

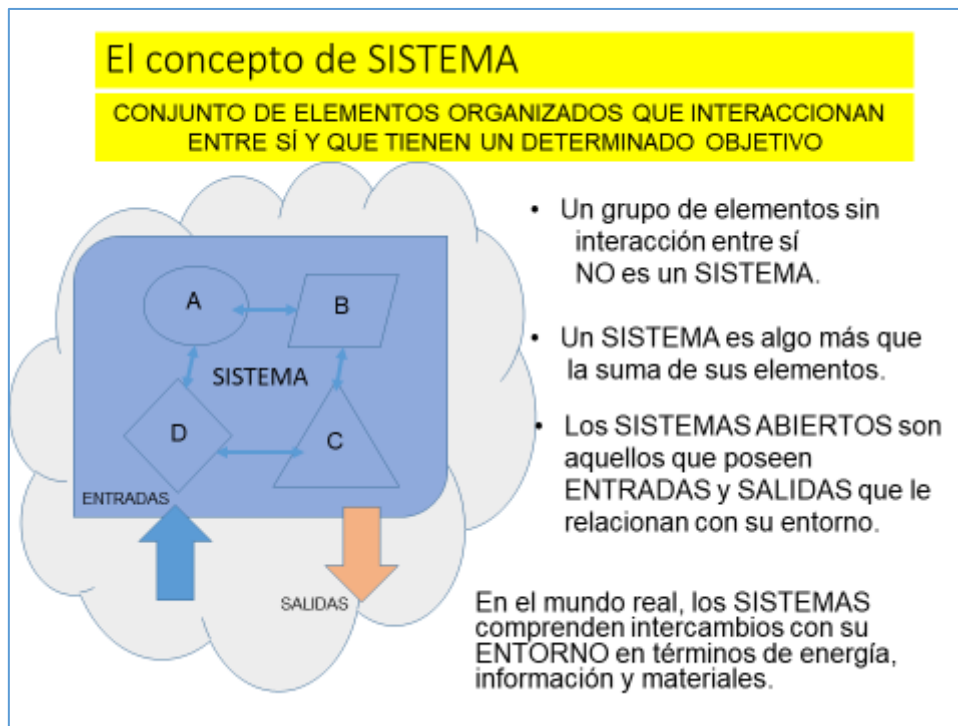
CAPÍTULO 1. ECONOMÍA, ECOLOGÍA Y SOCIEDAD

1.1 Sistema económico, medio natural y contexto social

Un **sistema** es un conjunto de elementos organizados que interaccionan entre sí, que funcionan como un todo, y que tienen un determinado objetivo. Un sistema es algo más que la suma de sus elementos; asimismo, un grupo de elementos sin interacción entre sí no constituyen un sistema. El concepto de **sistema** y *enfoque sistémico*, fueron propuestos por la *Teoría General de Sistemas* para referirse a las reglas de carácter general en la explicación del funcionamiento de las realidades complejas. Su desarrollo comenzó a mediados del siglo XX, a partir de los trabajos del biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy (1901-1972).

Los elementos de un **sistema** son sus *componentes* (actores, instituciones, organizaciones, etc.); las *relaciones* entre estos componentes; la *estructura*; el *objetivo*; el *entorno*; y los *límites*. La **estructura** es la disposición y el orden de las partes dentro de un todo, en este caso, se refiere a la disposición, las relaciones y organización de los diferentes componentes del *sistema*. Los **sistemas abiertos** son aquellos que poseen entradas y salidas que le relacionan con su entorno. En el mundo real, los sistemas comprenden intercambios con su entorno en términos de energía, materiales e información (**Gráfico 1.1**).

