



ECONOMÍA EVOLUTIVA Y SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS: UNA PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y LA ECONOMÍA

Gabriel Alberto Rosas Sánchez¹

Alenka Guzmán ²

RESUMEN

La economía neoclásica presenta una serie de restricciones analíticas para afrontar la crisis ambiental al considerar los recursos naturales bajo el principio de escasez y determinar su óptimo uso en términos exclusivamente de mercado. Este trabajo ofrece una propuesta de integración a partir de principios ontológicos de la economía evolutiva y el enfoque de sistemas complejos adaptativos. Se propone un esquema donde la mejor respuesta de los agentes frente a la problemática ambiental es la innovación adaptativa y su pertinencia se evalúa en tres niveles: sistema social, ambiental y económico en términos de pobreza energética, entropía y eficiencia energética respectivamente. Si la acción colectiva es aprobada por los tres sistemas, entonces puede considerarse como eco-innovación. Las conclusiones versan en las ventajas analíticas de los enfoques propuestos para entender las relaciones medio ambiente, economía y sociedad en lugar de una teoría estática y lineal que utilizan las instituciones nacionales y supranacionales.

ABSTRACT

Neoclassical economics presents a series of analytical constraints when addressing the environmental crisis, considering natural resources under the principle of scarcity and determining their optimal use exclusively in market terms. This work offers a proposal for integration based on ontological principles of evolutionary economics and the complex adaptive systems approach. A framework is proposed where the agents' best response to environmental issues is adaptive innovation, and its relevance is evaluated at three levels: social, environmental, and economic systems in terms of energy poverty, entropy, and energy efficiency, respectively. If collective action is endorsed by all three systems, then it can be considered as eco-innovation. The conclusions focus on the analytical advantages of the proposed approaches for understanding the relationships among environment, economy, and society, rather than a static and linear theory used by national and supranational institutions.

PALABRAS CLAVE: Economía evolutiva, sistemas complejos adaptativos, medio ambiente, innovación adaptativa.

CLASIFICACIÓN JEL: Q57, B41, P28, Q4, B52.

1 Doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Autónoma Metropolitana. Correo electrónico. [rosassanchezgabriel@gmail.com]

2 Profesora de tiempo completo en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Departamento de Economía. [alenka.uami@gmail.com]



INTRODUCCIÓN

La preocupación internacional respecto al cambio climático ha orientado las acciones de los organismos supranacionales hacia la generación de agendas normativas para alcanzar principalmente dos objetivos: la descarbonización de la economía y evitar el incremento en la temperatura global superior a 2 grados centígrados (CEPAL, 2020). Se trata de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente celebrada en Estocolmo en 1972, la Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, efectuada en Rio de Janeiro en 1992, Protocolo de Kioto de 1997 y el Acuerdo de París del 2015.

A partir de este último acuerdo, la comunidad internacional adoptó un nuevo pacto global de desarrollo. Este acuerdo se conoce como la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La guía principal es la configuración de modelos energéticos sustentables³ que al menos cuenten con los siguientes aspectos básicos:

- *Erradicación de la pobreza*: Cambio en los patrones de producción y consumo base de recursos de desarrollo económico y social.
- *Seguridad energética*: manteniendo el suministro de comida, agua, energía, servicios de salud, cultura a precios razonables para la comunidad.
- *Paz*: Estabilidad y respeto a los derechos humanos y libertades fundamentales, políticas, económicas y sociales.
- *Contexto institucional*: Responsabilidad de las instituciones democráticas necesarias para la gente, respecto a la diversidad cultural, el

derecho al desarrollo, igualdad de género en las prácticas ambientales.

- *Sustentabilidad ambiental y competitividad económica*: Niveles de producción y extracción de energía compatibles con los niveles naturales de reposición y que eviten choques de demanda energética. (PNUMA, 2018).

Si bien la descripción de los problemas asociados al cambio climático es correcta, sobre toda la crítica pertinente al actual modelo de desarrollo global basado en intensivo uso de energías fósiles, presentamos inconformidad con las acciones para lograr los diversos cometidos. En efecto, las principales herramientas utilizadas en la política económica-ambiental son: trabajos de costos-beneficios, mecanismos de compensación monetaria a grupos afectados y política de distribución de los ingresos de impuestos verdes⁴. En este escenario, el daño medioambiental puede remediarse a través del dinero, deduciéndose que los recursos ambientales son visto únicamente bajo la teoría subjetiva de la utilidad y su valor monetario. Se omiten elementos primordiales que den cuenta de las repercusiones del cambio climático en la economía y sociedad, así como para la generación de política pública para afrontarlo.

El diseño de política sugiere análisis fragmentados, en donde se atribuye al sistema económico el rol principal para la transición energética y con ello la realización de metas económicas y beneficios sociales (Rodríguez *et al.* 2015), relegando al medio ambiente a su representación mercantil. Esta forma de plantear los problemas medioambientales redundante en un determinismo económico a causa del enfoque neoclásico de la economía.

3 Por modelo energético sostenible, siguiendo la definición expuesta en la Cumbre de Rio del año 2012, es aquel que contribuye a la erradicación de la pobreza y al crecimiento económico sostenible, aumentando la inclusión social, mejorando el bienestar humano y creando oportunidades de empleo y trabajo decente para todos, manteniendo al mismo tiempo el funcionamiento saludable de los ecosistemas.

4 Véase por ejemplo el informe publicado recientemente por la CEPAL (2020) *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* Disponible en <<https://www.cepal.org/es/publicaciones/45677-la-emergencia-cambio-climatico-america-latina-caribe-seguimos-esperando-la>>



Efectivamente, las propuestas parten de un esquema analítico aislado, cerrado y estático, descartando elementos complejos a causa de la interacción entre sistemas sociales y ambientales. Por lo cual, se considera que las políticas empleadas para alcanzar los objetivos normativos devienen de un sustento teórico insuficiente para los sistemas que pretenden abordar, haciendo las metas poco factibles y basar su eficacia en resultados econométricos sin soporte teórico⁵. La naturaleza del análisis conduce a buscar alternativas metodológicas para presentar de manera distinta y menos distante a la realidad los fenómenos planteados, reconociendo los límites de todo modelo.

