

BIOECONOMÍA: ¿CÓMO LOGRAR INTERCAMBIOS DE VALOR ECONÓMICO Y TERMODINÁMICO ENTRE LOS ECOSISTEMAS Y LA SOCIEDAD?

Ellie Anne López Barrera

Escuela de Negocios
Universidad de La Salle
ellopez@unisalle.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-4195-6354>

Rafael G. Barragán G.

Instituto de Estudios y Servicios Ambientales
Universidad Sergio Arboleda
ragabagoo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9956-0221>

1

2

3

4

5

6

7

8

Resumen

La integración de la bioeconomía y las contribuciones de la naturaleza a las personas (NCPs) ofrece una oportunidad de avanzar hacia un desarrollo sostenible que equilibre las necesidades humanas con la conservación de los recursos naturales. La clave está en un enfoque holístico y colaborativo que involucre a todos los sectores de la sociedad en la promoción de una economía social y ambientalmente resiliente. Se propone incluir en la visión bioeconómica datos sobre: interconexiones climáticas que afectan la fuerza laboral, flujos genéticos que impactan la seguridad alimentaria, la integridad del ecosistema que influye en la estequiometría atmosférica, y el intercambio de materia y energía entre océano, atmósfera y suelo, que regula los *stocks* elementales. Esta reflexión sobre la interrelación de conceptos subraya la necesidad de apoyar políticas integrales que favorezcan tanto el desarrollo económico como la conservación ambiental y el equilibrio entrópico. La implementación de prácticas de bioeconomía en los territorios debe ir acompañada de una adecuada valoración del potencial de la naturaleza, asegurando que las actividades económicas no comprometan la capacidad de los ecosistemas para seguir brindando beneficios a largo plazo.

Introducción

Las poblaciones son reguladas naturalmente a través de tres mecanismos o condiciones: 1) limitación de recursos, 2) depredación y 3) virus (Precht *et al.*, 2020). Nuestro propio desarrollo registrado a través de la historia ha encaminado la estabilidad del ecosistema del cual dependemos hacia un estado entrópico poco favorable termodinámicamente para la especie humana, es decir hacia la homeostasis del Sistema Tierra fuera de los límites favorables para

la vida humana. Oportunamente, generamos una respuesta cultural adaptativa de manera generalizada como especie, manifestada como un cambio del paradigma socioeconómico dominante. Uno de los avances intelectuales que contribuyó al origen de la civilización fue el pensamiento económico estructurado, desarrollado desde que las huertas y los ganados generaron excedentes familiares que fueron intercambiados mediante la figura del “trueque”. Su flexibilidad le ha permitido adoptar diferentes paradigmas a lo largo de la historia hasta desembocar en el nacimiento de la economía. El modelo dominante parte del individualismo y la idea de que los recursos son ilimitados, actualmente cuestionado debido a su incapacidad de integrar variables tales como la cooperación, el reciclaje y el carácter limitado de los recursos naturales, o de alcanzar la sostenibilidad (Brand *et al.*, 2022; Di Pasquale, 2023; Morgan, 2016).

La bioeconomía integra en su paradigma la homeostasis del ecosistema global como un “bien escaso”, considerándola un área de interés del enfoque macroeconómico, armonizando el modelo económico con la economía heterodoxa y alejándose del pensamiento predominante. Tradicionalmente, los factores de producción más importantes para el modelo capitalista neoclásico habían sido tierra, trabajo, capital y tecnología, con un énfasis en la acumulación de capital, sin considerar variables intangibles relacionadas con el capital humano y ambiental, como, por ejemplo, costo ambiental, compensaciones termodinámicas hacia el ecosistema, cooperación y altruismo en la actividad socioeconómica (Mohammadian, 2019).

