reticencia de Estados Unidos a comprometerse plenamente con los objetivos globales de descarbonización. El modelo capitalista, que da prioridad a la generación incesante de beneficios, encuentra en EE.UU a un firme defensor y se consolida con la postura de su presidente Donald Trump. Desde esta perspectiva, los intereses económicos a menudo pesan más que la necesidad urgente de adoptar medidas ambientales. Las alianzas internacionales forjadas por EE.UU tienden a estar impulsadas por intereses comunes más que por principios de reciprocidad. Este enfoque centrado en la economía ayuda a explicar la reticencia del país a tomar medidas decisivas para abordar la crisis climática en esta coyuntura crítica de la historia<sup>16</sup>.

A pesar de estos retos políticos y económicos, las proyecciones científicas subrayan la gravedad de la situación. Según Lashitew y Mu<sup>16</sup>, incluso con la aplicación de políticas de mitigación eficaces y el desarrollo de tecnologías negativas para las emisiones<sup>20</sup>, es probable que el calentamiento global supere los 3°C a finales del siglo XXI. Este escenario subraya la urgencia de un cambio de paradigma en el pensamiento sobre el desarrollo y la necesidad de un sólido compromiso global con la descarbonización que trascienda los intereses nacionales a corto plazo en favor de la

---

<sup>16</sup> Pavone Ilja Richard, "The Paris Agreement and the Trump administration: Road to nowhere", *Journal of International Studies*, vol. 11 n° 1 (2018), p. 34-49.

<sup>17</sup> Lashitew Addisu & Mu Youqing, "Corporate opposition to climate change disclosure regulation in the United States", *Climate Policy*, (2024), p. 1-16.

<sup>18</sup> Kedia Shailly, "Approaches to low carbon development in China and India", *Advances in Climate Change Research*, vol. 7 n° 4 (2016), p. 213-221.

<sup>19</sup> Zhang ZhongXiang, "Making the Transition to a low-carbon economy: the key challenges for China", *Asia & The Pacific Policy Studies*, vol. 3 n° 2 (2016), p. 187-202.

<sup>20</sup> Ho David, Lamers Patrick, et al., "Navigating the obstacles of carbon-negative technologies", *One Earth*, vol. 7 n° 9 (2024), p. 1471-1476.

sostenibilidad planetaria a largo plazo. En la cúspide de una crisis climática sin precedentes, la humanidad se encuentra en una encrucijada crucial que exige una transformación radical de los sistemas económicos y sociales, pasando de una economía "gris" basada en combustibles fósiles y prácticas insostenibles a una economía "verde" y regenerativa, una transición que no es una mera opción sino una necesidad para garantizar la supervivencia y prosperidad de las generaciones futuras; ofreciendo una visión esperanzadora de un futuro sustentable en medio de proyecciones climáticas cada vez más alarmantes que subrayan la urgencia de tomar medidas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Una economía regenerativa, a diferencia del actual modelo extractivo, busca no sólo minimizar el daño ambiental sino restaurar y regenerar los ecosistemas, basándose en principios fundamentales como la circularidad, que pretende diseñar sistemas de producción y consumo que eliminen el concepto de "residuo" imitando los ciclos cerrados de la naturaleza; la biomímesis, que se basa en los procesos naturales para desarrollar tecnologías y sistemas eficientes y sustentables; una transición completa hacia fuentes de energía limpias y renovables; y, por último, pero no por ello menos importante, una política de desarrollo sustentable, que se base en los principios de subsidiariedad y proporcionalidad. La adopción de un modelo económico regenerativo impulsa la descarbonización mediante innovación en energías limpias, economía circular, agricultura regenerativa, transporte y construcción sustentable, reduciendo emisiones y promoviendo prácticas eficientes y ecológicas.

## **METODOLOGÍA**

Para alcanzar el objetivo propuesto en este estudio, se adoptó un enfoque metodológico cualitativo de carácter ensayístico-analítico, utilizando como herramienta principal el análisis documental crítico. Este enfoque permite articular conceptualmente las dimensiones teóricas del Antropoceno con las estrategias de descarbonización y los modelos de economía regenerativa, estableciendo diálogos interdisciplinarios entre diferentes tradiciones de pensamiento ambiental.

La búsqueda bibliográfica se estructuró en torno a tres ejes temáticos principales: el Antropoceno como contexto geológico-social, la descarbonización como imperativo climático, y la economía regenerativa como paradigma alternativo. La estrategia de búsqueda se guio por palabras clave seleccionadas: "Antropoceno", "descarbonización", "economía gris", "economía verde", "economía regenerativa", "cambio climático" y "políticas públicas". Para garantizar una revisión exhaustiva y actualizada, se consultaron bases de datos bibliográficas académicas de renombre: Wiley, SpringerLink, Elsevier, MDPI y BMC, complementadas con documentos de organizaciones internacionales (IPCC, UNEP, NOAA) para incorporar perspectivas de gobernanza global.

El proceso de investigación supuso una revisión inicial de 100 documentos, de los que se seleccionaron 68 por su pertinencia temática y contribución significativa al debate propuesto. Los criterios de selección incluyeron: 1) relevancia temática directa con los ejes de análisis; 2) actualidad (prioridad a publicaciones post-2010, especialmente para datos climáticos); 3) diversidad de enfoques disciplinarios (ciencias naturales, sociales, humanidades ambientales); 4) calidad académica (publicaciones revisadas por pares en revistas indexadas); y 5) diversidad geográfica de estudios empíricos citados, aunque predomine literatura anglófona debido a la hegemonía de esta tradición en los debates sobre Antropoceno. La estrategia analítica adoptada se caracterizó por tres dimensiones complementarias. Primero, un análisis de contenido temático que identifica los principales argumentos sobre: a) definiciones y periodizaciones del Antropoceno; b) estrategias técnicas y políticas de descarbonización; y c) principios y prácticas de economía regenerativa. Segundo, un análisis crítico-conceptual que examina las tensiones epistémicas entre narrativas tecno-optimistas, eco-catastrofistas y eco-marxistas del Antropoceno, evaluando sus implicaciones para pensar alternativas económicas. Tercero, una síntesis interpretativa que articula estos hallazgos en una propuesta conceptual original: la narrativa de "coevolución tecnológica" entre sistemas naturales y humanos.

Esta metodología reconoce explícitamente su carácter ensayístico: no pretende realizar un análisis bibliométrico exhaustivo ni una revisión sistemática en sentido

estricto, sino movilizar críticamente un corpus bibliográfico robusto para construir un argumento conceptual original sobre las trayectorias ambientales posibles en el Antropoceno. El análisis se posiciona desde las humanidades ambientales, privilegiando la reflexión teórica y la articulación conceptual sobre el mapeo cuantitativo de tendencias bibliográficas. Esta opción metodológica implica limitaciones reconocidas: la ausencia de análisis de frecuencias discursivas, la subjetividad inherente a la selección e interpretación bibliográfica, y la predominancia de fuentes secundarias sobre datos primarios o estudios de caso detallados.

El proceso de búsqueda, organización y análisis de los 68 documentos seleccionados se llevó a cabo a lo largo de seis meses, de febrero a julio de 2024. Este marco temporal permitió un examen detallado y reflexivo de la literatura, facilitando la identificación de patrones conceptuales, tensiones teóricas y hallazgos que sustentan la propuesta de este estudio: repensar la descarbonización no solo como desafío técnico, sino como oportunidad para reimaginar las relaciones socioecológicas en clave regenerativa.

### **PROBLEMATIZACIÓN EN TORNO AL ANTROPOCENO Y LA DESCARBONIZACIÓN**

En este estudio, la problematización se entiende como un proceso en el que una idea, situación o concepto que generalmente se da por sentado se examina críticamente para revelar su complejidad subyacente y cuestionar los supuestos establecidos. Este enfoque, utilizado principalmente en contextos académicos y filosóficos, no busca necesariamente resolver un problema, sino comprenderlo en toda su profundidad, teniendo en cuenta múltiples perspectivas y desvelando relaciones de poder ocultas.

El Antropoceno está emergiendo como concepto político, acuñado para llamar la atención sobre la magnitud del impacto antropogénico a escala planetaria. Este término no sólo pone de relieve los cambios físicos en el medio ambiente global, sino que también plantea cuestiones fundamentales sobre la agencia humana y la

responsabilidad ética en el contexto de la vida contemporánea<sup>21</sup>. Este fenómeno no surgió como resultado de una planificación deliberada, sino como consecuencia imprevista de la industrialización de las sociedades humanas<sup>22</sup>. Esto marca un cambio crucial en la dinámica entre la humanidad y el sistema terrestre. A lo largo de la historia, el compromiso humano con las fuerzas geológicas del planeta sólo se ha producido en unas pocas ocasiones excepcionales. Entre estos raros ejemplos, el Protocolo de Montreal destaca como el caso más citado<sup>23</sup>, demostrando el potencial de una acción global coordinada para mitigar los impactos antropogénicos sobre los sistemas. Este precedente subraya la posibilidad de una intervención humana positiva a escala global. En este contexto, el concepto de agencia se vuelve crucial y emerge como eje central para catalizar e implementar las transformaciones necesarias. Estas transformaciones tienen como objetivo no sólo limitar el calentamiento global a niveles manejables, sino alcanzar el amplio abanico de metas establecidas en los ODS, desde la erradicación de la pobreza hasta la preservación de los ecosistemas. En este sentido, la noción de agencia va más allá de la mera capacidad de acción individual o institucional.