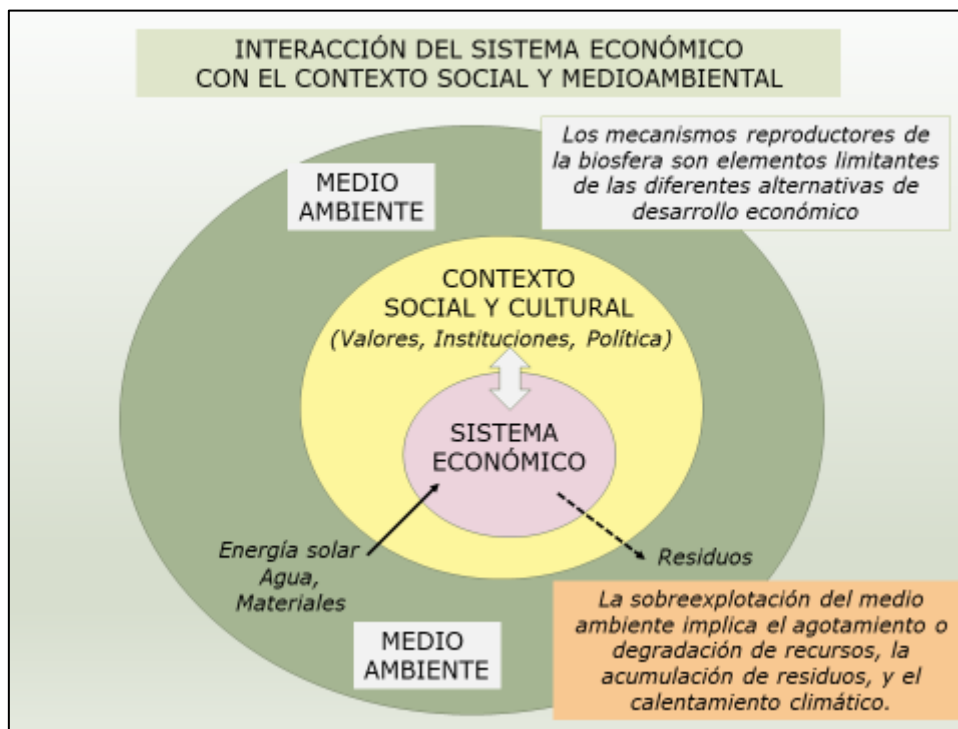
Gráfico 1.1



Los diferentes elementos y relaciones que integran la vida económica de una sociedad forman su **sistema económico**, el cual posee una organización o estructura interna y un funcionamiento determinado, que depende de la forma de intervención de los actores o grupos sociales que lo integran, de la cultura, instituciones y relaciones de poder predominantes en dicha sociedad, y de la influencia que puedan ejercer instancias externas. Así pues, el **sistema económico** está constituido por las estructuras de la producción, la distribución y el consumo de bienes y servicios, y su interrelación con el medio natural y el contexto social, institucional y político de una sociedad.

De este modo, el *sistema económico* se encuentra influenciado por el **contexto social**, institucional, cultural y organizativo que regula las diferentes sociedades, el cual es construido de forma colectiva por los principales actores y agentes sociales y económicos. Asimismo, el sistema económico se encuentra *abierto* al **medio natural**, ya que precisa de recursos naturales como energía, agua, materiales y otros recursos y servicios básicos que proporciona la naturaleza y, del mismo modo, utiliza el medio natural como sumidero de los residuos y desechos de sus actividades productivas y de consumo, lo cual implica la degradación paulatina de las condiciones de la biosfera (**Gráfico 1.2**).

Gráfico 1.2



En otras palabras, las actividades económicas son parte de las actividades sociales y ambas tienen lugar dentro de la *biosfera*, donde los seres humanos encuentran los recursos naturales y los *bienes y servicios básicos de los ecosistemas*¹ sin los cuales la vida no sería posible en el planeta. Igualmente, la naturaleza hace de sumidero de los residuos y contaminación que dichas actividades humanas generan, un aspecto al que no siempre se presta la debida atención, a pesar de que la *capacidad de carga* de los ecosistemas es limitada.

En suma, las actividades económicas son parte de las actividades humanas y se encuentran influenciadas por el contexto socio-cultural e institucional respectivo, ya que los seres humanos viven en sociedad y en ámbitos territoriales y culturales concretos, y no en un espacio abstracto. A su vez, el contexto socio-cultural, con el conjunto de valores, tradiciones e instituciones, influye en –y se ve influenciado por– los procesos de crecimiento económico y cambio tecnológico. De este modo, los acuerdos básicos reguladores del contexto político, socio-institucional, cultural y territorial, son elementos clave del *desarrollo sostenible*, en sus diferentes dimensiones: económica, socio-institucional y ambiental.

¹ El concepto de *bienes y servicios de los ecosistemas* se refiere a las funciones fundamentales que llevan a cabo los sistemas ecológicos (ecosistemas), entre ellas, el mantenimiento de la calidad de la atmósfera, la eliminación de residuos, el reciclado de nutrientes básicos, el control de plagas y enfermedades, la generación de suelos, el funcionamiento del ciclo hidrológico, el abastecimiento de comida procedente del mar, entre otros servicios vitales (Ehrlich, Paul y Anne Ehrlich (1978), en Daly, 1980).

El *desarrollo económico* sólo puede tener lugar, por tanto, si respeta las formas de reproducción del medio natural (leyes de la termodinámica y ciclos biológicos fundamentales) y si lo hace, además, con una adecuada regulación social, política e institucional, todo lo cual no tiene nada que ver con las “*leyes del mercado*”. En este sentido, hay que insistir en que no se trata únicamente de *internalizar* o tener en cuenta los diferentes *costes medioambientales* entre los costes de las actividades productivas o de consumo, sino que hay que integrar las actividades económicas en los ecosistemas naturales y en el contexto social, humano y territorial respectivos.