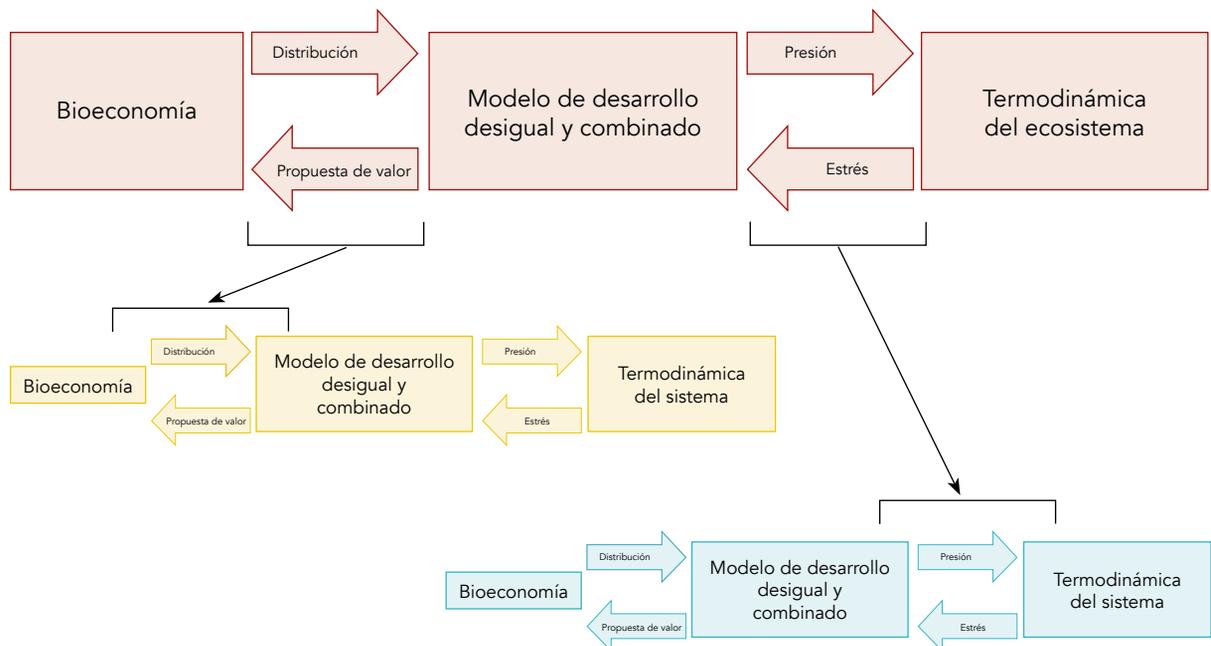
Nuestra reflexión plantea el flujo de información entre tres componentes del sistema socioecológico: bioeconomía, modelo de desarrollo desigual y combinado, y termodinámica del ecosistema. La explicación que ofrece el modelo de desarrollo desigual y combinado representa, en términos

físicos, el comportamiento de la sociedad frente a una señal de estrés termodinámico del ecosistema, planteando dos escenarios: el primero, con propuestas de valor de baja calidad y escasa distribución del capital que generan alta presión sobre el equilibrio termodinámico del ecosistema, favorecen alta entropía y pérdida de información en los sistemas; el segundo, con propuestas de valor de alta calidad y/o abundante distribución del capital que disminuyen tanto la presión como el estrés y favorecen condiciones con entropía más baja, así como mayor complejidad e información en los sistemas (véase la figura 1).

La economía estudia el balance del intercambio con el medio que sostiene al sistema, mientras la termodinámica estudia la generación, la distribución y el uso de la energía a través de la fuerza para

realizar trabajo, el calor y el enfriamiento (Bejan y Tsatsaronis, 2021). La capacidad de integración de información en el contexto globalizado nos ha permitido comprender que los modelos económicos dominantes carecen de un componente de conexión con la Madre Tierra, pero gracias a la aplicación de los principios termodinámicos hemos entendido que a través de la retribución o la compensación se genera el *link* que posibilita alcanzar el equilibrio dinámico que perpetúa la integridad del sistema (Herbert *et al.*, 2023). Es importante cerrar ciclos aplicando principios termodinámicos y aportando a la economía una percepción de la entropía ambiental ante la presión generada por el desarrollo económico. A comienzos de los años setenta nació la economía ecológica, cuando la segunda ley de la termodinámica se aplicó a los procesos productivos, encontrando