La capacidad de la humanidad para influir en la biosfera está redefiniendo los límites de su existencia. Esta agencia humana global se manifiesta de formas heterogéneas que varían considerablemente entre individuos y grupos sociales, lo que añade complejidad a la gestión de sus impactos y su potencial. Otto et al<sup>24</sup> sostienen que para lograr un uso eficiente de los recursos y una gestión sostenible de los ecosistemas -ya sean globales, regionales o locales- es imprescindible intervenir y mejorar las instituciones sociales existentes. En su opinión, la metamorfosis de la sociedad siempre implica un componente catalizador de perturbación. Este proceso implica la deconstrucción de dinámicas sociales y marcos institucionales arraigados, allanando el camino para la aparición de nuevos paradigmas organizativos y modos de funcionamiento. Sin embargo, es importante adoptar una postura crítica ante esta

---

<sup>21</sup> Moore Amelia, "Anthropocene anthropology: reconceptualizing contemporary global change", *Journal of the Royal Anthropological Institute*, vol. 22 n° 1 (2016), p. 27-46.

<sup>22</sup> Crutzen Paul, (2006). "The Anthropocene", In: Ehlers E., Krafft T. (eds.) *Earth System Science in the Anthropocene*. (Berlin, Heidelberg: Springer, 2006).

<sup>23</sup> Velders Guus, Andersen Stephen, et al., "The importance of the Montreal Protocol in protecting climate", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104 n° 12 (2007), p. 4814-4819.

<sup>24</sup> Otto Ilona, Wiedermann Marc, et al., "Human agency in the Anthropocene", *Ecological Economics*, n° 167 (2020), 106463.

propuesta. Aunque es innegable que las instituciones sociales se renuevan a lo largo de la historia, cabe cuestionar la suposición de que estos cambios puedan ser dirigidos o impuestos por agentes externos. La dinámica del cambio institucional suele emanar de los propios grupos sociales que las constituyen y sostienen, respondiendo a sus cambiantes necesidades, valores y aspiraciones.

En la milenaria historia de la humanidad, nuestra especie ha estado inextricablemente entrelazada con el mundo natural. Desde los primeros cazadores-recolectores, que dependían de la generosidad de la tierra para su sustento, hasta los modernos conservacionistas que luchan por proteger los frágiles ecosistemas de la Tierra, la relación de la humanidad con la naturaleza ha sido un hilo conductor constante en nuestra historia colectiva. Sin embargo, con el avance de la civilización, el crecimiento demográfico y el desarrollo tecnológico, esta relación se ha ido convirtiendo gradualmente en una dinámica de explotación y degradación del entorno natural. La Huella Ecológica, introducida por Wackernagel y Rees<sup>25</sup>, proporciona un marco para medir el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas. Este enfoque demuestra que prácticamente todas las actividades cotidianas -desde bañarse, comer, desplazarse, trabajar y estudiar- contribuyen a la emisión de CO<sub>2</sub>, agravando así la crisis climática.

En este sentido, reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> es un reto que va más allá de simples ajustes técnicos o legislativos. Requeriría un cambio radical en los estilos de vida de las sociedades modernas<sup>26</sup>, un cambio profundo en el statu quo que rige nuestras formas de producción y consumo<sup>25</sup>. La realidad, sin embargo, es que la mayoría de la gente no está dispuesta a realizar cambios tan profundos. A pesar de ser conscientes de las implicaciones destructivas del actual modelo de desarrollo y del metabolismo social que lo sustenta<sup>25</sup>, las sociedades contemporáneas tienden a priorizar la comodidad, el consumo y el crecimiento económico por encima de la sustentabilidad ambiental. Entonces, hablar de descarbonización como vía hacia el desarrollo sustentable es, por tanto, una utopía en las actuales condiciones metabólicas

---

<sup>25</sup> Wackernagel Mathis, & Williams, Rees, *Our Ecological Footprint*. (Filadelfia: New Society Publishers, 1996).

<sup>26</sup> Toledo Victor, "El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica", *Relaciones*, n° 136 (2013), p. 41-71.

de la sociedad<sup>25</sup>. La magnitud del cambio necesario para lograr una verdadera descarbonización no se refiere únicamente a la tecnología o a las políticas públicas, sino a los propios cimientos sobre los que se asientan nuestras economías y estilos de vida. Sin una profunda reestructuración del sistema socioeconómico mundial y una reevaluación de las prioridades humanas, la descarbonización sigue siendo un objetivo inalcanzable en las condiciones actuales. Sólo mediante un replanteamiento radical y una acción colectiva transformadora será posible construir un futuro en el que el desarrollo no esté en constante conflicto con los límites ecológicos del planeta. Es necesario, sin embargo, ejercer una reflexividad crítica sobre los conceptos centrales que estructuran este análisis. Tanto "Antropoceno" como "economía regenerativa" son términos políticamente disputados cuyas definiciones encierran posicionamientos epistémicos y normativos no neutrales. El concepto de Antropoceno, aunque útil para visibilizar la magnitud del impacto humano, homogeneiza bajo el término "antropos" (humanidad) responsabilidades asimétricas: las élites industriales y financieras del Norte global han contribuido desproporcionadamente a la acumulación atmosférica de CO<sub>2</sub>, mientras comunidades indígenas, campesinas y poblaciones del Sur global sufren los impactos más severos habiendo contribuido mínimamente<sup>3</sup>. Esta crítica ha dado origen a conceptos alternativos como "Capitaloceno" (que atribuye la crisis al capitalismo como sistema, no a la humanidad abstracta) o "Plantationoceno" (que enfatiza las raíces coloniales de la transformación socioecológica). Reconocer estos debates no implica rechazar el término Antropoceno, sino utilizarlo conscientemente de sus limitaciones analíticas y de las relaciones de poder que puede oscurecer.

Similarmente, el concepto de "economía regenerativa", aunque prometedor, puede convertirse en una narrativa tecno-optimista que evade cuestionamientos estructurales sobre propiedad, acumulación y poder. Existe el riesgo de que la retórica regenerativa sea cooptada por actores corporativos como estrategia de *greenwashing*, permitiendo mantener lógicas extractivas bajo nuevas etiquetas. La economía regenerativa genuina no puede limitarse a ajustes técnicos (circularidad material, energías limpias) sin abordar las asimetrías de poder que perpetúan la sobreexplotación: concentración de tierras, financiarización de la naturaleza, deuda

externa que fuerza a países del Sur a exportar recursos baratos, tratados de libre comercio que privilegian corporaciones sobre comunidades. Una economía verdaderamente regenerativa requeriría redistribuir radicalmente riqueza, tierra, tecnología y capacidad de decisión, transformaciones que chocan frontalmente con intereses de élites globales.

Este estudio se posiciona, por tanto, en una tensión productiva: utiliza los conceptos de Antropoceno y economía regenerativa como herramientas heurísticas para pensar alternativas, reconociendo simultáneamente sus limitaciones y el riesgo de que sean instrumentalizados para perpetuar, bajo nuevos ropajes, las mismas estructuras que generaron la crisis climática. La propuesta de una narrativa de "coevolución tecnológica" que se desarrolla posteriormente busca incorporar esta reflexividad, rechazando tanto el tecno-optimismo ingenuo como el fatalismo paralizante, y reconociendo que cualquier transición hacia la sostenibilidad será necesariamente conflictiva, disputada y atravesada por relaciones de poder que deben hacerse explícitas para ser transformadas.

## ANTROPOCENO

El inicio del Antropoceno sigue siendo objeto de debate. Sin embargo, los cambios ambientales asociados a las fluctuaciones de los gases atmosféricos proporcionan marcadores geológicos que son sincrónicos y se distribuyen globalmente, permitiendo su identificación en escalas temporales anuales a decenales. Estos marcadores son fundamentales para establecer el Punto Límite Estratigráfico Global (GSSP) del Antropoceno. El primer marcador GSSP propuesto es un marcado cambio en los niveles atmosféricos de metano hace más de 5.000 años, aunque la falta de correlaciones estratigráficas adicionales impide llegar a una conclusión definitiva<sup>27</sup>.

Se han propuesto dos fechas principales para el inicio del Antropoceno. Según Lewis y Maslin<sup>26</sup>, la primera es 1610 y la segunda 1964. La elección de 1610 atribuye el inicio de esta nueva época geológica a los efectos de la conquista de las Américas, las

<sup>27</sup> Lewis Simon & Maslin Mark, "Defining the Anthropocene", *Nature*, n° 519 (2015), p. 171-180.

rutas comerciales y el auge de la combustión del carbón. Esta perspectiva pone de relieve cuestiones sociales como la dinámica de poder desigual entre las distintas sociedades, las consecuencias de la expansión económica y la globalización del comercio, al tiempo que subraya la creciente dependencia de la humanidad de los combustibles fósiles. La conquista europea de América se cita como un ejemplo importante de cómo las actividades humanas pueden poner en marcha procesos a gran escala difíciles de predecir. En cambio, la selección de 1964 desplaza la narrativa hacia una era de avances tecnológicos impulsados por las élites que han amenazado la sustentabilidad del planeta. El desarrollo de la tecnología militar, desde las lanzas hasta las armas nucleares, pone de relieve el concepto de "trampas del progreso", en las que los avances tecnológicos no siempre garantizan beneficios a largo plazo. La trampa del progreso es un fenómeno económico y social en el que los avances tecnológicos y de productividad paradójicamente no siempre se traducen en mejoras sustanciales de la calidad de vida o del bienestar general. Este concepto sugiere que el progreso puede tener efectos secundarios como el aumento de las expectativas, el incremento de la competencia, la rápida obsolescencia de las capacidades y la desigualdad en la distribución de los beneficios. En esencia, sostiene que el desarrollo económico y tecnológico debe evaluarse no sólo en términos de crecimiento o eficiencia, sino también considerando su impacto holístico en la sociedad y el bienestar humano<sup>28</sup>.