Tal como señala Georgescu-Roegen (1971), el *proceso económico* es un sistema *parcial* (o subsistema), que se halla circunscrito por un límite a través del cual se intercambia materia y energía con el resto del ecosistema natural. Este proceso material no produce ni consume materia o energía, tan solo las absorbe y expelle continuamente, generando *entropía*, esto es, desechos y contaminación. La *producción* es, por tanto, un proceso de generación de desechos y contaminación. En palabras de Georgescu-Roegen (1971), el proceso económico recibe (utiliza) recursos naturales valiosos y genera desperdicios sin valor. Como se dice en la jerga economicista, el “*coste de oportunidad*” de este proceso es el coste de no aplicar mejores alternativas².

La crisis de la *biosfera*, que vulgarmente llamamos por sus efectos como *cambio climático*, plantea problemas absolutamente nuevos en la agenda que ocupa a la economía convencional. Las reflexiones siguientes tratan de sistematizar algunos puntos sobre la necesidad de dotarse de un enfoque capaz de alcanzar el desarrollo económico, social y ambiental de nuestras sociedades, esto es, lo que denominamos un *desarrollo sostenible*. Para ello se precisa disponer de indicadores sobre la utilización de *balances de materiales y energía*³, sobre la *huella ecológica* (**Recuadro 1.3**), así como indicadores *cualitativos* sobre calidad de vida y nivel de bienestar pero, fundamentalmente, se trata de trascender los indicadores de carácter monetario y dotarse de un enfoque alternativo al de la economía convencional, a fin de evaluar adecuadamente los procesos de *desarrollo sostenible*.

El *desarrollo económico*, por tanto, sólo es posible si se logra mantener en el marco estricto de la capacidad de reproducción de los recursos naturales y de la capacidad de carga de la *biosfera*, de un lado, y del consenso social y político alcanzado por los actores sociales, de otro lado.

² El **coste de oportunidad** alude al valor de la mejor opción (u opción alternativa) a la que se renuncia al tomar una determinada opción en vez de otra. Si un gobierno decide invertir en armamento ello tiene el elevado *coste de oportunidad* de las aplicaciones de carácter social que alternativamente se podrían haber llevado a cabo y que, a consecuencia de la decisión adoptada, no se pueden hacer.

³ Los **balances de materiales y energía** tratan de contabilizar los flujos de entrada y salida de materiales y energía dentro de un sistema económico o un determinado proceso de producción. De este modo, podemos conocer los flujos de materiales que intervienen en esos procesos, así como las necesidades energéticas del mismo, a fin de proceder a una gestión *sostenible* de los procesos productivos.

Recuadro 1.3: Huella ecológica

La **huella ecológica** es un indicador del *impacto ambiental* generado por la actividad humana que utiliza recursos del ecosistema, en relación con la capacidad ecológica para la generación de dichos recursos. Representa el área de tierra o agua (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos), así como el volumen de aire necesario para generar dichos recursos y para asimilar los residuos producidos por dichas actividades.

Según datos del *Global Footprint Network* de 2008 (véase **Cuadro 1.4**), la medición de la huella ecológica a nivel mundial es de 2,7 hectáreas globales per cápita (*hgpc*) siendo el déficit de la reserva ecológica de -0,6 *hgpc*, lo que indica que no hay suficiente capacidad para sostener el tipo de vida predominante a nivel mundial. En algunos países, como EEUU, Emiratos Árabes Unidos o Kuwait el déficit de reserva ecológica es muy superior, lo que muestra la mayor insostenibilidad de dichos modelos de vida.

La medición puede realizarse a nivel individual, para una ciudad, una región, una comunidad, o un determinado país. El valor didáctico del concepto de *huella ecológica* reside en que hace evidentes dos realidades relacionadas. Primero, que el modo de vida característico de los países más ricos del planeta no puede extenderse al resto. Segundo, que una economía planetaria sostenible exige de la minoría acomodada en el mundo una reducción de sus niveles de consumo y de su nivel de vida.