El trabajo se desarrolla en los siguientes apartados. En la primera sección se describe brevemente la relación entre el pensamiento económico, medio ambiente y patrones energéticos. Después se abordan las implicaciones de la teoría neoclásica sobre la agenda medio ambiental y repercusiones de excluir leyes elementales como la entropía en los procesos económicos. Posteriormente se presenta nuestra propuesta de integración y finaliza un apartado de reflexiones.

MEDIO AMBIENTE Y ECONOMÍA

Las primeras consideraciones sobre la economía y naturaleza fueron proveídas por los economistas fisiócratas en el siglo XVIII (Naredo, 2004). Consolidaron un pensamiento basado – en la fe y el orden natural – tratando a la economía como un sistema, y lo más importante, sujeto a leyes naturales. Su principal representante fue François Quesnay. Este pensador desarrollaría una serie de conceptos que luego serían de fundamental importancia para la disciplina de la Economía Política.

El primero de ellos es el concepto de Producto Neto. Este resulta de restar a la producción total el consumo de insumos en el proceso, consti-

tuyendo una primera aproximación a la idea de excedente en términos físicos. Al considerar que la agricultura era el único sector generador del excedente, llevó a la confusión entre la aportación de la naturaleza física y humana, argumentando que la tierra era el único factor productivo.

Asimismo, los fisiócratas fueron los primeros en dividir a la sociedad en clases, siguiendo un criterio estrictamente económico. Analizaban cómo se producía y cómo circulaba el Producto Neto entre las tres clases sociales que se esquetizan en la *Tableau economique*: la clase productiva (aquellas vinculadas a la agricultura), la clase propietaria (Estado, iglesia, terratenientes) y la denominada “clase estéril” (las ligadas a actividades manufactureras). De aquí concluyeron que solo la clase productiva generaba valor, mientras las restantes clases sólo transformaban valores existentes, creados por la primera.

Como parte del avance teórico en la disciplina, la teoría del valor-trabajo formulada por Adam Smith (1776) fue el instrumento analítico que permitió reconfigurar el pensamiento económico. En efecto, la riqueza generada por las naciones ya no dependía de las condiciones climáticas favorables para la agricultura, como planteó la escuela fisiócrata, sino del excedente generado en la esfera industrial. A partir de esta consideración, el estudio de la economía dejó de lado la importancia de los recursos ambientales como espacio vital de la actividad económica.

Serían los economistas neoclásicos quienes a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, terminaron con la noción riqueza física de la producción, transitando a un esquema donde las relaciones entre lo económico y ambiental se modificaron. Economistas como Walras (1874) se refería a los fisiócratas como malas hierbas y alimañas al ir en contra de la utilidad directa. La economía consideró como el centro del estudio a los objetos directamente útiles para los seres

5 Por ejemplo, las relaciones causales entre fenómenos económicos y ambientales sustentadas principalmente en el modelaje econométrico. Véase Akadiri, 2019; Ike *et al*, 2020; Badeeb, *et al*. 2020.



humanos, además estilizaron un elemento particular del comportamiento, al esbozar que los individuos toman decisiones económicas bajo el principio de racionalidad.

Esta idea se reforzó con la demostración de la existencia del equilibrio general competitivo desarrollada por Arrow y Debreu (1954) al considerar a la economía como un núcleo, es decir, sólo fenómenos relacionados a la producción y consumo son relevantes: el medio ambiente y la pobreza son fenómenos ajenos. Tal consideración demuestra que tanto el sistema ambiental, social y económico están aislados, se determinan independientemente y no existe interacción entre ellos.

La realidad demuestra todo lo contrario. La problemática ambiental exige una tendencia multidimensional de análisis. La interrelación entre los ecosistemas y la economía expresa una serie de complejos procesos dinámicos donde se intercambian energía y materia. Toda actividad humana que modifique algún componente del ecosistema repercutirá en las actividades de los elementos involucrados.

Bajo esta concepción, la economía como disciplina comenzó a desarrollar análisis teóricos para integrar al medio ambiente (aunque bastante limitados al considerar, en su mayoría, un análisis estático bajo el criterio de optimización en términos de Pareto) como sistema interrelacionado con el ámbito económico a través de la medición monetaria de externalidades y su afectación a la utilidad del individuo, reduciendo el análisis a criterios convencionales de costo-beneficio. En este punto regresaremos más adelante.


Capitalismo y cambios en los paradigmas energéticos

La historia del hombre es la historia de la búsqueda permanente de fuentes de energía (Gianuzzo, 2010). Cada estadio de la humanidad trajo consigo un proceso singular frente al medio ambiente. Su transformación y asimilación cam-

bió radicalmente las cantidades de energía disponible en las sociedades. Cunningham (2012) identifica 5 estadios transitados por la humanidad: i) preagrícola, ii) agrícola, iii) preindustrial, iv) industrial, y v) industrial avanzado. Cada periodo se caracteriza por ciertas fuentes de energía y niveles de consumo. Transitar del estadio agrícola al industrial no hubiese sido posible sin la utilización intensiva de las energías fósiles (Sieferle, 2004).

El nacimiento del sistema capitalista de producción condujo hacia un cambio sustancial en la manera en que las sociedades modificaron los flujos de energía. El remplazo de sistema de energía agro-solar por el sistema fósil-energético del carbón mineral, a lo largo del siglo XVIII y XIX, produjo una nueva experiencia con enormes potenciales de crecimiento en las cantidades de energía disponibles al interior del núcleo social (Burke, 2009). En palabras de Joachim Radkau (2002), <<empezó un modelo económico muy diferente a toda la historia conocida, quemó hasta la atmósfera terrestre acabando con aquellos portadores de energía fósil que habían crecido en millones de años, sin comprender las consecuencias ni mucho menos controlarlas>>, mientras Perkin (1969) comenta “una revolución en el acceso de los hombres a los medios de vida, en el control de su entorno ecológico, en su capacidad de escapar de la tiranía y de la mezquindad de la naturaleza; abrió el camino a los hombres para completar el dominio de su entorno ambiental, sin la ineludible necesidad de explotarse unos a otros”.