El concepto de Antropoceno engloba cambios sin precedentes en todo el planeta impulsados por transformaciones sociales. Pone de relieve las fuerzas sociales subyacentes responsables del cambio global y revela las tensiones entre las narrativas generalizadas del impacto humano y las interpretaciones arraigadas en contextos históricos, políticos y culturales específicos<sup>29</sup>. Estos contrastes reflejan la complejidad de entender y abordar los impactos humanos sobre el planeta y subrayan la necesidad de enfoques multidimensionales para afrontar los retos de la era actual. El sistema Tierra es una intrincada red de componentes interconectados, cada uno de los cuales

---

<sup>28</sup> Gillings Michael & Paulsen Ian, "Microbiology of the Anthropocene", *Anthropocene*, n° 5 (2014), p. 1-8.

<sup>29</sup> Brondizio Eduardo, O'Brien Karen, et al., "Re-conceptualizing the Anthropocene: A call for collaboration", *Global Environmental Change*, n° 39 (2016), p. 318-327.

influye en los demás en una dinámica de interacciones<sup>30</sup>. Este sistema socioecológico global comprende elementos físicos, químicos, biológicos y sociales que conforman el estado actual y la trayectoria futura del planeta. Los cuatro componentes principales del sistema Tierra -atmósfera, biosfera, hidrosfera y geosfera- interactúan sinérgicamente para regular el funcionamiento del planeta<sup>31</sup>, proporcionando servicios esenciales como la regulación del clima, la producción de alimentos y el suministro de recursos naturales. Por ejemplo, el sistema climático regula la temperatura, las precipitaciones y la circulación atmosférica, mientras que la biosfera proporciona servicios ecológicos como el ciclo de los nutrientes y la biodiversidad<sup>32,33,34,35,36,37</sup>. Los seres humanos, como parte integrante de este sistema, interactúan constantemente con estos componentes e influyen en ellos. Estas interacciones pueden dar lugar a procesos adaptativos, cambios y, en muchos casos, incertidumbre sobre el futuro del sistema. La capacidad del ser humano para alterar estos componentes naturales pone de relieve la importancia de comprender el sistema, donde cualquier acción sobre un componente puede tener consecuencias impredecibles sobre el resto, afectando tanto al equilibrio del planeta como al bienestar de sus habitantes.

El aumento de la población mundial, combinado con la dinámica del consumo per cápita, ha sido la fuerza motriz de los rápidos cambios a los que se enfrenta el planeta en la actualidad<sup>6</sup>. A escala mundial, estos cambios están teniendo un impacto devastador en diversos aspectos del entorno natural y social. Uno de los principales impactos es la deforestación acelerada, un proceso que está reduciendo rápidamente la cubierta forestal en muchas regiones del mundo, afectando tanto a los ecosistemas como a las comunidades que dependen de ellos<sup>38</sup>. A esto se suma el uso intensivo de

<sup>30</sup> Informe GEO5, *The Global Environment Outlook: Environment for the future we want (GEO-5)*. (Nairobi: UNEP, 2012).

<sup>31</sup> Cowgill Ursula, "Acid precipitation: a review". *Studies in Environmental Science*, n° 25 (1984), p. 233-259.

<sup>32</sup> Konikow Leonard & Kendy Eloise, "Groundwater depletion: a global problem", *Hydrogeology Journal*, n° 13 (2005), p. 317-320.

<sup>33</sup> Hmiel Benjamin, Petrenko VV, et al., "Preindustrial 14CH4 indicates greater anthropogenic fossil CH4 emissions", *Nature*, n° 578 (2020), p. 409-412.

<sup>34</sup> Turetsky Merritt, Abbott Benjamin, et al., "Permafrost collapse is accelerating carbon release", *Nature*, n° 569 (2019), p. 32-34.

<sup>35</sup> Kassas M, "The biosphere and the threat of global industrialisation: limits of the biosphere", *Environmentalist*, n° 9 (1989), p. 261-268.

<sup>36</sup> Qing Qing Li, Loganath Annamalai, et al., "Persistent Organic Pollutants and Adverse Health Effects in Humans", *Journal of Toxicology and Environmental Health*, vol. 69 n° 21 (2006), p. 1987-2000.

<sup>37</sup> Yuewen Deng & Adzigbli Linda, "Assessing the impact of oil spills on marine organisms", *Journal of Oceanography and Marine Research*, vol. 6 n° 1 (2018), p. 1-7.

<sup>38</sup> Duguma Lalisa, Atela Joanes, et al., "Deforestation and Forest Degradation as an Environmental Behavior: Unpacking Realities Shaping Community Actions", *Land*, vol. 8 n° 2 (2019), 26.

agroquímicos, que no sólo degrada los suelos y contamina las fuentes de agua, sino que también afecta gravemente la salud de las especies animales, vegetales y humanas que habitan estas zonas<sup>39</sup>. Otra consecuencia importante de estos cambios globales es la pérdida de biodiversidad. Las especies están desapareciendo a un ritmo sin precedentes, alterando los ecosistemas y perturbando los equilibrios ecológicos fundamentales para el funcionamiento del planeta<sup>40</sup>. Al mismo tiempo, asistimos a una creciente pérdida de conocimientos ancestrales, los conocimientos acumulados durante generaciones que han permitido a las culturas indígenas vivir en armonía con la naturaleza. La modernización y la globalización han erosionado estos conocimientos, sustituyéndolos por tecnologías y prácticas más eficaces a corto plazo, pero insostenibles a largo plazo<sup>41</sup>. Además, los conflictos y las guerras, a menudo relacionados con el acceso a recursos naturales cada vez más escasos, se han intensificado en diversas partes del mundo, exacerbando las crisis humanitarias y ambientales<sup>42</sup>. El uso excesivo y continuado de combustibles fósiles sigue siendo uno de los principales responsables del cambio climático, ya que libera enormes cantidades de gases de efecto invernadero que agravan el calentamiento global<sup>43</sup>. A esto se suma el cambio en el uso del suelo, donde las zonas naturales y las tierras agrícolas se convierten constantemente en zonas urbanas e industriales, fragmentando los hábitats y afectando aún más a los ecosistemas<sup>44</sup>.

En este contexto, el Antropoceno surge como reflejo de esta nueva época geológica dominada por el ser humano. El mundo globalizado está inmerso en una lógica de mercado que prioriza el crecimiento económico sobre la sustentabilidad ambiental. Este modelo económico ha absorbido y subsumido al mundo natural, tratándolo como un recurso infinito que hay que explotar sin tener en cuenta las

---

<sup>39</sup> Carvalho Fernando, "Pesticides, environment and food safety", *Food and Energy Security*, vol. 6 n° 2 (2017), p. 48-60.

<sup>40</sup> Baisero Daniele, Visconti Piero, et al., "Projected Global Loss of Mammal Habitat Due to Land-Use and Climate Change", *One Earth*, vol. 2 n° 6 (2020), p. 578-585.

<sup>41</sup> Reyes-García Victoria, Guezé Maximilien, et al., "Evidence of Traditional Knowledge Loss among a Contemporary Indigenous Society", *Evolution and Human Behavior*, vol. 34 n° 4 (2013), p. 249-257.

<sup>42</sup> Hrubec Marek & Uhde Zuzana, "Global Conflicts and Local Interactions: Contradictions of Global Capitalism and Civil Society", *Critical Sociology*, vol. 45 n° 6 (2019), p. 777-783.

<sup>43</sup> Martins Florinda, Felgueiras Carlos, et al., "Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries", *Energies*, vol. 12 n° 6 (2019), 964.

<sup>44</sup> Lambin Eric, Geist Helmut & Lepers Erika, "Dynamics of Land-use and land-cover change in tropical regions", *Annual Review of Environment and Resources*, n° 28 (2003), p. 205-241.

consecuencias a largo plazo. Una sociedad global regida por la racionalidad paramétrica, una lógica basada en la optimización de los parámetros económicos que busca maximizar la eficiencia y el crecimiento en un marco que ignora en gran medida los límites ambientales<sup>45</sup>. Este estrecho enfoque en indicadores como el PIB, las tasas de producción y el consumo pasan por alto medidas críticas de bienestar ambiental, salud de los ecosistemas y equidad social. El equilibrio entre el desarrollo humano y la sustentabilidad planetaria se ha visto así alterado, creando una crisis que requiere una revisión urgente de nuestros sistemas económicos, sociales y ambientales para evitar un colapso aún mayor en el futuro.

El panorama previo subraya la necesidad de cambiar la forma en que la humanidad interactúa con el planeta, de repensar el metabolismo social. El Antropoceno, junto con su amplia difusión interdisciplinar, ha generado una diversidad de narrativas sobre el cambio global y los futuros posibles<sup>46</sup>. Las narrativas del Antropoceno reflejan un panorama diverso de enfoques que, lejos de limitarse a categorizar el fenómeno, buscan repensar el futuro y sus interacciones en un contexto de innovación y transformación global<sup>29,47</sup>. Desde una perspectiva naturalista, la ciencia y la tecnología se presentan como herramientas fundamentales para gestionar el cambio ambiental<sup>8</sup>, mientras que la narrativa de la post-naturaleza reconfigura la relación entre cultura y ambiente, difuminando sus límites tradicionales y sugiriendo un futuro en el que se reinventa la coexistencia<sup>48,49</sup>. La narrativa de la eco-catástrofe, por su parte, nos enfrenta a los riesgos de la inacción ante un posible colapso y destaca el poder ambivalente de la innovación tanto para aliviar como para exacerbar las crisis<sup>50,51,52,53</sup>. Por último, la visión eco-marxista que cuestiona la dinámica del

<sup>45</sup> Babic Milan, "Let's talk about the interregnum: Gramsci and the crisis of the liberal world order", *International Affairs*, vol. 96 n° 3 (2020), p. 767-786.

<sup>46</sup> Bai Xuemei, van der Leeuw Sander, et al., "Plausible and desirable futures in the Anthropocene: a new research agenda", *Global Environmental Change*, n° 39 (2016), p. 351-362.