Figura 1. Flujo de información entre los tres compartimentos del sistema socioecológico de retroalimentación entrópica. La modulación de las señales entre el ecosistema y el sistema económico se explica a través del modelo de desarrollo desigual y combinado, y cuatro posibles Acciones puntuales*



Fuente: elaboración propia, 2024.

en el concepto de entropía un punto de vista en común que permitió establecer la interrelación causa/efecto entre entropía y utilidad marginal: “únicamente la termodinámica puede explicar por qué los bienes tienen valor” (Georgescu-Ruegen, 1971; Jakimowicz, 2020). Posteriormente, la escuela de pensamiento de entropía económica contribuyó a incluir aspectos ecológicos en la teoría del crecimiento económico, ampliando la perspectiva de la economía hacia enfoques como los de la econofísica, la complejidad económica, la economía cuántica, etc. (Georgescu-Ruegen, 1971).

En la última parte del artículo se reflexiona sobre el contexto nacional en Colombia, resaltando la participación activa en el desarrollo e implementación de estrategias bioeconómicas aprovechando la biodiversidad y los recursos naturales mediante un crecimiento económico sostenible y beneficioso socialmente. En el momento histórico que vivimos, la bioeconomía desempeña un papel clave para el sistema económico de Colombia y de los demás países del mundo, ya que vincula toda la cadena de valor de servicios y productos ambientales, desde la gestión y el uso de los recursos naturales, hasta la entrega de productos y servicios. Este documento se suma a la literatura existente mediante una aproximación dialéctica que aborda la pregunta, ¿cómo lograr intercambios de valor económico y termodinámico entre los ecosistemas y la sociedad?

Modelo del desarrollo desigual y combinado

Se refiere a dos aspectos de las sociedades: 1) la distribución desigual —espacial y temporalmente— del producto de: industria, minería, banca, comercio, consumo, riqueza y relaciones laborales, entre otros aspectos; y, 2) la combinación de

condiciones de trabajo y formas políticas de siglos pasados con tecnología moderna, representando una mezcla de aspectos rentables del desarrollo y el subdesarrollo en una nueva unidad funcional combinada (O'Connor, 1998). El modelo de desarrollo desigual y combinado tiene un rol como puente o modulador entre bioeconomía y termodinámica, ya que permite incorporar en el modelo bioeconómico los descriptores sociopolíticos de la sociedad en un sentido termodinámico, aportando indicadores de la cinética social, cultural, económica, política y geográfica, compatibles con el lenguaje termodinámico. Es una noción que también tiene axones en común con la bioeconomía, puesto que ambas teorías reconocen la existencia de disparidades y complejidades sociales y describen las consecuencias del desarrollo económico (Mohammadian, 2019; Rammelt, 2020).

Es una interpretación por la cual se sostiene que en el sistema capitalista los países y/o regiones experimentan un desarrollo económico desigual, y que, en ciertos momentos, los países en vías de desarrollo pueden adoptar tecnologías y prácticas avanzadas de los países más desarrollados, anticipándose a su propio nivel, al combinar elementos de diferentes etapas de desarrollo. La bioeconomía busca equilibrar los aspectos globales y locales de la economía, reconociendo la interdependencia entre ambos niveles. Esta perspectiva se alinea con la idea de desarrollo desigual y combinado, en la que se considera la influencia de factores globales en el desarrollo local y viceversa, promoviendo un enfoque integrador para abordar las disparidades y complejidades del desarrollo económico (Mohammadian, 2019). En la corriente de pensamiento bioeconómico se ofrecen modelos alternativos al modelo lineal actual que incorporan el sistema ecológico, es decir, los límites planetarios y los desafíos de la sociedad como elementos clave dentro de la transformación económica. Aunque estos modelos ofrecen una alternativa porque permiten