La industrialización condujo una sucesión de cambios tecnológicos que acrecentaron el consumo de energía. La ruptura con el pasado detonó un proceso acumulativo de repercusiones en la vida económica y explotación energética caracterizada por el uso de leña, carbón, hierro, vapor y maquinaria. Palacios (2004) identifican distintas etapas en la industrialización. En la primera Revolución Industrial (1770 a 1850) el desarrollo tecnológico giró en torno a inventos garantes de mayor productividad.



La primera etapa encontró en la hidroelectricidad (con base en leña, insumo principal de la naciente industria) el impulsó a las industrias textiles y del cuero y los talleres de construcción de máquinas, aunque la dificultad para la extracción de los insumos condujo a otro tipo de innovaciones que posteriormente, a finales del siglo XIX (1870 a 1930), dieron paso de la energía hidráulica y la máquina de vapor (el carbón desplaza a la leña) constituyendo la Segunda Revolución Industrial. Este tránsito dio solución a un problema energético para el capitalismo al posibilitar el incremento exponencial de la producción.

En efecto, según Abbott (2009) el boom ferroviario de 1830-1840 significó el despegue económico y del comercio exterior a causa de incremento en la producción agrícola. Por otro lado, Rostow (1982) identifica al sector industrial de finales del siglo XIX el motor dinámico hacia el tránsito a la modernidad de la sociedad inglesa. En este contexto, los recursos ambientales jugaron un papel crucial. Para Mokyr (1987) el sistema ambiental no sólo suministraba combustible y materias primas baratas, sino que afectó a otras actividades que no dependían directamente de la explotación.

La segunda etapa de industrialización se instaura a finales de la primera guerra mundial con un patrón fósil-energético distinto difundiendo en los centros de industrialización basado en el petróleo y el gas. El carbón fue dominante a finales del siglo XIX por alrededor de 80 años antes de ser alcanzado por los derivados del petróleo (Guadagni, 1984). Las tasas de crecimiento en el país cuna de la industrialización reflejaron los cambios en el paradigma energético. El periodo de 1801-1851, el PIB per cápita promedio anual creció al 1.3 % mientras que de 1870 a 1913 el crecimiento fue de 2.2 % promedio anual, por lo cual Gran Bretaña dejaba de ser la nación en su mayor parte rural de Jane Austen y se convertía en la nación urbano-industrial de Charles Dickens (Krugman, 1999). Hacia 1960 el petróleo se ubicó como la principal fuente de energía.

El tránsito energético de las sociedades desde sus inicios ha tenido efectos graves sobre los elementos del medio ambiente. Actividades como la minería, agricultura, industria, así como el desarrollo de tecnologías con fuentes de energía hidroeléctrica y nuclear han modificado los flujos al interior de los ecosistemas y las relaciones en el núcleo social. La conformación de las sociedades exige un equilibrio entre las políticas de promoción de industrialización y protección de la población. En esta preocupación se insertan las estructuras institucionales a nivel nacional e internacional con los planes de transición energética.

ECONOMÍA NOECLÁSICA Y MEDIO AMBIENTE

El escenario analítico tradicional en la profesión impera una visión mecanicista del medio ambiente a partir de la elección del agente representativo. Considera un circuito circular en la producción de mercancías, es decir, se producen a partir de capital y trabajo, suponiendo de manera implícita flujos constantes de energía, donde la producción requiere energía y no materia. El dogma energético (Georgescu-Roegen, 1982) hace pensar que las restricciones físicas de los recursos pueden eliminarse a través del reciclaje, sin considerar la pérdida en calidad y cantidad de la energía y materia. Además, sólo se piensa el problema ambiental en términos de mercado, pero no de la sociedad ni el medio ambiente.

Siguiendo a Georgescu-Roegen (1971) los orígenes de la economía neoclásica se remontan a las ideas de equilibrio fundamentadas en la génesis de la mecánica clásica sujeta a leyes elementales, principalmente a la termodinámica. Considerar los recursos ambientales como una mercancía sujeta al principio de escasez presupone el dominio de las leyes económicas sobre las ambientales, erigiéndose como la ciencia omnipresente en todas las esferas de interacción del ser humano.

Cuando se introduce el medio ambiente en el análisis económico, la expresión más utilizada en el consenso es la función agregada de producción cuyos determinantes son capital y tra-



bajo, adhiriendo variables medioambientales en términos de extensión de tierra, costos ambientales, emisiones de carbono, intensidad energética, valorización de recursos ambientales y participación de países en acuerdos internacionales en materia internacional.⁶ Sin embargo, en esta metodología existe una confusión generalizada entre causalidad y correlación. En efecto, como plantea Anwar Shaikh (2008) los modelos econométricos plantean una identidad definida en el orden de causación, de tal manera que la mayoría de las regresiones muestran un valor alto de correlación entre las variables dependientes e independientes. Por lo cual, la relación entre ambiente y economía se sustenta principalmente en relaciones de carácter estadístico si se parte de un esquema neoclásico.

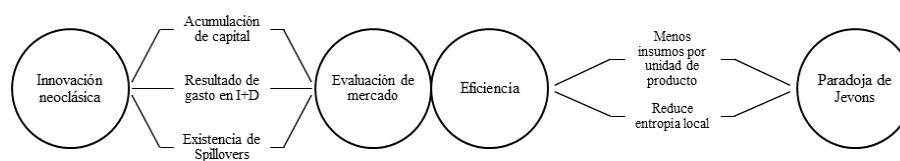
Las principales dificultades que inciden sobre la construcción de política económica-ambiental, desde una visión económica tradicional, consideramos son las siguientes: i) ausencia de un marco analítico que integre la dinámica de los distintos sectores y sus agentes, tratando a cada sistema como aislado y determinado por leyes particulares; ii) evaluación de las políticas ambientales únicamente en términos de costo-beneficio siendo el mercado el único evaluador;

iii) consolidación de un marco energético que no considera las diferencias entre individuos y formas de utilización de la energía, por lo cual, la política ambiental tiene efectos diferenciadores; iv) la innovación sólo es vista desde la perspectiva técnica sin que necesariamente logre reducir emisiones, tan sólo se considera la eficiencia técnica, es decir, en términos físicos sin considerar sus múltiples efectos; v) la política ambiental sigue considerando a la innovación y progreso tecnológico como el instrumento que permita preservar el patrón actual de consumo energético, considerando implícitamente que los recursos serían ilimitados tan sólo incrementando la intensidad de innovación en los procesos productivos.