<sup>47</sup> Bonneuil, Christophe, "The geological turn: narratives of the Anthropocene". In: Hamilton, C., Bonneuil Gemenne, C.F. (Eds.), *The Anthropocene and the Global Environmental Crisis: Rethinking modernity in a new epoch*. (London: Routledge, 2015, p. 15-31).

<sup>48</sup> Descola, Philippe, "Beyond Culture and Nature", *Journal of Ethnographic Theory*, vol. 2 n° 1 (2012), p. 447-471.

<sup>49</sup> Latour Bruno, "Telling friends from foes in the time of the Anthropocene". In: Hamilton, C., Bonneuil, C., Gemenne, F. (Eds.), *The Anthropocene and the Global Environmental Crisis: Rethinking modernity in a new epoch*. (London: Routledge, 2015, p. 145-155).

<sup>50</sup> Diamond Jared, *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. (New York: Viking Penguin, 2005).

<sup>51</sup> Tainter Joseph, "Archaeology of overshoot and collapse", *Annual Review of Anthropology*, vol. 35 n° 1 (2006), p. 59-74.

<sup>52</sup> Danowski Deborah & Viveiros de Castro Eduardo, "Los miedos y los fines... del mundo", *Revista Nueva Sociedad*, n° 283 (2019), p. 37-46.

<sup>53</sup> Meadows Donella, Meadows Dennis, et al., *The limits to growth*. (New York: Universe Books, 1972).

capitalismo que perpetúa la explotación de los recursos y fomenta la desigualdad, sugiriendo que cualquier avance debe abordar y transformar las estructuras económicas actuales<sup>54,55</sup>. Estas narrativas representan la complejidad del Antropoceno y proyectan futuros radicalmente distintos en los que la innovación se convierte en el eje de la supervivencia o el colapso. En este contexto, este estudio plantea una nueva narrativa que dibuja la "coevolución tecnológica" entre los sistemas naturales y humanos. En esta visión, la humanidad ya no es un mero agente de perturbación ambiental, sino parte de una red dinámica de interdependencia en la que la tecnología y la biología se entrelazan. El futuro no puede verse como una mera extensión de los problemas actuales, sino como un espacio para la creación de un nuevo pacto planetario en el que las fronteras entre lo natural, lo artificial y lo humano se disuelvan en la conciencia y la cooperación. Esta narrativa sugiere que la clave para navegar por el Antropoceno no es evitar los puntos de inflexión catastróficos, sino anticipar y generar nuevas formas de simbiosis entre la civilización y el planeta, donde la tecnología funcione para restaurar los equilibrios perdidos, generar biodiversidad y ampliar las capacidades humanas sin agotar los recursos. El reto, por tanto, no es sólo tecnológico o social, sino filosófico: se trata de redefinir lo que significa prosperar en un mundo creado conjuntamente por el ser humano y la naturaleza, y cómo dirigir la innovación hacia una convergencia armoniosa entre ambas esferas.

Desde la perspectiva de esta nueva narrativa la tecnología no se vería como una herramienta para explotar, sino como una extensión de los procesos naturales, diseñada para integrarse y adaptarse a los ciclos biológicos y geológicos del planeta. Las ciudades, por ejemplo, ya no serían islas de asfalto y hormigón separadas de la naturaleza, sino que se convertirían en "ecosistemas urbanos" donde las infraestructuras estarían literalmente vivas: edificios que regeneran el aire, cosechan agua y fomentan la biodiversidad, integrados en redes inteligentes que interactúan con los ecosistemas circundantes. Los sistemas agrícolas se basarían en procesos

---

<sup>54</sup> Hornborg Alf, McNeill J & Martinez-Alier Joan, *Rethinking Environmental History: World-System History and Global Environmental Change*. (Lanham: Altamira Press, 2007).

<sup>55</sup> González de Molina Manuel & Toledo Victor, (2023). "Social Metabolism: Origins, History, Approaches, and Main Schools". In: *The Social Metabolism. Environmental History*, (Switzerland: Springer, Cham, vol. 14. 2023).

biomiméticos inspirados en los ecosistemas naturales, gestionando los recursos, reduciendo los residuos y regenerando los suelos en lugar de degradarlos.

Las economías del futuro funcionarían dentro de una lógica de abundancia regenerativa en lugar de explotación extractiva. La tecnología digital y la inteligencia artificial se utilizarían no sólo para optimizar el uso de los recursos, sino también para crear nuevas formas de riqueza basadas en la restauración del ambiente y la creación de valor ecológico. El concepto de "progreso" se redefiniría para dejar atrás sus trampas. La evolución ya no se centraría exclusivamente en la capacidad de dominar el entorno, sino en cómo nos adaptamos y evolucionamos junto a él, creando una nueva ética global basada en la cooperación entre especies, sistemas tecnológicos y ecosistemas. Este futuro no estaría exento de desafíos, las decisiones políticas y sociales serían cruciales para garantizar que la coevolución tecnológica no perpetúe las desigualdades ni cree otras nuevas.

## **DESCARBONIZACIÓN**

La descarbonización es el proceso global de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> provocadas por el hombre hasta un estado neto cero y constituye la principal estrategia de mitigación contra el cambio climático. Este proceso implica transformaciones en los sectores de la energía, el transporte, la industria y el uso del suelo, impulsadas por la innovación tecnológica, las intervenciones políticas y la evolución de la dinámica del mercado. Su objetivo es limitar el aumento de la temperatura mundial en consonancia con los acuerdos internacionales sobre el clima, lo que exigirá una profunda transformación de los modelos económicos y los sistemas energéticos. Para comprender la magnitud del reto de la descarbonización, es importante examinar el contexto histórico de las emisiones de CO<sub>2</sub>. La concentración global de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre ha aumentado desde el inicio de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, periodo que marcó el comienzo de la industrialización a gran escala, cuando los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub> se situaban en torno a 280 partes por millón (ppm). Se trataba de un equilibrio natural que había permanecido relativamente estable

durante miles de años. Sin embargo, la actividad humana, principalmente a través de la quema de combustibles fósiles, la deforestación y el cambio de uso del suelo, ha alterado este equilibrio. Actualmente, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera supera los 426 ppm en 2025<sup>56</sup>, lo que supone un aumento de más del 51% respecto a los niveles preindustriales.

Con niveles que aumentan a un ritmo de unas 2 ppm al año, la comunidad científica ha dado la voz de alarma sobre las posibles consecuencias de unas emisiones de carbono descontroladas. El IPCC ha identificado un umbral crítico de 450 ppm de concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, que corresponde a un aumento de 2°C de la temperatura global por encima de los niveles preindustriales<sup>57</sup>. Superar este umbral podría desencadenar impactos graves e irreversibles del cambio climático, amenazando los ecosistemas y las sociedades humanas en todo el mundo. La descarbonización pretende no sólo detener esta tendencia, sino estabilizar las concentraciones a un nivel que evite los impactos más graves del cambio climático. La consecución de este ambicioso objetivo exigirá un planteamiento doble. En primer lugar, las emisiones de CO<sub>2</sub> deben reducirse en todos los sectores de la economía. Esto significa transformar los sistemas energéticos, los procesos industriales y los patrones de consumo para minimizar la huella de carbono. En segundo lugar, aplicar tecnologías y prácticas que puedan capturar y secuestrar el carbono que ya se encuentra en la atmósfera<sup>58</sup>. Las tecnologías y estrategias de eliminación del dióxido de carbono (RCD) se han convertido en un componente esencial de la lucha contra el cambio climático. Abarcan desde soluciones basadas en la naturaleza, como la reforestación y el secuestro de carbono en el suelo, hasta intervenciones tecnológicas avanzadas, como la captura directa en el aire y la meteorización mejorada. La integración de estos enfoques de RCD en planes integrales de acción por el clima es cada vez más importante, ya que no sólo se pretende reducir las emisiones futuras, sino también hacer frente al legado de la contaminación

---

<sup>56</sup> NOAA, Earth System Research Laboratory: Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Available in: [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl\\_trend.html](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_trend.html) [Access november 17, 2025].

<sup>57</sup> IPCC, *The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (Cambridge: Cambridge University Press, 2024).

<sup>58</sup> Keller David, Lenton Andrew, et al., "The Effects of Carbon Dioxide Removal on the Carbon Cycle", *Current Climate Change Reports*, n° 4 (2018), p. 250–265.

por carbono del pasado. Nunca se insistirá lo suficiente en la urgencia de este doble enfoque. A medida que seguimos siendo testigos de los efectos del cambio climático (p.e., inundaciones, sequías, islas de calor), se hace cada vez más evidente la necesidad de actuar de forma inmediata y decisiva.

#### ANTECEDENTES

El siglo XX fue testigo de la aparición de dos grandes retos ambientales que estimularon la acción global: el agotamiento de la capa de ozono y la aparición del cambio climático antropogénico. Estas crisis dieron lugar a una cooperación internacional, que se tradujo en el establecimiento de dos mecanismos de gobernanza mundial históricos: el Protocolo de Montreal y el Protocolo de Kioto.

La historia de los clorofluorocarbonos (CFC) y su paralelismo con el diclorodifeniltricloroetano (DDT) evidencia la relación entre innovación científica y consecuencias ambientales. Inicialmente celebrados como avances revolucionarios por su versatilidad y aparente seguridad, los CFC, al igual que el DDT, resultaron tener impactos ambientales severos. Durante las décadas de 1970 y 1980, se confirmó su papel en el agotamiento de la capa de ozono, lo que llevó a un cambio de perspectiva y a la adopción del Protocolo de Montreal en 1987, un hito en la cooperación internacional para mitigar daños ambientales. Este éxito inspiró esfuerzos posteriores como el Protocolo de Kioto de 1997 para abordar el cambio climático. Estas experiencias destacan lecciones clave: el riesgo de consecuencias no previstas en la innovación tecnológica, la relevancia de la investigación científica para informar políticas, la necesidad de cooperación global en problemas transfronterizos y la capacidad de acción decisiva frente a evidencia científica clara. Este caso refleja la interacción entre ciencia, tecnología, ambiente y gobernanza global. Subrayan la importancia de mantener la vigilancia, fomentar la investigación científica y apoyar la cooperación

internacional en nuestros esfuerzos por proteger el ambiente y garantizar un futuro sustentable para todos<sup>59</sup>.