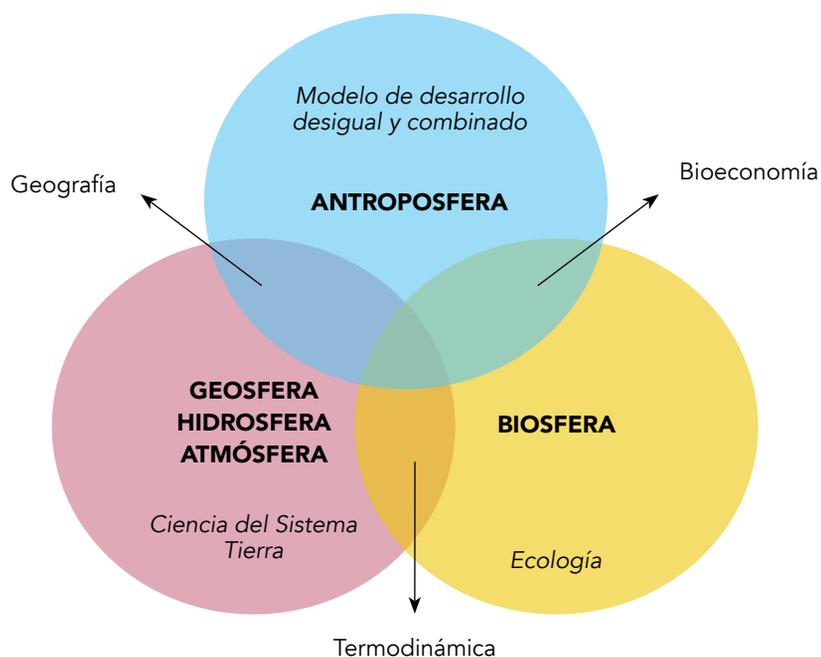
responder a los puntos centrales del sistema económico (la sociedad y la gestión de la escasez de recursos), ninguno es totalmente holístico ni se centra en todos los pilares de la sostenibilidad.

Se genera entonces la necesidad de desarrollar una bioeconomía que considere sociedad y el comportamiento frente a la limitación de recursos. Es posible contemplar como alternativa para la sostenibilidad económica el concepto de *bioeconomía global sostenible* (BGS) de tres componentes (véase la figura 2), en el que las intersecciones entre componentes generan un espacio de intercambio de información entre bioeconomía, termodinámica y geografía, haciendo posible abordar la pregunta: ¿cómo las diferentes tendencias económicas contribuyen a moldear la trayectoria general de la economía a la vez que impactan en última instancia la sostenibilidad de la sociedad y la

probabilidad de generar crisis económicas y ambientales? (Herbert *et al.*, 2023).

El modelo considera la condición de sostenibilidad como dependiente del estado de clímax sociocultural contenido mediante límites termodinámicos, a fin de garantizar estabilidad y homeostasis; para la bioeconomía es necesario entender los mecanismos directos e indirectos que desencadenan las dinámicas regenerativas que conducen al equilibrio dinámico de los sistemas vivos (Richardson *et al.*, 2023). Por ejemplo, este clímax necesita la estabilidad ecosistémica, que a su vez necesita la estabilidad social, política y económica, la de la estabilidad de cada ser humano, por lo tanto, reconocer la esencia de la naturaleza humana en cada persona, al igual que la esencia de la vida en cada organismo permite desarrollar posturas altruistas como, por ejemplo, distribuir excedentes en lugar de acumular capital,

Figura 2. Sistema de componentes con base en tres áreas de conocimiento que se interceptan en el campo de análisis de la bioeconomía global sostenible (BGS)



Fuente: elaboración propia, 2024.

o identificar tendencias en favor de la sostenibilidad prefiriendo alternativas comprometidas en el momento de adquirir bienes o servicios. Sin embargo, para desarrollar la conciencia se necesita acceso a la información y fortalecimiento de capacidades de análisis, tales como disminuir la brecha entre países con respecto al acceso a la educación, que debería redundar en propuestas de valor con mayor calidad termodinámica (véase la figura 2), es decir, propuestas de valor que no incrementan la entropía del sistema (Carbajal Cortés, 2022).