La tecnología en lugar de mejorar aspectos cualitativos únicamente está retrasando la crisis energética, conduciendo a la paradoja de Jevons⁷ y alejándose de ser toda práctica sustentable en el largo plazo.

La figura 1 muestra la visión tradicional de las innovaciones y sus implicaciones el medio ambiente. La innovación se origina principalmente por gastos en innovación y desarrollo, acumulación de capital y derramas tecnológicas de otros

Figura 1. Innovación desde una perspectiva neoclásica con aplicación al medio ambiente



Fuente: Elaboración propia

6 Véase por ejemplo: Bishop *et al* 1983; Suárez y Guerra, 2000; Freeman, 2003; Rutz, 2001; Viscusi *et al*, 2008; Youssef y Lahmandi-Ayed, 2008; Barrett y Carter, 2013; Weikard, Wangler y Freytag, 2015; Barbier y Hochard, 2019; Bouché y de Miguel, 2019.

7 Se refiere al efecto que produce una innovación tecnológica que incremente el número de bienes producidos. Como los agentes están convencidos que cada unidad de bienes utiliza una cantidad menor de insumos ambientales, consumen un mayor número de bienes a costa de un mayor nivel de utilización general de recursos ambientales.

procesos productivos (Aghion, 1999; Aghion y Howitt, 2005). Su evaluación estriba en términos de mercado, por lo cual, debe cumplir con dos requisitos: reducir la intensidad energética (menos unidades de insumos energéticos por unidad de producción) y disminuir la entropía local (uso eficiente de insumos, reduciendo la cantidad de emisiones) (CEPAL, 2018). Este último aspecto requiere detallarse.

Entropía y economía

La entropía es un elemento ausente en el marco neoclásico. El universo está constituido por dos tipos de entropía: i) Baja entropía, se refiere a los recursos ambientales de fácil acceso para los individuos. Las actividades humanas han provocado que la baja entropía disminuya haciendo más difícil su búsqueda⁸. Dada la retroalimentación del sistema, la disminución de baja entropía genera efectos negativos al resto de sistemas; ii) Alta entropía es el resultado del uso excesivo de materia ambiental del sistema. Esta se refiere a la

cantidad de energía dispersa en el ambiente sin una forma específica⁹.

El esquema analítico cerrado donde se realizan los intercambios entre agentes considera que los flujos energéticos¹⁰ son constantes en todos momentos (primera ley de la conservación), implica que un incremento de la producción sólo requiere un incremento en la energía. Sin embargo, nunca se cuestiona la disponibilidad. En cambio, si se introduce la segunda ley de la termodinámica, la entropía, cada proceso productivo estaría sujeto a la energía disponible del proceso anterior, además de contar con energía de menor calidad.

Entonces, cualquier innovación, en términos neoclásicos, reduce la entropía local (minimiza el uso de energía en el sistema económico) pero incrementa la entropía global (disminuye la cantidad de baja entropía disponibles para el resto de sistemas). Al ser un sistema determinista, pareciera que la innovación es favorable con

8 Un ejemplo de baja entropía es el petróleo de baja profundidad. El uso excesivo de este recurso ha provocado que su búsqueda requiera mayor esfuerzo social y elementos tecnológicos más sofisticados. Por un lado, disminuye la baja entropía, es decir la energía en forma práctica para el uso de los individuos, pero incrementa la entropía del sistema, en otras palabras, incrementa el nivel de caos. Para el lector surge la pregunta ¿cómo aumenta la entropía del sistema si disminuye la baja entropía? La respuesta es que la pérdida se transforma en alta entropía. La energía pasa de un estado a otro, perdiendo sus cualidades físicas originales propicias para el uso inmediato de los seres humanos y se pierde en el ambiente después de ser utilizado. Sigue presente en el sistema, pero perdió sus atributos y cantidad, por ejemplo, convirtiéndose en residuos, bienes manufacturados y contaminación. Esta nueva “apariencia” de los recursos se conoce como alta entropía concepto que se explica en la nota siguiente.

9 Al agotarse las fuentes primarias de energía con ciertas características que facilitan su consumo por parte de los agentes, la materia pierde sus atributos, pero no desaparece del sistema. El nivel de caos incrementa porque las fuentes tradicionales de recursos ambientales, expresados en sus atributos físicos, desaparecen a grandes velocidades y la cantidad de energía que libera su transformación ronda los circuitos del sistema, principalmente en forma de bienes manufacturados y contaminación. Frente a esta situación, los agentes tienen dos posibilidades: incrementar los esfuerzos para encontrar baja entropía (explotar recursos a su alcance), cumplir las exigencias productivas a costa de incrementar el caos del sistema y poner en riesgo su viabilidad ó diseñar un mecanismo que reconfigure la percepción de los individuos frente a la crisis ecológica que existe, disminuir su consumo de baja entropía y reducir los niveles de alta entropía a través de la captación y reutilización y reintegrarla al circuito productivo.

10 En la física clásica, un sistema cerrado, principio ontológico de la economía neoclásica (Georgescu-Roegen, 1986) sólo intercambia energía con su exterior, pero no materia; esto implica procesos económicos exclusivamente energéticos, por lo cual, su limitante al hablar en términos de materia en los procesos de reciclaje.



el medio ambiente, pero solo es así en la esfera económica en repercusión del sistema social y ambiental. El actual patrón energético impulsa el consumo y generación de bienes, pero redundando en afectaciones por no considerar los balances energéticos, cayendo en la Paradoja de Jevons descrita en la figura anterior, persistiendo el daño acelerado al ambiente. Insistimos que estos elementos están alejados de las pautas de crecimiento sustentable con la que asocian tradicionalmente la innovación.