El descubrimiento del agujero de ozono antártico mediante observaciones por satélite en la década de 1980 marcó un momento crucial en la ciencia y la política ambiental. Estas mediciones por satélite proporcionaron pruebas visuales irrefutables de los efectos de los CFC en la atmósfera terrestre<sup>60,61</sup>, ofreciendo una perspectiva global del agotamiento del ozono que hasta entonces había sido inalcanzable. Estos datos visuales desempeñaron un papel crucial en las negociaciones que condujeron al Protocolo de Montreal, demostrando el poder de la tecnología avanzada en la vigilancia ambiental y su capacidad para influir en la política global. El caso de los CFC ilustra la importancia crítica de una evaluación continua y rigurosa de las tecnologías y sustancias que se introducen en el ambiente. También pone de relieve la necesidad de coordinar las respuestas internacionales a las amenazas ambientales globales<sup>62</sup>. La aplicación del Protocolo de Montreal reveló retos imprevistos<sup>63</sup>. La cuestión de los CFC se percibió principalmente como un problema de los países ricos, lo que llevó a unas negociaciones difíciles y prolongadas. Los países en desarrollo, que habían contribuido mínimamente a la acumulación de CFC en la atmósfera, intentaron con razón ampliar el uso de estos compuestos, sobre todo para la refrigeración<sup>64</sup>. Para hacer frente a este desequilibrio, los autores del Protocolo introdujeron el innovador principio de "responsabilidades comunes pero diferenciadas", reconociendo la desigual carga de responsabilidad entre países desarrollados y en vías de desarrollo<sup>23,65</sup>.

El aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> constituyó una segunda preocupación mundial, que de nuevo exigió una acción internacional coordinada. Esto condujo al

---

<sup>59</sup> Tortell Philippe, "Earth 2020: Science, society, and sustainability in the Anthropocene", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117 n° 16 (2020), p. 8683-8691.

<sup>60</sup> Molina Mario & Rowland S., "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone", *Nature*, n° 249 (1974), p. 810-812.

<sup>61</sup> Kannan Kurunthachalam, Tanabe Shinsuke, et al., "Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in foodstuffs from Asian and oceanic countries", *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, n° 152 (1997), p. 1-55.

<sup>62</sup> Steinbacher Martin, Vollmer Martin, et al., "An evaluation of the current radiative forcing benefit of the Montreal Protocol at the high-Alpine site Jungfraujoch", *The Science of the Total Environment*, vol. 391 n° 2-3 (2008), p. 217-223.

<sup>63</sup> Kanter David, Mauzerall Denise, et al., "A post-Kyoto partner: considering the stratospheric ozone regime as a tool to manage nitrous oxide", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 110 n° 12 (2013), p. 4451-4457.

<sup>64</sup> Ghani Gairuzazmi, "The Montreal Protocol: Developing Countries Import of Halons", *Economics Bulletin*, vol. 17 n° 7 (2007), p. 1-5.

<sup>65</sup> Ivanova Kate, "Corruption, illegal trade and compliance with the Montreal Protocol", *Environmental and Resource Economics*, n° 38 (2007), p. 475-496.

acuerdo del Protocolo de Kioto a finales de la década de 1990, que entró en vigor en 2005. Reconociendo que las economías desarrolladas son las mayores emisoras y las que más han contribuido a la acumulación de gases de efecto invernadero desde la industrialización, el Protocolo de Kioto aplicó el principio de "responsabilidades comunes pero diferenciadas"<sup>66</sup>. Este enfoque imponía una mayor carga a las economías desarrolladas para reducir las emisiones. Además, el Protocolo de Kioto estipulaba que los países desarrollados debían proporcionar recursos financieros adicionales para ayudar a los países en desarrollo a cumplir sus compromisos<sup>67</sup>. Estos ejemplos históricos ofrecen valiosas lecciones. Destacan la necesidad de una investigación científica sólida, una cooperación internacional eficaz, enfoques equitativos del reparto de cargas y mecanismos sólidos de aplicación y cumplimiento. El camino recorrido desde el Protocolo de Montreal hasta el Protocolo de Kioto y más allá demuestra tanto el potencial como los retos de la gobernanza ambiental global.

#### DESCARBONIZACIÓN Y JUSTICIA CLIMÁTICA: LA PERSPECTIVA LATINOAMERICANA

América Latina ocupa una posición contradictoria en la geopolítica global de la descarbonización. La región contribuye aproximadamente al 8% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, una proporción relativamente menor comparada con su 8,4% de la población mundial, pero enfrenta impactos desproporcionados del cambio climático: aceleración del retroceso glaciar en los Andes, intensificación de sequías en el Corredor Seco centroamericano, aumento de eventos extremos en el Caribe, y degradación acelerada de ecosistemas críticos como la Amazonía<sup>4</sup>. Esta asimetría entre responsabilidad limitada e impactos severos subraya las injusticias climáticas que atraviesan el debate sobre descarbonización.

Las trayectorias latinoamericanas de descarbonización están marcadas por una triple tensión estructural. Primero, el auge extractivista: tras la crisis financiera de 2008, muchos gobiernos latinoamericanos intensificaron la explotación de recursos

---

<sup>66</sup> Stone Christopher, "Common but Differentiated Responsibilities in International Law", *The American Journal of International Law*, vol. 98 n° 2 (2004), p. 276-301.

<sup>67</sup> Jotzo Frank, "Developing countries and the future of the Kyoto protocol", *Global Change, Peace & Security*, n° 17 (2005), p. 77-86.

naturales (petróleo, gas, minería, agronegocios) para financiar políticas sociales, atrapados en la paradoja de requerir extractivismo carbono-intensivo para sostener legitimidad política y reducir pobreza en contextos de dependencia estructural. Segundo, la deuda externa y condicionalidades climáticas: organismos financieros internacionales condicionan préstamos a reformas verdes que frecuentemente priorizan mercantilización de la naturaleza (bonos de carbono, pagos por servicios ambientales) sobre transformaciones estructurales, perpetuando subordinación económica bajo nuevas formas. Tercero, conflictividad socioambiental: la expansión de proyectos extractivos e infraestructuras (hidroeléctricas, minería, monocultivos) genera resistencias de pueblos indígenas, comunidades campesinas y movimientos ambientalistas que defienden territorios y modos de vida amenazados por modelos de desarrollo carbono-intensivos<sup>5</sup>.

Sin embargo, América Latina también alberga experiencias pioneras que prefiguran elementos de economías regenerativas. Países como Costa Rica y Uruguay lideran transiciones hacia matrices eléctricas predominantemente renovables. Movimientos agroecológicos en Brasil, México y Colombia demuestran viabilidad de sistemas alimentarios de baja huella de carbono basados en conocimientos campesinos e indígenas. Iniciativas de conservación comunitaria en territorios indígenas amazónicos evidencian que áreas bajo gestión indígena presentan tasas de deforestación significativamente menores que áreas bajo otras formas de tenencia<sup>7</sup>. Estas experiencias, aunque fragmentarias, sugieren que alternativas regenerativas no requieren únicamente innovación tecnológica importada del Norte, sino reconocimiento y escalamiento de prácticas existentes arraigadas en epistemologías no-occidentales.

La perspectiva latinoamericana subraya que cualquier paradigma de economía regenerativa global debe incorporar principios de justicia climática: reconocimiento de responsabilidades históricas diferenciadas, transferencia de tecnología y recursos financieros del Norte al Sur, respeto a derechos territoriales de pueblos indígenas y comunidades tradicionales, y superación de modelos de desarrollo que perpetúan dependencias coloniales. La descarbonización no puede ser una nueva forma de

colonialidad verde que imponga soluciones técnicas diseñadas en el Norte sin considerar las realidades políticas, económicas y culturales del Sur global. Las trayectorias ambientales del Antropoceno latinoamericano serán resultado de disputas entre proyectos extractivistas que profundizan la crisis climática, reformismos verdes que mercantilizan naturaleza sin transformar estructuras, y alternativas regenerativas arraigadas en luchas territoriales y epistemologías ancestrales.

#### TRAYECTORIAS EMPÍRICAS DE DESCARBONIZACIÓN: CASOS CONTRASTANTES

Para ilustrar la complejidad práctica de la descarbonización y los desafíos de implementar modelos regenerativos, se examinan brevemente tres trayectorias en América Latina (Costa Rica), Europa (Alemania) y Asia (China) que evidencian las tensiones entre compromisos climáticos, estructuras económicas y contextos geopolíticos específicos.

Costa Rica representa un caso emblemático de transición energética acelerada en un país en desarrollo. Entre 2010 y 2023, el país logró generar más del 98% de su electricidad mediante fuentes renovables (principalmente hidroeléctrica, eólica, geotérmica y solar), eliminando casi completamente el carbón y reduciendo drásticamente el uso de combustibles fósiles en este sector<sup>56</sup>. Sin embargo, esta trayectoria exitosa en generación eléctrica contrasta con persistentes desafíos en el sector transporte, que continúa dependiendo del petróleo importado y representa aproximadamente 70% de las emisiones nacionales de CO<sub>2</sub>. El caso costarricense ilustra cómo la descarbonización sectorial puede avanzar exitosamente cuando existe voluntad política, disponibilidad de recursos naturales (ríos, vientos, geotermia) y marcos regulatorios favorables, pero también revela las limitaciones estructurales cuando otros sectores permanecen anclados en infraestructuras carbono-intensivas. La experiencia demuestra que la economía regenerativa requiere transformaciones sistémicas que trasciendan sectores aislados.