La integración entre economía y termodinámica se puede describir mediante cinco aspectos. El primero, los *límites* impuestos por la disponibilidad de energía y de recursos materiales, ya que físicamente la actividad económica no puede sostenerse indefinidamente intensificando la extracción y el uso de recursos. El segundo, la *optimización* del modelo económico, que para su sostenibilidad

debe incorporar principios termodinámicos (p. ej., eficiencia) en la conversión de energía y la minimización de la fricción e intensidad en el uso de recursos (Herbert *et al.*, 2023). El tercer aspecto es la *Entropía*, concepto termodinámico que se puede asociar en sentido inverso con la utilidad marginal en bioeconomía; la medida de la incertidumbre, la complejidad, o la capacidad de realizar trabajo han sido fundamentales en el desarrollo de teorías en las dos disciplinas. La bioeconomía enfoca su atención en mantener un equilibrio interno basado en la distribución de la riqueza y el bienestar de la sociedad, sin considerar el equilibrio externo del medio ambiente basado en la distribución de la entropía y la generación de valor termodinámico. La forma de entropía llamada “utilidad marginal” ofrece la posibilidad de ser medida a partir de la satisfacción de las personas en términos de felicidad o gusto, permitiendo relacionar directamente la percepción de los consumidores con las



Fuente: freepik

propuestas de valor y su calidad entrópica (véase la figura 2).

Un cuarto aspecto es el *equilibrio*, un concepto crucial tanto en termodinámica como en bioeconomía, en términos de oferta y demanda o en términos de balance de materia y energía. Según Mohammadian (2022), el equilibrio bioeconómico se centra en la gestión sostenible de los recursos biológicos, manteniendo su capacidad de regeneración y asegurando que se utilicen de manera responsable, en consideración a su valor real e intrínseco y su importancia para el bienestar de las generaciones futuras. Se ha asumido que los consumidores deciden de manera racional a fin de obtener la máxima utilidad; actualmente, se reconoce que las influencias sociales, culturales, religiosas o psicológicas también orientan las elecciones de los consumidores. Oportunamente, la bioeconomía, bajo su enfoque holístico, integra factores no monetarios como la solidaridad, la fraternidad y la ética en la toma de decisiones económicas, promoviendo así una economía más humanista, ética y equilibrada.

El quinto aspecto es el rol del sistema económico como *catalizador*, con miras a acelerar las reacciones en el medio ambiente mientras busca favorecer el equilibrio del sistema económico, en detrimento del equilibrio biológico. Desde la ecología se reconoce que la heterogeneidad de nichos crea gradientes y condiciones que permiten al sistema encontrar el equilibrio mediante reacciones opuestas, por ejemplo, la nitrificación en ambientes anaerobios se compensa con desnitrificación en ambientes aerobios, la fotosíntesis oxigénica repone el O₂ consumido por la quimioheterotrofia aerobia. Desde la visión económica, es necesario compensar este efecto como catalizador, buscando formas de desacelerar o revertir las reacciones a través de propuestas de valor atractivas para los consumidores y económicamente sustentables. Este enfoque se centra en la velocidad del desarrollo más que en

la cantidad de desarrollo, ya que el desacople absoluto entre PIB y su impacto ambiental se ha demostrado con tasas de crecimiento inferiores al 1-2 % anual (Brand *et al.*, 2022).