ECONOMÍA EVOLUTIVA Y SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS COMO ENFOQUES ALTERNATIVOS

La visión de la sociedad y la naturaleza dentro del enfoque de Economía Evolutiva¹¹ (EEv) considera agentes económicos heterogéneos sujetos a reglas cognitivas, sociales, históricas y culturales, basado en los siguientes postulados: i) bimodalidad, ii) asociación, iii) procesos.

La sociedad se desenvuelve bajo el hecho que la economía está compuesta de ideas desarrolladas en una estructura artefactual definida¹². Cada idea tiene actualizaciones. En nuestro esquema, la actualización de las ideas contempla permite a los agentes contemplar el problema ambiental (axioma i), asociación de nuevas ideas (axioma ii) y proceso de éstas en construcción de nuevas estructuras (axioma iii).

La ontología evolutiva reconoce a la economía como un sistema abierto, compuesta de personas, recursos, materia, energía conocimientos e interacciones, que combinadas crean una estructura emergente¹³. En esta visión holista, los axiomas en conjunto permiten continuidad de algunas entidades, aparición de nuevas entidades y desaparición de otras. Cada proceso causará aparición de nuevas poblaciones que interactúan de manera distinta, en este caso de nuevas tecnologías¹⁴ sociales y físicas. Este algoritmo seleccionador (Beinhocker, 2006) descarta las acciones colectivas contaminantes; selecciona y replica aquellas que los individuos consideren benéficas en la evaluación global.

Cada individuo está sujeto a reglas. Esta se refiere a ideas que se organizan acciones o recursos dentro de un conjunto de operaciones. Toda acción económica son resultado de reglas, clasificándose en subjetivas y objetivas.

Estas reglas describen el comportamiento de los individuos dentro de un contexto específico determinado por la cultura, historia y condiciones tecnológicas. Las reglas subjetivas se refieren al pensamiento y comportamiento individual, mientras que las reglas objetivas hacen referencia a la organización material y estructura a nivel macro. La dinámica social se rige bajo los princi-

11 Economía evolutiva o evolucionista se entiende como una interpretación de los fenómenos económicos basada en la interacción de múltiples agentes heterogéneos, quienes mediante la repetición de un sistema de prueba y error intentan continuamente explorar nuevas estrategias de comportamiento, formas organizativas, tecnologías, que transforman el proceder en las relaciones de intercambio (Dosi *et al*, 2009).

12 Es el conjunto de creencias, instituciones como reglas e incentivos a la vez, herramientas, instrumentos, tecnologías, todos estos legados por la cultura nacional (Jeannot, 2020).

13 Este término descrito a lo largo del texto es un atributo de los SCA. Refiere al surgimiento de un elemento que no estaba presente en ninguna de las especificaciones del sistema.

14 Por tecnología se entiende las teorías y técnicas que permite el aprovechamiento del conocimiento social. Esta definición no debe confundirse con la tradicional de tecnología neoclásica. Aquella refiere, como se mencionó, a elementos asociados a la producción, mientras que nosotros proponemos una visión amplia que incorpora el conocimiento formal e informal, proveniente de aspectos técnicos y del conocimiento proveniente de las distintas estructuras sociales.

Cuadro 1. Reglas genéricas

Subjetivas		Objetivas	
Cognitiva	Comportamiento	Social	Técnica

Fuente: Dopfer y Potts (2008)

pios adaptación, aprendizaje y auto-organización frente a la crisis ambiental, con referencias a las estructuras internas y externas del individuo.

De manera simultánea, se presenta el enfoque de Sistemas Complejos Adaptativos (SCA)¹⁵. Considerar los procesos como SCA permite lo siguiente: 1) integración de los procesos ambientales y socioculturales, 2) dinámica del sistema lejos del equilibrio, no lineal y dinámico 3) propiedades emergentes, 4) auto-organización de los individuos frente a cambios estructurales o en sus reglas, 5) flujo de retroalimentación entre procesos económicos, sociales y ambientales, 6) efectos de escala diferenciada entre los agentes (eliminando el individualismo metodológico), 7) consideración del tiempo histórico (las pautas válidas ahora no lo serán para el futuro), 8) imposibilidad de extrapolar información de un sistema a otro (descartando el principio de Pareto como rector), 9) las relaciones cambian en el tiempo, 10) los individuos interactúan en incertidumbre, información incompleta y acciones adaptativas.

PROPUESTA DE INTEGRACIÓN

Con base en los enfoques descritos, la propuesta considera tres sistemas abiertos e interrelacionados, valorando las acciones bajo ciertos criterios. El delimitar la evaluación en términos de eficiencia energética en la esfera económica se debe al potencial de este indicador al suscitar problemas integrales, dinámicos y sistémicos

en análisis de sistemas complejos (Wei y Liao, 2016). Se define como el uso de insumos ambientales compatible con cualquier nivel de dotación de factores que reduce el daño ambiental a través de procesos tecnológicos-sociales y nuevas combinaciones que reducen el nivel de entropía global. Además, al reducir el gasto de los hogares en términos monetarios beneficiará a los hogares al extender la provisión de energía, reduciendo la pobreza energética.

El uso energético será acorde a los patrones de uso culturales de cada sociedad, de tal manera que esté disponible en cualquier momento sin interferir en su estructura social. El consumo eficiente de insumos energéticos garantiza ser sostenible en el tiempo, sin comprometer a las generaciones futuras y permitiendo reestablecer (precisar, no se dice resarcir) la tasa de regeneración del ambiente.