Alemania ofrece una trayectoria compleja marcada por contradicciones entre liderazgo climático declarado y dependencias energéticas persistentes. La política de

*Energiewende* (transición energética) iniciada en 2010 buscaba simultáneamente eliminar la energía nuclear y reducir los combustibles fósiles, aumentando la participación de renovables. Sin embargo, la guerra en Ucrania (2022) y el consecuente corte de suministro de gas ruso expusieron vulnerabilidades estructurales: Alemania reactivó temporalmente centrales de carbón y aceleró la construcción de terminales de gas natural licuado. Para 2023, aunque las renovables alcanzaron cerca del 50% de la generación eléctrica, el país enfrentó dilemas entre seguridad energética inmediata y objetivos climáticos de largo plazo. Esta trayectoria evidencia cómo choques geopolíticos pueden interrumpir transiciones energéticas incluso en economías avanzadas, subrayando la necesidad de que los modelos regenerativos incorporen resiliencia y autonomía energética, no solo eficiencia climática.

China presenta la trayectoria más paradójica: es simultáneamente el mayor emisor absoluto de CO<sub>2</sub> (aproximadamente 30% del total global) y el líder mundial en capacidad instalada de energía renovable. Entre 2010 y 2023, China invirtió más en energías limpias que Estados Unidos y Europa combinados, dominando la producción de paneles solares, turbinas eólicas y baterías de litio<sup>2,5</sup>. Paradójicamente, durante el mismo período construyó más centrales térmicas de carbón que cualquier otra nación, argumentando que el desarrollo económico y la reducción de la pobreza justifican una transición gradual. Esta dualidad refleja las tensiones del principio de "responsabilidades comunes pero diferenciadas": mientras las economías desarrolladas alcanzaron prosperidad mediante combustibles fósiles, China reclama el derecho a un desarrollo carbono-intensivo transitorio mientras construye infraestructura renovable para el futuro. El caso chino desafía narrativas simplistas sobre descarbonización, revelando cómo contextos históricos, prioridades de desarrollo y capacidades tecnológicas configuran trayectorias divergentes que no pueden evaluarse con criterios uniformes.

Estos tres casos ilustran patrones recurrentes en las trayectorias de descarbonización contemporáneas. Primero, la dependencia de trayectoria: decisiones históricas sobre infraestructura energética condicionan las opciones presentes, creando inercias difíciles de revertir. Segundo, las tensiones entre objetivos múltiples:

seguridad energética, competitividad económica, equidad social y sostenibilidad ambiental frecuentemente entran en conflicto, obligando a compromisos que ralentizan la transición. Tercero, la geopolítica del carbono: las asimetrías de poder, las dependencias comerciales y los legados coloniales configuran quién puede descarbonizar, a qué ritmo y con qué costos. Cuarto, la insuficiencia de soluciones técnicas aisladas: ningún país ha logrado descarbonización profunda mediante innovación tecnológica únicamente; se requieren transformaciones institucionales, cambios de consumo y redistribución de poder económico. Estos ejemplos empíricos, aunque breves, fundamentan la argumentación central de este estudio: la transición hacia una economía regenerativa no es un proceso técnico neutro, sino un campo de disputas políticas, económicas y culturales donde se negocian futuros divergentes. Las trayectorias ambientales del Antropoceno no están predeterminadas por la lógica científica o tecnológica, sino que resultan de correlaciones de fuerzas sociales, capacidades institucionales y elecciones políticas situadas en contextos históricos específicos. Reconocer esta complejidad es esencial para evitar caer en tecno-optimismos ingenuos o fatalismos paralizantes, y para diseñar estrategias de descarbonización que sean simultáneamente efectivas, justas y políticamente viables.

#### **ANTROPOCENO EN TRANSICIÓN: EL PARADIGMA DE LA DESCARBONIZACIÓN**

Las actividades humanas, en particular el uso de combustibles fósiles para producir energía, han alterado la composición de la atmósfera, aumentando la concentración de gases de efecto invernadero (GEI). Estos gases tienen la capacidad única de absorber la radiación infrarroja y reemitirla de nuevo a la superficie de la Tierra, un proceso natural conocido como efecto invernadero, que es esencial para mantener la vida en el planeta. Sin embargo, el aumento desproporcionado de las concentraciones de GEI influye en el aumento de las temperaturas globales, fenómeno conocido como calentamiento global antropogénico.

Los GEI, presentes en la atmósfera desde la formación del planeta, han experimentado un aumento significativo durante el Antropoceno, especialmente por

actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación. Estos GEI se dividen en dos categorías: los antropogénicos, generados por actividades humanas, y los naturales, emitidos por sistemas naturales como océanos y volcanes. Aunque los acuerdos internacionales como los protocolos de Montreal y Kioto buscaron mitigar sus efectos, los resultados han sido desiguales, especialmente en la reducción de las emisiones antropogénicas. Paralelamente, los GEI naturales, como el metano liberado por el deshielo del permafrost y actividades ganaderas, agravan la situación. La interacción entre ambos tipos de emisiones crea un bucle de retroalimentación que acelera el calentamiento global, destacando la urgencia de un enfoque global y efectivo para enfrentar esta crisis climática.

La desigualdad en el desarrollo industrial y las normativas ambientales entre países desarrollados y en desarrollo dificulta la reducción global de emisiones de GEI. Mientras las economías emergentes priorizan el crecimiento económico mediante industrias intensivas en carbono y regulaciones más laxas, las reducciones logradas en naciones avanzadas se ven contrarrestadas. Esto es particularmente crítico en el caso del CO<sub>2</sub>, que representa el 70% de las emisiones de GEI y es el principal responsable del cambio climático. El CO<sub>2</sub> tiene fuentes tanto antropogénicas, como la quema de combustibles fósiles que sustentan los sistemas energéticos globales, como naturales, vinculadas al deshielo del permafrost y la dinámica oceánica. Aunque consigamos controlar el 45% de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub><sup>68</sup>, el 55% restante - consecuencia del metabolismo social de la sociedad mundial- seguirá ejerciendo una influencia en el sistema terrestre. Si se incluyen las emisiones naturales de CO<sub>2</sub>, el posible escenario futuro se vuelve catastrófico<sup>20</sup>.

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica aporta importantes datos sobre el ciclo global del carbono. Señalan que las plantas terrestres y los océanos del mundo absorben conjuntamente cerca de la mitad de los 40.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> contaminante emitido anualmente por las actividades humanas. Sin embargo, a pesar de este secuestro natural, el ritmo de aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico se ha ido

---

<sup>68</sup> Keenan Trevor, Prentice Colin, et al., "Recent pause in the growth rate of atmospheric CO<sub>2</sub> due to enhanced terrestrial carbon uptake", *Nature Communications*, n° 7 (2016), 13428.

acelerando de forma constante. Durante la década de 1960, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera experimentó un incremento moderado de aproximadamente 0,8 ppm anualmente. En los años 80, este ritmo se duplicó, alcanzando 1,6 ppm por año. A lo largo de la década de 1990, la tasa se mantuvo relativamente estable en 1,5 ppm anuales. El cambio de siglo trajo consigo un nuevo aumento, con la década de 2000 registrando un crecimiento de 2,0 ppm por año. En la última década, se observó una aceleración adicional, elevándose a 2,4 ppm anuales, lo que sugiere un incremento de GEI.

La creciente acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera revela un preocupante desequilibrio entre las emisiones humanas y la capacidad natural de absorción del planeta. La persistencia del CO<sub>2</sub>, que puede permanecer en la atmósfera durante cientos o miles de años<sup>69</sup>, amplifica la complejidad del desafío climático, exigiendo una reducción de emisiones netas a cero. Este escenario demanda una estrategia global multidimensional que integre la disminución drástica de GEI, la protección de sumideros naturales como bosques, el desarrollo de tecnologías innovadoras de captura y almacenamiento y la cooperación internacional son pasos necesarios para construir un futuro regenerativo.

## CONCLUSION

Este estudio ha explorado la intersección entre el Antropoceno como época de dominio humano sobre los sistemas terrestres, la urgencia de la descarbonización como imperativo climático, y la economía regenerativa como paradigma alternativo al modelo extractivo-lineal. A lo largo del análisis, tres hallazgos centrales emergen con claridad.

Primero, la descarbonización no puede comprenderse como un desafío meramente técnico o sectorial. La necesidad de reducir aproximadamente 20.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> antropogénico anuales para estabilizar el clima requiere transformaciones sistémicas que trasciendan la sustitución tecnológica de fuentes energéticas. Los casos empíricos examinados -Costa Rica, Alemania y China-

---

<sup>69</sup> Archer David, Eby Michael, et al., "Atmospheric Lifetime of Fossil Fuel Carbon Dioxide", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, n° 37 (2009), p. 117-34.

demuestran que incluso con voluntad política y capacidad tecnológica, la transición enfrenta obstáculos estructurales: dependencias de trayectoria en infraestructuras existentes, tensiones entre múltiples objetivos nacionales, y condicionamientos geopolíticos que distribuyen asimétricamente capacidades y responsabilidades. Ningún país ha logrado descarbonización profunda (reducciones superiores al 80% respecto a niveles de 1990) sin enfrentar dilemas políticos que revelan la insuficiencia de soluciones puramente tecnológicas. Segundo, el paradigma de economía regenerativa ofrece un marco conceptual potente para reimaginar las relaciones socioecológicas, pero su viabilidad está condicionada por transformaciones políticas y económicas que trascienden el ámbito ambiental. Los principios regenerativos -circularidad, biomímesis, transición energética, restauración ecosistémica- constituyen orientaciones necesarias pero insuficientes si no se acompañan de redistribuciones radicales de poder, riqueza y capacidad de decisión. La experiencia histórica de los protocolos de Montreal y Kioto enseña que los compromisos ambientales globales solo avanzan cuando se reconocen responsabilidades diferenciadas, se establecen mecanismos de transferencia tecnológica y financiera, y se construyen coaliciones políticas capaces de enfrentar intereses corporativos y geopolíticos contrarios. Una economía regenerativa genuina requeriría desafiar concentraciones de tierra, capital y tecnología que actualmente perpetúan lógicas extractivas incluso cuando adoptan retóricas verdes. Tercero, las narrativas sobre el Antropoceno no son descripciones neutrales sino posicionamientos políticos que configuran futuros posibles. Este estudio ha propuesto la narrativa de "coevolución tecnológica" como alternativa a los polos del tecno-optimismo y el eco-catastrofismo. Esta narrativa reconoce que la tecnología puede ser herramienta de restauración ecosistémica y simbiosis socioecológica, pero solo si es gobernada democráticamente, orientada por principios de justicia ambiental, y subordinada a límites biofísicos planetarios. La coevolución implica superar la dicotomía naturaleza/sociedad que subyace al pensamiento moderno, reconociendo que los futuros deseables del Antropoceno requieren fusionar conocimientos científicos, saberes ancestrales indígenas, innovación tecnológica y experimentación social en configuraciones inéditas.