Colombia: alternativas en bioeconomía

Desde cada gobierno se ha impulsado un modelo de desarrollo sostenible que busca potenciar la economía de manera amigable ambientalmente, considerando las indicaciones del Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes), un organismo asesor del Gobierno nacional en todos los aspectos relacionados con el desarrollo económico y social del país. Es así como en el Conpes 4219 (DNP, 2023) de Reindustrialización, se definieron acciones para desarrollar la bioeconomía desde el 2023, planteando que llegue al 10% del PIB, y se buscó gestionar eficiente y sosteniblemente biodiversidad y biomasa con el propósito de generar nuevos productos y valor agregado, basados en conocimiento e innovación. A estos esfuerzos se suma el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, el cual propone el desarrollo de la “economía productiva a través de la reindustrialización y la bioeconomía”, en especial la agroindustrialización. Este plan se plantea: producción de biológicos (alimentos, materiales, textiles, fibras y energía) con valor agregado mediante fertilizantes sanos, insumos, equipos y maquinaria para la ampliación de la oferta agrícola y el riego, así como mejora productiva de los agricultores y los operadores logísticos con plantas de beneficio de productos pecuarios. El Conpes 3934, política de crecimiento verde, contiene la definición nacional de bioeconomía: “aquella que gestiona de manera eficiente y sostenible la biodiversidad y la biomasa para generar nuevos productos y procesos de valor agregado, basados en el conocimiento y la innovación”.

En un país con elevado potencial para la productividad primaria el aprovechamiento de la biomasa es estratégico, no en vano se identificó como una tendencia a escala global por Dietz *et al.* (2018) quienes compararon estrategias nacionales para implementar bioeconomía y destacaron que la más relevante es la sustitución de combustibles fósiles por materias primas biológicas. Subrayan el aumento de la productividad en sectores primarios biológicos como la agricultura, la silvicultura y la pesca, mejorando la eficiencia en el uso de la biomasa; igualmente, la innovación en sectores intermedios, optimizando el uso de la biomasa y el reciclaje es crucial.

Entre el 2024 y el 2028 la Agencia de Desarrollo Rural diseñará e implementará 32 agendas departamentales de bioeconomía y agricultura 4.0 (con acciones orientadas a fortalecer la agricultura y la ganadería regenerativa, así como el aprovechamiento de la biomasa) que diversifiquen y sofisticquen los sistemas productivos agropecuarios. De igual manera, el Gobierno actual pretende desarrollar e implementar un portafolio de financiación dirigido a unidades productivas, en especial pymes, que apoyen proyectos de modernización del aparato productivo, sostenibilidad, economía circular, bioeconomía y gestión del cambio climático, así como planes y proyectos de internacionalización que fomenten encadenamientos de exportación.

No obstante los esfuerzos, muchas políticas parecen carecer de una aproximación metodológica robusta al subestimar las implicaciones termodinámicas y el proceso de transición hacia un modelo bioeconómico. Se deben identificar fortalezas y debilidades de los sistemas de innovación, evaluar el impacto de eventos o aspectos que afecten la transición e identificar las condiciones para una transición exitosa. De igual forma, mapear las partes interesadas y sus roles, posiciones

y expectativas, comprender los cambios dentro de los sectores y las empresas a lo largo del tiempo, analizar el papel por sectores, examinar la manera en que se adoptan nuevas estrategias y explorar políticas y sus efectos en la transición (Gottinger *et al.*, 2020)). Igualmente, los conceptos termodinámicos no han sido relacionados en las políticas públicas ni con los conpes. Según el IACGB (2024), los impulsores clave de los programas nacionales de bioeconomía incluyen al sector privado, fundamental para generar avances tecnológicos y técnicos, pero requiriendo inversiones significativas que pueden ser aliviadas por políticas de bioeconomía que fomenten modelos de circularidad con miras a la optimización de recursos, el reciclaje, el uso de residuos o flujos secundarios, y el consumo sostenible. Otro impulsor es el capital humano: desarrollar fuerza laboral calificada requiere programas de desarrollo de capacidades para proporcionar a las personas los conocimientos y las habilidades que les permitan contribuir a la sostenibilidad en todos los niveles de la sociedad. Finalmente, la bioseguridad es un impulsor clave, con los marcos de políticas de bioeconomía global, poniendo cada vez más énfasis en la protección y seguridad en las actividades biológicas.