La conceptualización de pobreza energética permite integrar los aspectos culturales, sociales y económicos sobre el acceso de los hogares a energías limpias y necesaria para reproducir las necesidades biológicas del ser humano. Bouzarovski, (2018) se refieren a la incapacidad de los miembros del hogar a contar con niveles sociales y materiales de servicios de energía en el hogar. Además, advierten que la pobreza energética es inherentemente un fenómeno espacial, incluyendo estructuras socio-étnicas de los ho-

15 De manera introductoria, el análisis de sistemas complejos refiere al análisis de fenómenos no lineales. Están formados por un conjunto grande de componentes individuales que interactúan entre sí y que pueden modificar sus estados internos como producto de tales interacciones.



gares. Por lo cual, consideramos este indicador adecuado para evaluar el desempeño energético en el sistema social.

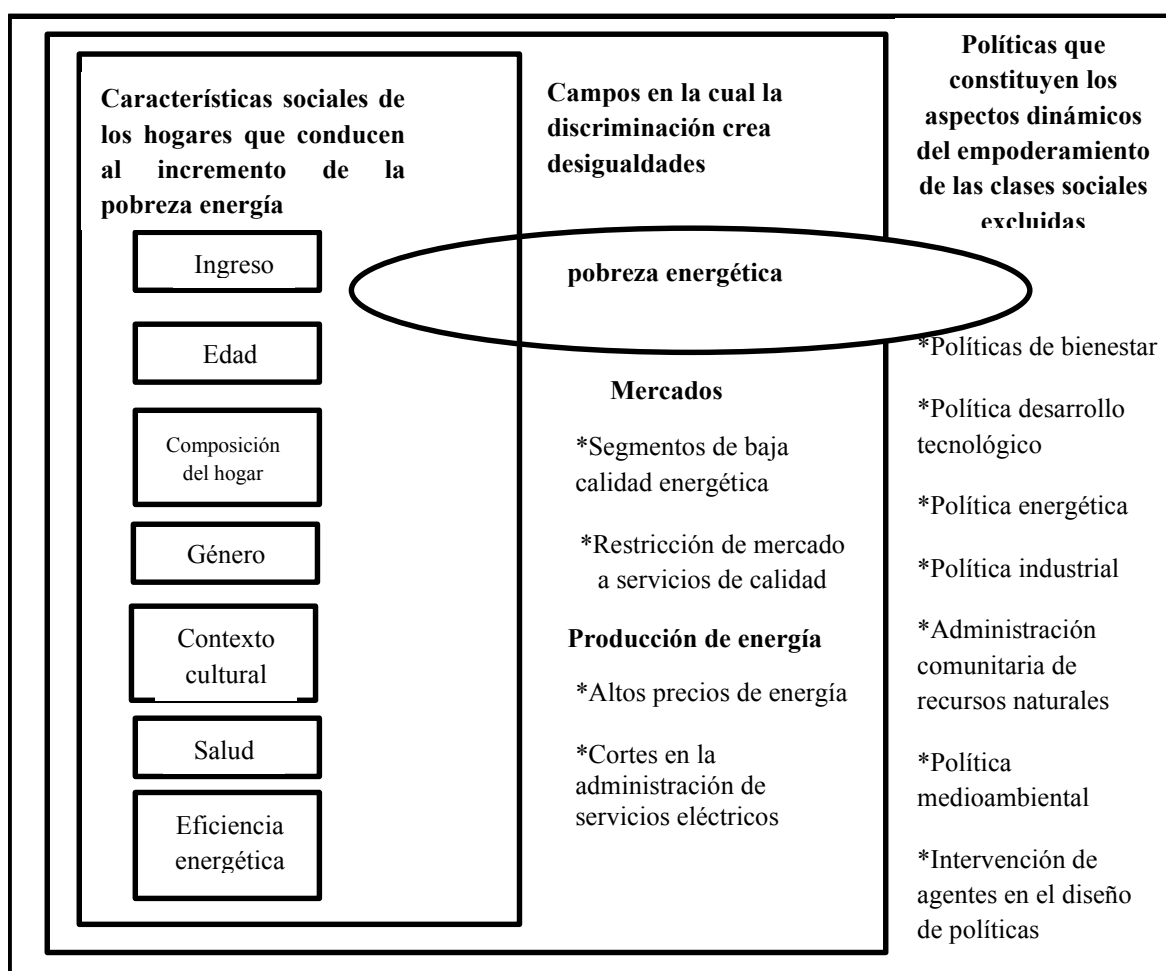
La figura 2 muestra los determinantes dinámicos que explican la pobreza energética. Esta manifestación es resultado de un esquema energético excluyente por motivos de ingresos, edad, estructura del hogar, género, contexto social, motivos de salud y por ausencia de procesos eficientes en términos de energía que provean servicios energéticos de calidad (Ochoa y Bracamonte Sierra, 2014; López-

Feldman, 2015). Otro aspecto relevante son las políticas con las cuales se revierte la exclusión de los grupos sociales de los beneficios energéticos.

Habiendo descrito los parámetros para evaluar el desempeño de las acciones adaptativas, la figura 2 representa las implicaciones de la innovación evolutiva, planteada como la mejor decisión de los agentes ante la problemática ambiental.

La función objetivo de los agentes y el sistema es la sobrevivencia frente a la crisis ambiental. La

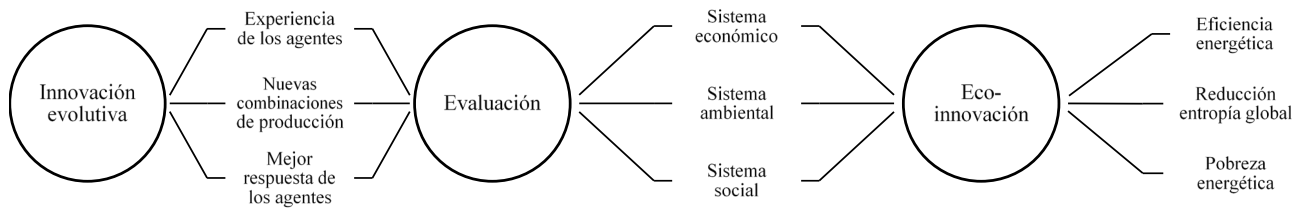
Figura 2. Conceptualización de la pobreza energética como fenómeno dinámico



Fuente: Adaptación propia con base en Crenshaw (1991)



Figura 3. Innovación desde una perspectiva evolutiva con aplicación al medio ambiente



Fuente: Elaboración propia

capacidad adaptativa produce habilidades para resistir perturbaciones ante el cambio climático, desarrollando resiliencia. El conjunto de reglas de los individuos y su interacción hace que modifiquen su comportamiento.