Las limitaciones de este estudio giran entorno, a la predominancia de literatura anglófona que restringe la incorporación de perspectivas del Sur global, particularmente latinoamericanas o africanas, que experimentan las contradicciones del Antropoceno de formas distintas a las del Norte industrial. Estudios futuros deberían priorizar análisis etnográficos de comunidades implementando prácticas regenerativas, evaluaciones cuantitativas de trayectorias nacionales de descarbonización con metodologías comparadas robustas, y genealogías históricas de conflictos socioambientales que configuran el campo político donde se disputa la transición. A pesar de estas limitaciones, la contribución de este estudio radica en tres aportes conceptuales. Primero, articula sistemáticamente debates sobre Antropoceno con discusiones sobre descarbonización y economía regenerativa, campos que frecuentemente dialogan poco entre sí. Segundo, introduce la narrativa de coevolución tecnológica como marco alternativo que evita determinismos (tecnológicos o sociales) y reconoce la agencia humana sin caer en voluntarismos. Tercero, subraya la dimensión política ineludible de cualquier transición: no hay trayectoria técnica neutral hacia la sostenibilidad, sino múltiples futuros posibles cuya materialización dependerá de correlaciones de fuerzas sociales, capacidades institucionales y elecciones colectivas.

La urgencia climática es innegable: con concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> superando 426 ppm en 2025 y proyecciones que sugieren superar 3°C de calentamiento a finales de siglo, la ventana para evitar impactos catastróficos se estrecha aceleradamente. Sin embargo, la urgencia no debe traducirse en tecnocratismo que imponga soluciones desde arriba ni en pánico que paralice la acción colectiva. La construcción de economías regenerativas capaces de descarbonizar efectivamente requiere procesos democráticos de experimentación social, aprendizaje colectivo y disputa política donde comunidades, movimientos sociales, pueblos indígenas y sectores científico-técnicos críticos negocien trayectorias que sean simultáneamente ecológicamente efectivas, socialmente justas y políticamente viables. Las trayectorias ambientales del siglo XXI no están predeterminadas por inercias sistémicas ni por determinaciones geofísicas, sino que serán resultado de elecciones colectivas realizadas en contextos de incertidumbre, conflicto y poder asimétrico. La posibilidad

de construir futuros habitables, donde la prosperidad humana coevolucione con la salud ecosistémica en lugar de contradecirla, permanece abierta. Pero su materialización exige voluntad política para transformar estructuras de poder, creatividad social para imaginar alternativas a los modelos dominantes, y solidaridad global para construir transiciones justas que no reproduzcan las desigualdades que generaron la crisis climática. Este es el desafío histórico que el Antropoceno plantea, y del que depende la posibilidad misma de un futuro compartido en este planeta.

## REFERENCIAS

Anttiroiko Ari-Veikko, “Castells network concept and its connections to social, economic and political network analyses”, *Journal of Social Structure*, n° 16 (2015), p. 1-18. <https://doi.org/10.21307/joss-2019-021>

Archer David, Eby Michael, et al., “Atmospheric Lifetime of Fossil Fuel Carbon Dioxide”, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, n° 37 (2009), p. 117-34. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100206>

Babic Milan, “Let's talk about the interregnum: Gramsci and the crisis of the liberal world order”, *International Affairs*, vol. 96 n° 3 (2020), p. 767-786. <https://doi.org/10.1093/ia/iiz254>

Bai Xuemei, van der Leeuw Sander, et al., “Plausible and desirable futures in the Anthropocene: a new research agenda”, *Global Environmental Change*, n° 39 (2016), p. 351-362. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.017>

Baisero Daniele, Visconti Piero, et al., “Projected Global Loss of Mammal Habitat Due to Land-Use and Climate Change”, *One Earth*, vol. 2 n° 6 (2020), p. 578-585. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.015>

Bonneuil, Christophe, “The geological turn: narratives of the Anthropocene”. In: Hamilton, C., Bonneuil Gemenne, C.F. (Eds.), *The Anthropocene and the Global Environmental Crisis: Rethinking modernity in a new epoch*. (London: Routledge, 2015, p. 15-31). <https://doi.org/10.4324/9781315743424>

Brondizio Eduardo, O'Brien Karen, et al., “Re-conceptualizing the Anthropocene: A call for collaboration”, *Global Environmental Change*, n° 39 (2016), p. 318-327. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.02.006>

Carvalho Fernando, "Pesticides, environment and food safety", *Food and Energy Security*, vol. 6 n° 2 (2017), p. 48-60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>

Castree Noel, "The anthropocene and the environmental humanities: extending the conversation", *Environmental Humanities*, n° 5 (2014), p. 233-260. <https://doi.org/10.1215/22011919-3615496>

Ceballos Geraldo, García Andrés & Ehrlich Paul, "The sixth extinction crisis loss of animal populations and species", *Journal of Cosmology*, n° 8 (2010), p. 1821-1831. [https://www.researchgate.net/publication/266231196\\_The\\_Sixth\\_Extinction\\_Crisis\\_Loss\\_of\\_Animal\\_Populations\\_and\\_Species](https://www.researchgate.net/publication/266231196_The_Sixth_Extinction_Crisis_Loss_of_Animal_Populations_and_Species)

Collins Andrea, Alessandro Galli, et al., "Living within a One Planet reality: the contribution of personal Footprint calculator", *Environmental Research Letters*, vol. 15 n° 2 (2020), p. 1-14. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5f96>

Cowgill Ursula, "Acid precipitation: a review". *Studies in Environmental Science*, n° 25 (1984), p. 233-259. [https://doi.org/10.1016/S0166-1116\(08\)72112-5](https://doi.org/10.1016/S0166-1116(08)72112-5)

Crutzen Paul, (2006). "The Anthropocene", In: Ehlers E., Krafft T. (eds.) *Earth System Science in the Anthropocene*. (Berlin, Heidelberg: Springer, 2006). [https://doi.org/10.1007/3-540-26590-2\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-26590-2_3)

Danowski Deborah & Viveiros de Castro Eduardo, "Los miedos y los fines... del mundo", *Revista Nueva Sociedad*, n° 283 (2019), p. 37-46. <https://www.nuso.org/articulo/los-miedos-y-los-fines-del-mundo/>

Descola, Philippe, "Beyond Culture and Nature", *Journal of Ethnographic Theory*, vol. 2 n° 1 (2012), p. 447-471. <https://doi.org/10.14318/hau2.1.020>

Diamond Jared, *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. (New York: Viking Penguin, 2005). <https://cpor.org/ce/Diamond%282005%29Collapse-HowSocietiesChooseFailureSuccess.pdf>

Duguma Lalisa, Atela Joanes, et al., "Deforestation and Forest Degradation as an Environmental Behavior: Unpacking Realities Shaping Community Actions", *Land*, vol. 8 n° 2 (2019), 26. <https://doi.org/10.3390/land8020026>

Erlich Paul & Erlich Anne, "Can a collapse of global civilization be avoided", *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 280 n° 1754 (2013), p. 1-9. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2845>

Ghani Gairuzazmi, "The Montreal Protocol: Developing Countries Import of Halons", *Economics Bulletin*, vol. 17 n° 7 (2007), p. 1-5. <https://core.ac.uk/download/pdf/6420501.pdf>

Gillings Michael & Paulsen Ian, "Microbiology of the Anthropocene", *Anthropocene*, n° 5 (2014), p. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.06.004>

González de Molina Manuel & Toledo Victor, (2023). "Social Metabolism: Origins, History, Approaches, and Main Schools". In: *The Social Metabolism. Environmental History*, (Switzerland: Springer, Cham, vol. 14. 2023). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-48411-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-48411-7_3)

Görg Christoph, Plank Christina, et al., "Scrutinizing the Great Acceleration: The Anthropocene and its analytic challenges for social-ecological transformations", *The Anthropocene Review*, vol. 7 n° 1 (2020), p. 42-61. <https://doi.org/10.1177/2053019619895034>

Grumbach Stéphane & Hamant Olivier, "Digital revolution or anthropocenic feedback?", *The Anthropocene Review*, vol. 5 n° 1 (2018), p. 87-96. <https://doi.org/10.1177/2053019617748337>

Herrfahrdt-Pähle Elke, Schlüter Maja, et al., "Sustainability transformations: socio-political shocks as opportunities for governance transitions", *Global Environmental Change*, n° 63 (2020), 102097. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102097>

Hmiel Benjamin, Petrenko VV, et al., "Preindustrial 14CH4 indicates greater anthropogenic fossil CH4 emissions", *Nature*, n° 578 (2020), p. 409-412. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-1991-8>

Ho David, Lamers Patrick, et al., "Navigating the obstacles of carbon-negative technologies", *One Earth*, vol. 7 n° 9 (2024), p. 1471-1476. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.08.016>

Hornborg Alf, McNeill J & Martinez-Alier Joan, *Rethinking Environmental History: World-System History and Global Environmental Change*. (Lanham: Altamira Press, 2007).