La aplicación de procesos biológicos favorece la creación de métodos de producción y productos ecológicos y económicos. Con este fin, las estrategias nacionales pueden estar apoyadas por mecanismos políticos de apoyo (“gobernanza habilitante”) o de control (“gobernanza restrictiva”). La gobernanza habilitante incluye: políticas, incentivos e iniciativas que fomentan la adopción de tecnologías biológicas, prácticas sostenibles e innovación, generando un entorno propicio para que las bioindustrias prosperen y contribuyan a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Así, por ejemplo, el proyecto de pago por servicios ambientales requiere una contabilidad rigurosa

y efectiva, según los lineamientos del documento Conpes 3886 (DNP, 2017). Por otro lado, la gobernanza restrictiva utiliza herramientas y medidas regulatorias para gestionar riesgos y conflictos, abordando desafíos tales como los conflictos entre objetivos de sostenibilidad, impactos ambientales y preocupaciones sociales. Estas medidas ayudan a mitigar consecuencias negativas y asegurar que la bioeconomía funcione dentro de límites sostenibles (Cano *et al.*, 2023; Dietz *et al.*, 2018).

El equilibrio entre gobernanza habilitante y restrictiva permite a los formuladores de políticas crear un marco integral que promueve el desarrollo sostenible de la bioeconomía, abordando desafíos, maximizando beneficios y orientando la bioeconomía hacia los objetivos de sostenibilidad ambiental, social y económica. Colombia ha desarrollado una estrategia nacional de bioeconomía comenzado en el 2015 con el programa conocido como Colombia Bio, dirigido a promover el conocimiento, la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad,

centrándose en el 2020 sobre cinco áreas estratégicas: la biodiversidad, los servicios ecosistémicos, la agricultura productiva y sostenible, y la salud y el bienestar, resaltando el interés en el desarrollo de alternativas (IACGB, 2024).

Conclusiones

El capital es un constructo cultural que ha obnubilado el criterio de las personas en un delirio de consumo que agotó los recursos naturales innecesariamente. El nuevo paradigma propone una distribución del beneficio entre los capitales ecológico, termodinámico, social y cultural. El dinero puede desaparecer, es necesario que el modelo económico se adapte incorporando otros valores de intercambio no monetario; la bioeconomía tiene el potencial de ser culturalmente correcta, económicamente adecuada, ambientalmente sostenible y termodinámicamente favorable para la supervivencia de la especie humana.



Fuente: freepik

La relación entre el desarrollo desigual y combinado, la entropía y la bioeconomía se puede establecer cuando el flujo de materia y energía entre los sistemas sociales y económicos traspasa las fronteras administrativas y adquiere temporalidad y espacialidad. Aceptando que los principios termodinámicos desempeñan un papel fundamental para explicar el funcionamiento de las economías y su interacción con el medio ambiente e imponen limitaciones al desarrollo. Además, reconociendo que el desarrollo desigual ha ofrecido la oportunidad de desarrollar el modelo bioeconómico al generar disparidades entre regiones frente a la utilización de recursos, la eficiencia y la generación de desechos, afectando la disponibilidad de recursos, su calidad y la resiliencia del medio ambiente. Es

esta una oportunidad que puede ser aprovechada por el desarrollo combinado al estructurar un sistema económico interrelacionado, compensando esas disparidades mediante compasión, posturas altruistas, generación de valor termodinámico y distribución de excedentes económicos.

Colombia, y en general países con superficie apta para la productividad primaria tienen un rol relevante en el balance termodinámico del contexto ambiental actual; las políticas públicas reflejan el reconocimiento de esa responsabilidad y nos encaminan a continuar propendiendo a la sostenibilidad de la sociedad colombiana, próspera, ambientalmente amigable y entrópicamente equilibrada.