El resultado emergente es la innovación adaptativa pero no en términos tradicionales sino desde una perspectiva evolucionista¹⁶ con base en su experiencia y capacidad de modificar sus reglas. Esta innovación tendrá evaluación en los tres sistemas: en el sistema económico, social y ambiental en términos de eficiencia energética, pobreza energética y entropía respectivamente.

Este último elemento es la forma de integrar al medio ambiente en las decisiones económicas. No existen procesos productivos fuera de esta ley, siendo elemento clave en la dinámica. Los agentes aceptarán la innovación si tiene repercusiones sobre la condición de eficiencia y pobreza energética. Si la innovación es avalada por los agentes de manera favorable, entonces la respuesta adaptativa será considerada como eco-innovación. Este último concepto se refiere sino aquella innovación que logre ser eficiente en términos entrópicos, reduciendo la exclu-

sión del patrón energético existente, se adapte y configure una nueva cultura energética.

La existencia de pobreza energética es resultado de un sistema energético excluyente donde cierto segmento de población no logra acceder a servicios energéticos para hacer frente a sus necesidades alimenticias y de salud. La incorporación de una innovación adaptativa que incremente la eficiencia y reduzca la entropía garantiza energía de mejor calidad y mayor acceso. También implica reivindicación social al integrar a excluidos. La innovación tendría que adaptarse a los patrones de cultura energética de cada sociedad y los agentes, dentro de un conjunto de reglas; es decir, adaptarse a la nueva situación.

Por tanto, el mecanismo puede resumirse de la siguiente forma:

- 1) La evaluación económica en el sector energético motiva combatir los deterioros ambientales penalizando los altos índices de contaminación, además busca reducir la entropía.
- 2) Los individuos no buscan maximizar su utilidad (beneficios) de los bienes escasos sino apro-

16 A diferencia de la visión tradicional, esta innovación es resultado de un marco cultural, científico e histórico particular. Dado que la emergencia de la humanidad es la crisis ambiental, las estructuras individuales y agregadas viran hacia ese objetivo. Además, se trata de revolucionar sus tecnologías físicas y sociales, más allá de cuestiones técnicas de la producción.



vechar de manera eficiente los que tienen (respetan sus dotaciones iniciales, aunque no sean asignaciones óptimas), por lo cual la innovación adaptativa juega un papel clave para alcanzar ese objetivo.

3) Los criterios de bienestar social no se determinan en principios de optimización de Pareto, sino en términos de eficiencia. Al interactuar sistemas complejos, los agentes buscan obtener el mayor nivel de eficiencia posible de los recursos naturales y económicos disponibles (aunque no sean asignaciones de equilibrio).

4) Las tecnologías deben cumplir no sólo con las normas técnicas de producción que reduzcan el daño ambiental, sino además mejorar las condiciones sociales en términos de ingreso monetario y bienestar. Con la aplicación de eco-innovaciones, los sistemas bióticos tenderían hacia su tasa de regeneración natural dado que se cubrirían las demandas energéticas, pero con menores tasas de utilización de insumos ambientales y emisiones. La evaluación bajo los tres criterios permite afirmar que las innovaciones adaptativas son un factor endógeno frente a la viabilidad de los sistemas ante el problema ambiental.

CONCLUSIONES

El esquema planteado ofrece elementos para impulsar en la esfera económica el uso y creación de eco-innovaciones con base en innovación adaptativa. Aquellas innovaciones que no logren sus respectivas evaluaciones se eliminan por no ser eficientes. Quienes no logren el objetivo, saldrán del proceso de competencia evolutiva (Yoguel *et al*, 2017).

Este proceso permitiría la intervención de los actores en la implementación y desarrollo de políticas públicas al contar con el conocimiento de la dinámica del sistema y con la finalidad de construir instituciones flexibles para la mejor gestión de los recursos ambientales (Escalante-Semerena y Hernández, 2014) y un patrón energético incluyente. El análisis fragmentado dominante en las agendas institucionales podría considerar el uso de enfoques teóricos alternos para integrar en un solo marco las implicaciones de la problemática ambiental, acercándose a las afectaciones de la realidad.

La agenda pendiente es la evaluación empírica de esta propuesta, que forma parte de un estudio posterior de los autores.

BIBLIOGRAFÍA

- Abott, F. (2009). *Hombres de metal*. Universidad de Chile.
- Aghion, P. y Howitt, P. (2005). *Growth with quality-improving innovations: an integrated framework*. Handbook of economic growth. 1: 67-110.
- Akadiri, S. (2019). *Carbon emissions, energy consumption and economic growth: a causality evidence*. International Journal of Energy Technology and Policy. 15:320-336.
- Arrow, K. y Debreu, G. (1954). Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*.
- Arthur, W. (2006). *Out-of-equilibrium economics and agent-based modeling*. Handbook of computational economics. 2.
- Barbier, E. y Hochard, J. (2019). *Poverty-environment traps*. Environmental and Resource Economics. 74(3): 1239-1271.
- Beinhocker, E. D. (2006). *The origin of wealth: Evolution, complexity, and the radical remaking of economics*. Harvard Business Press.
- Bishop, R. Heberlein, T. Kealy, M. (1983). Contingent valuation of environmental assets: Comparison with a stimulated market. *Nat. Resources J.*, 23, 619.
- Bouché, S., & de Miguel, C. (2019). Endogenous aspirations, growth and the rise of environmental concerns. *Energy Economics*, 84(S1).
- Burke, P. (2009). *Popular culture in early modern Europe*. Ashgate Publishing.