Hrubec Marek & Uhde Zuzana, "Global Conflicts and Local Interactions: Contradictions of Global Capitalism and Civil Society", *Critical Sociology*, vol. 45 n° 6 (2019), p. 777-783. <https://doi.org/10.1177/0896920518798880>

Informe GEO5, *The Global Environment Outlook: Environment for the future we want (GEO-5)*. (Nairobi: UNEP, 2012). <https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-5?v=2>

IPCC, *The Physical Science Basis'. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (Cambridge: Cambridge University Press, 2024). [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4\\_wg1\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf)

Ivanova Kate, "Corruption, illegal trade and compliance with the Montreal Protocol", *Environmental and Resource Economics*, n° 38 (2007), p. 475-496. <https://doi.org/10.1007/s10640-007-9088-5>

Jotzo Frank, "Developing countries and the future of the Kyoto protocol", *Global Change, Peace & Security*, n° 17 (2005), p. 77-86. <https://doi.org/10.1080/0951274052000319373>

Kannan Kurunthachalam, Tanabe Shinsuke, et al., "Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in foodstuffs from Asian and oceanic countries", *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, n° 152 (1997), p. 1-55. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1964-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1964-4_1)

Kanter David, Mauzerall Denise, et al., "A post-Kyoto partner: considering the stratospheric ozone regime as a tool to manage nitrous oxide", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 110 n° 12 (2013), p. 4451-4457. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222231110>

Kassas M, "The biosphere and the threat of global industrialisation: limits of the biosphere", *Environmentalist*, n° 9 (1989), p. 261-268. <https://doi.org/10.1007/BF02241826>

Kedia Shailly, "Approaches to low carbon development in China and India", *Advances in Climate Change Research*, vol. 7 n° 4 (2016), p. 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2016.11.001>

Keenan Trevor, Prentice Colin, et al., "Recent pause in the growth rate of atmospheric CO<sub>2</sub> due to enhanced terrestrial carbon uptake", *Nature Communications*, n° 7 (2016), 13428. <https://doi.org/10.1038/ncomms13428>

Keller David, Lenton Andrew, et al., "The Effects of Carbon Dioxide Removal on the Carbon Cycle", *Current Climate Change Reports*, n° 4 (2018), p. 250-265. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0104-3>

Konikow Leonard & Kendy Eloise, "Groundwater depletion: a global problem", *Hydrogeology Journal*, n° 13 (2005), p. 317-320. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0411-8>

Lade Steven, Steffen Will, et al., "Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions", *Nature Sustainability*, n° 3 (2020), p. 119-128. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0454-4>

Lambin Eric, Geist Helmut & Lepers Erika, "Dynamics of Land-use and land-cover change in tropical regions", *Annual Review of Environment and Resources*, n° 28 (2003), p. 205-241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>

Lashitew Addisu & Mu Youqing, "Corporate opposition to climate change disclosure regulation in the United States", *Climate Policy*, (2024), p. 1-16. <https://doi.org/10.1080/14693062.2024.2394518>

Latour Bruno, "Telling friends from foes in the time of the Anthropocene". In: Hamilton, C., Bonneuil, C., Gemenne, F. (Eds.), *The Anthropocene and the Global Environmental Crisis: Rethinking modernity in a new epoch*. (London: Routledge, 2015, p. 145-155). <https://doi.org/10.4324/9781315743424>

Lewis Simon & Maslin Mark, "Defining the Anthropocene", *Nature*, n° 519 (2015), p. 171-180. <https://doi.org/10.1038/nature14258>

Malhi Yadvinder, "El concept of the Anthropocene", *Annual Review of Environment and Resources*, n° 42 (2017), p. 77-104. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060854>

Martin Jean-Louis, Virginie Maris & Daniel Simberloff, "The need to respect nature and its limits challenges society and conservation science", *PNAS*, vol. 113 n° 22 (2016), p. 6105-6112. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525003113>

Martins Florinda, Felgueiras Carlos, et al., "Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries", *Energies*, vol. 12 n° 6 (2019), 964. <https://doi.org/10.3390/en12060964>

Meadows Donella, Meadows Dennis, et al., *The limits to growth*. (New York: Universe Books, 1972). <https://doi.org/10.12987/9780300188479-012>

Molina Mario & Rowland S., "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone", *Nature*, n° 249 (1974), p. 810-812. <https://doi.org/10.1038/249810a0>

Moore Amelia, "Anthropocene anthropology: reconceptualizing contemporary global change", *Journal of the Royal Anthropological Institute*, vol. 22 n° 1 (2016), p. 27-46. <https://doi.org/10.1111/1467-9655.12332>

NOAA, Earth System Research Laboratory: Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Available in: [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl\\_trend.html](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_trend.html) (Access november 17, 2025). [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl\\_trend.html](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_trend.html)

Otto Ilona, Wiedermann Marc, et al., "Human agency in the Anthropocene", *Ecological Economics*, n° 167 (2020), 106463. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106463>

Pavone Ilja Richard, "The Paris Agreement and the Trump administration: Road to nowhere", *Journal of International Studies*, vol. 11 n° 1 (2018), p. 34-49. <http://dx.doi.org/10.14254/2071-8330.2018/11-1/3>

Qing Qing Li, Loganath Annamalai, et al., “Persistent Organic Pollutants and Adverse Health Effects in Humans”, *Journal of Toxicology and Environmental Health*, vol. 69 n° 21 (2006), p. 1987-2000. <https://doi.org/10.1080/15287390600751447>

Reyes-Garcia Victoria, Gueze Maximilien, et al., “Evidence of Traditional Knowledge Loss among a Contemporary Indigenous Society”, *Evolution and Human Behavior*, vol. 34 n° 4 (2013), p. 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2013.03.002>

Steffen Will, Crutzen Paul & McNeill, John, “The anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature”, *Ambio*, vol. 36 n° 8 (2007), p. 614-621. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2)

Steinbacher Martin, Vollmer Martin, et al., “An evaluation of the current radiative forcing benefit of the Montreal Protocol at the high-Alpine site Jungfrauoch”, *The Science of the Total Environment*, vol. 391 n° 2-3 (2008), p. 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.10.003>

Stone Christopher, “Common but Differentiated Responsibilities in International Law”, *The American Journal of International Law*, vol. 98 n° 2 (2004), p. 276-301. <https://doi.org/10.2307/3176729>

Surugiu Marius-Răzvan & Surugiu, Camelia, “International trade, globalization and economic interdependence between european countries: implications for businesses and marketing framework”, *Procedia Economic and Finance*, n° 32 (2015), p. 131-138. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01374-X](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01374-X)

Tainter Joseph, “Archaeology of overshoot and collapse”, *Annual Review of Anthropology*, vol. 35 n° 1 (2006), p. 59-74. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.35.081705.123136>

Toledo Victor, “El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica”, *Relaciones*, n° 136 (2013), p. 41-71. <https://doi.org/10.24901/rehs.v34i136.163>

Tortell Philippe, “Earth 2020: Science, society, and sustainability in the Anthropocene”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117 n° 16 (2020), p. 8683-8691. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001919117>

Turetsky Merritt, Abbott Benjamin, et al., “Permafrost collapse is accelerating carbon release”, *Nature*, n° 569 (2019), p. 32-34. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-01313-4>

Velders Guus, Andersen Stephen, et al., “The importance of the Montreal Protocol in protecting climate”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104 n° 12 (2007), p. 4814-4819. <https://dx.doi.org/10.1073/pnas.0610328104>

Wackernagel Mathis, & Williams, Rees, *Our Ecological Footprint*. (Filadelfia: New Society Publishers, 1996). <https://archive.org/details/oureecologicalfoo00will>

Yuewen Deng & Adzigbli Linda, “Assessing the impact of oil spills on marine organisms”, *Journal of Oceanography and Marine Research*, vol. 6 n° 1 (2018), p. 1-7. <https://doi.org/10.4172/2572-3103.1000179>

Zalasiewicz Jan, Williams Mark, Haywood Alan & Ellis, Michael, “The anthropocene: a new epoch of geological time”, *Phil. Trans. R. Soc. A*, n° 369 (2011), p. 835-841. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0339>

Zhang ZhongXiang, “Making the Transition to a low-carbon economy: the key challenges for China”, *Asia & The Pacific Policy Studies*, vol. 3 n° 2 (2016), p. 187-202. <https://doi.org/10.1002/app5.138>

## Regenerate to Decarbonize: Environmental Trajectories in the Anthropocene

### ABSTRACT

This study critically examines how the transition to a regenerative economy can accelerate global decarbonisation in the Anthropocene era. On the brink of an unprecedented climate crisis, humanity stands at a critical crossroads. The transition from a 'grey' economy - driven by fossil fuels and unsustainable practices - to a 'green' and regenerative economy is not just an option, but an urgent necessity to ensure the survival and prosperity of future generations. The analysis explores strategies to advance decarbonisation through the adoption of regenerative economic models, situating the discussion within the context of human dominance and its profound impact on Earth's systems. The study argues that addressing the challenge of decarbonisation within the framework of global capitalism requires a comprehensive, multi-dimensional approach. This includes the use of nature-based solutions alongside a fundamental restructuring of economic and social systems.

**Keywords:** green economy, zero-net, carbon, sustainability, development.

Recibido: 14/12/2024  
Aprobado: 17/11/2025