Fuente: freepik

Referencias

- Bejan, A., & Tsatsaronis, G. (2021). Purpose in thermodynamics. *Energies*, 14(2), 408. <https://doi.org/10.3390/en14020408>
- Brand, L., Brook, A., Büchs, M., Meier, P., Naik, Y., & O'Neill, D. W. (2022). Economics for people and planet-moving beyond the neoclassical paradigm. *The Lancet Planetary Health*, 6(4), e371-e379. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(22\)00063-8](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(22)00063-8)
- Cano, J. A., Luna-Tapia, A. L., Martínez, J. F., Parrado, Y. A., Teherán-Sierra, L. G., & Parra-Torres, M. F. (2023). Misión Nacional de Bioeconomía Lineamientos para Potenciar la bioeconomía en Colombia. En A. Rincón-Ruiz (ed.), *Bioeconomía: miradas múltiples, reflexiones y retos para un complejo. Un libro sobre economías diversas, y economías "otras" para la vida*. Centro Editorial-Facultad de Ciencias Económicas-Universidad Nacional de Colombia.
- Carbajal Cortés, R. (2022). Breve historia del pensamiento económico, Heinz D. Kurz. *Investigación Económica*, 81(322), 133-138. <https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2022.322.83638>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2018). Política de Crecimiento Verde (documento Conpes 3934). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3934.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2023). Política Nacional de Reindustrialización (Documento Conpes 4129). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4129.pdf>
- Di Pasquale, E. A. (2023) *¿Qué es la economía?* Universidad Nacional de Mar del Plata-Facultad de Ciencias Económicas y Sociales.
- Dietz, T., Börner, J., Förster, J. J., & Braun J. von. (2018) Governance of the bioeconomy: A global comparative study of national bioeconomy strategies. *Sustainability*, 10(9), 3190. <https://doi.org/10.3390/su10093190>
- Eversberg, D., Koch, P., Lehmann, R., Saltelli, A., Ramci-lovic-Suominen, S., & Kovacic, Z. (2023). The more things change, the more they stay the same: promises of bioeconomy and the economy of promises. *Sustainability Science*, 18(2), 557-568. <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01321-4>
- Georgescu-Ruegen, N. (1971). *The entropy law and the economic process*. Harvard University Press.
- Gottinger, A., Ladu, L., & Quitzow, R. (2020). Studying the transition towards a circular bioeconomy-a systematic literature review on transition studies and existing barriers. *Sustainability*, 12(21), 8990. <https://doi.org/10.3390/su12218990>
- Herbert, É., Giraud, G., Louis-Napoléon, A., & Goupil, C. (2023). Macroeconomic dynamics in a finite world based on thermodynamic potential. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44699-y>
- IACGB. International Advisory Council on Global Bioeconomy. (2024). *Bioeconomy globalization: Recent trends and drivers of national programs and policies*. International Advisory Council on Global Bioeconomy. <https://www.ifpri.org/event/globalization-bioeconomy-recent-trends-and-drivers-bioeconomy-programs-and-policies/>
- Jakimowicz, A. (2020). The role of entropy in the development of economics. *Entropy*, 22(4), 452. <https://doi.org/10.3390/e22040452>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente). (2017). *Programa Nacional de Pago por Servicios Ambientales (PSA)*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/Programa-Nacional-de-Pagos-por-Servicios-Ambientales-2021-.pdf>

Mohammadian, M. (2019), Economía del tercer camino. De la teoría de la bioeconomía a la práctica. *Encuentros Multidisciplinares*, 21(62).

Morgan, J. (Ed.), (2016). What is neoclassical economics? *Debating the origins, meaning and significance*. Routledge.

O'Connor, J. (1989). Uneven and combined development and ecological crisis: a theoretical introduction. *Race & Class*, 30(3), 1-11. <https://doi.org/10.1177/030639688903000302>

Precht, W. F., Aronson, R. B., Gardner, T. A., Gill, J. A., Hawkins, J. P., Hernández-Delgado, E. A., Jaap, W. C., McClanahan, T. R., McField, M. D., Murdoch, T. J. T., Nugues, M. M., Roberts, C. M., Schelten, C. K., Watkinson, A. R., & Côté, I. M. (2020). The timing and causality of ecological shifts on Caribbean reefs. *Population Dynamics of the Reef Crisis*, 331-360. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2020.08.008>

Rammelt, C. (2020). The spiralling economy: Connecting marxian theory with ecological economics. *Environmental Values*, 29(4), 417-442. <https://doi.org/10.3197/096327119x15747870303881>



Fuente: freepik