- Bouzarovski, S. (2018). Energy poverty:(Dis) assembling Europe's infrastructural divide (p. 125). Springer Nature.
- Badeeb, Ramez A., Lean, H., Shahbaz, M. (2020). *Are too many natural resources to blame for the shape of the Environmental Kuznets Curve in resource-based economies?*. Resources Policy. 68:101-694.
- Barrett, C. B., & Carter, M. R. (2013). *The economics of poverty traps and persistent poverty: Empirical and policy implications*. The Journal of Development Studies: 49(7), 976-990.
- CEPAL (2018). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018*. CEPAL, Ciudad de México.
- CEPAL (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?*. CEPAL, Santiago de Chile.
- Crenshaw, E. (1993). Polity, Economy and Technoecology: Alternative Explanations for Income Inequality. *Social forces*. 71(3): 807-816.
- Cunningham, R. (2012). *Sustainability: a cultural history*. Devon, Reino Unido.
- Dopfer, K. (1991). Toward a theory of economic institutions: Synergy and path dependency. *Journal of Economic Issues*. 25 (2): 535-550.
- Dopfer, K. (Ed.) (2005). *The evolutionary foundations of economics*. Cambridge University Press.
- Dopfer, K. y Potts, J. (2007). *The general theory of economic evolution*. Routledge.
- Dosi, G., Fagiolo, G., Roventini, A. (2009). The microfoundations of business cycles: an evolutionary, multi-agent model. *Schumpeterian Perspectives on Innovation, Competition and Growth*. 161-180.
- Escalante-Semerena, R. (2015). Can scenario-planning support community-based natural resource management? Experiences from three countries in Latin America. *Ecology and Society*, 20(4).
- Escalante-Semerena, R. & Hernández, S. B. (2014). Resiliencia de un Sistema Socio-Ecológico.
- Foster, J. y Metcalfe, J. (2012). Economic emergence: An evolutionary economic perspective. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 82(2-3): 420-432.
- Foster, J. y Metcalfe, J. (Eds.) (2003). *Frontiers of evolutionary economics: competition, self-organization, and innovation policy*. Edward Elgar Publishing.
- Freeman, A. M. (2003). *Economic valuation: what and why*. Springer, Dordrecht.
- García-Colín Scherer, L. (1970). *Introducción a la termodinámica clásica*. Editorial Trillas.
- Georgescu-Roegen, N. G. (1971). *The entropy law and the economic process*. Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1972). *Economics and entropy*. The Ecologist, pp. 13-18.
- Georgescu-Roegen, N. (1975). *Energía y mitos económicos*. El trimestre económico, No.42.
- Georgescu-Roegen, N. (1979). *La décroissance: entropie, écologie, économie*. Éditions Sang de la Terre, Paris.
- Georgescu-Roegen, N. (1982). *Energetic dogma, energetic economics, and viable technologies*. Advances in the Economics of Energy and Resources:4:1-39.
- Giannuzzo, A. (2010). *Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental*. Scientiae Studia. 8.
- Guadagni, A. (1984). *La Puja por la apropiación de la renta petrolera: el rol de la OPEP*. Instituto Torcuato Di Tella, Centro de Investigaciones Económicas.
- Howitt, P. (1999). *Steady endogenous growth with population and R. & D. inputs growing*. Journal of Political Economy, 107(4), 715-730.
- Ike, G., Usman, O. y Sarkodie, S. (2020). *Fiscal policy and CO2 emissions from heterogeneous fuel sources in Thailand: Evidence from multiple structural breaks cointegration test*. Science of the Total Environment: 702: 13-47.
- Jennot, F. (2020). *Material de estudio avanzado*. Inédito, sin publicar
- Krugman (1999). *De vuelta a la economía de la Gran Depresión*. Editorial Norma.
- López-Feldman, A. (2015). *Más allá del ingreso: pobreza y bienestar subjetivo en cuatro comunidades rurales de México*. Agricultura, sociedad y desarrollo. 12(4): 483-498.
- Mokyr, J. (1987). *Has the Industrial Revolution been crowded out? Some reflections on Crafts and Williamson*. Explorations in Economic History. 24.



- Naredo, J. (2004). *Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible*. Cuadernos de investigación urbanística. 41.
- Ochoa, G., y Bracamonte Sierra García, R. (2014). *Pobreza energética en América Latina*. Serie Documentos de proyecto Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL: 576: 289-337.
- Palacios, J. (2004). *Desarrollo tecnológico en la primera revolución industrial*. Norba. Revista de Historia. 17:93-109.
- Perkin, H. (1969). *The Origins of Modern Society, 1780-1880*. University of Toronto Press.
- Radkau, J. (2002). *Nature and power: a global history of the environment*. Cambridge University Press.
- Rostow, W. (1982). *Europe after Stalin*. University of Texas.
- Viscusi, W., Huber, J., y Bell, J. (2008). *The economic value of water quality*. Environmental and Resource Economics, 41(2): 169-187.
- Shaikh, A. (2008). *Measuring the wealth of nations: The political economy of national accounts*. Cambridge: Cambridge University Press
- Sieferle, R. (2004). Sostenibilidad: ¿una utopía? *GAIA*. 13:1-10
- Smith, A. (1776). *Investigación de la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Suárez, M. y Guerra, S. (2000). *La teoría económica neoclásica y los instrumentos de política ambiental*. *Interciencia*. 25:102-110.
- Walras, L. (1874). *Éléments d'Economie Politique Pure*. Homewood.
- Weikard, H. P., Wangler, L., & Freytag, A. (2015). *Minimum participation rules with heterogeneous countries*. Environmental and Resource Economics, 62(4), 711-727.
- Robert, V., Yoguel, G., y Lerena, O. (2017). *The ontology of complexity and the neo-Schumpeterian evolutionary theory of economic change*. *Journal of Evolutionary Economics*. 27(4): 761-793.
- Rodríguez, M., Haščič, I., Johnstone, N., Silva, J. y Ferey, A. (2015). *Renewable energy policies and private sector investment: Evidence from financial microdata*. Environmental and Resource Economics. 62(1), 163-188.
- Youssef, A. B., & Lahmandi-Ayed, R. (2008). *Eco-labelling, competition and environment: Endogenization of labelling criteria*. Environmental and Resource Economics: 41(2), 133-154.