Fuente: www.es.wikipedia.org

Cuadro 1.4: Huella ecológica en algunos países

PAÍSES	Huella ecológica (hgpc)	Reserva ecológica (hgpc)
Austria	5	-2,1
Bélgica	5,1	-4,0
China	2,1	-1,2
Alemania	4,2	-2,3
Italia	4,8	-3,5
Japón	4,9	-4,3
Kuwait	8,9	-8,4
España	5,7	-4,4
Suiza	5	-3,7
Emiratos Árabes Unidos	9,5	-8,4
Reino Unido	5,3	-3,7
Estados Unidos	9,4	-4,4
MUNDO	2,7	-0,6

Fuente: *Global Footprint Network, 2008*

1.2 El reduccionismo de la visión económica convencional

Pese a la interacción de las tres dimensiones de análisis -económica, social y ambiental-, la visión de la teoría económica convencional, académicamente predominante, sigue descansando en la vieja concepción originaria, expuesta por Adam Smith en el siglo XVIII, basada en el análisis de un individuo abstracto (*homo economicus*), que toma sus decisiones de forma aislada y según una racionalidad hedonista que persigue el máximo placer, utilidad o beneficio frente a alternativas que estima de menor utilidad o ganancia, siendo este hecho el que -supuestamente- acaba logrando la situación óptima para la sociedad en su conjunto. En otras palabras, a partir de las características adjudicadas a un sujeto abstracto a nivel *microeconómico*, guiado por un *racionalismo económico instrumental*, se generaliza al conjunto de la sociedad dicho comportamiento, como si todo lo demás no existiera o careciera de relevancia.

Con la afirmación de Adam Smith sobre la existencia en el ser humano de una “*tendencia natural*” hacia el intercambio, las actividades humanas pasan a ser consideradas como autónomas, sin referencia al contexto social, cultural, histórico e institucional en el que se encuentran. De este modo, el *mercado* y el supuesto poder auto-regulador del funcionamiento libre del mismo (esto es, sin injerencia pública), pasaron a ser la institución central a la que la sociedad debía someterse.

La ortodoxia del liberalismo económico ha fortalecido esta visión basada en el *reduccionismo económico* en el análisis de la sociedad. Sin embargo, los seres humanos no son únicamente una fuerza productiva o individuos consumidores que tratan de maximizar utilidades, ya que se trata de *personas* portadoras de valores y sentimientos cuyas aspiraciones intelectuales, sociales y artísticas poseen gran importancia. De este modo, el comportamiento humano y el del conjunto de la sociedad (que no puede deducirse simplistamente a partir de una generalización colectiva de los supuestos establecidos para un solo individuo aislado), no pueden reducirse a una simple racionalidad económica. Dicho de otra forma, el “*homo economicus*” es también un ser biológico y una persona dotada de valores (Pesset, 2012).

Por otra parte, la búsqueda del máximo beneficio o ganancia financiera, cuando ello descansa en un sistema como el actual en el cual los flujos internacionales de capital financiero-especulativo sobrepasan en una gran medida los flujos de inversión productiva, (esto es, los orientados al aumento de la capacidad productiva de la ‘economía real’, como maquinaria, bienes de equipo, infraestructuras, viviendas, servicios de salud, educación, entre otros), no puede servir como guía para alcanzar el *óptimo social* mostrando, de hecho, la presencia creciente de desigualdades sociales y territoriales. (Ver **Recuadro 1.5** sobre las corrientes especulativas del capital financiero y su importancia en el sistema mundial).

1.3 La necesidad de un enfoque alternativo

Un enfoque alternativo debe tener como objetivo la coherencia del conjunto de relaciones entre las tres dimensiones de análisis, económica, social y ambiental, lo cual obliga a una serie de normas y límites que deben tenerse en cuenta, tanto de carácter cuantitativo como cualitativo. Entre ellos se encuentran, de un lado, los principios básicos de *funcionamiento de la naturaleza* y, de otro, la atención fundamental de las *necesidades humanas básicas*.

El respeto a los ritmos de reconstitución de los recursos naturales renovables; el respeto de los ritmos de extracción que aseguren la sustitución de los recursos naturales no renovables por otros sustitutivos, así como los límites de emisión de residuos y contaminación compatibles con la capacidad de autodepuración de los ecosistemas, corresponden a los primeros límites citados. Mientras que el aseguramiento de las necesidades básicas nutricionales, de salud, educación, vivienda y acceso a la información constituyen las exigencias a respetar del lado de los seres humanos. Asimismo, entre las

obligaciones de carácter cualitativo pueden citarse la calidad de vida (o el *buen vivir*), la diversidad de actuaciones según los diferentes *ecosistemas* (a fin de asegurar su estabilidad), o la valoración de la belleza paisajística de cada lugar, u otras.

Como quiera que estas obligaciones o límites no pueden ser garantizados por la “lógica de los mercados”, hay que dotarse de instrumentos e indicadores no monetarios, como se ha señalado anteriormente y, sobre todo, asegurar un enfoque alternativo que tenga en cuenta las exigencias del funcionamiento biofísico de la naturaleza.

Recuadro 1.5

Las corrientes especulativas del capital financiero y su importancia en la economía mundial

Entre los rasgos sobresalientes del proceso de globalización, destaca el importante auge de las corrientes financieras internacionales, que se caracterizan por una marcada volatilidad. Pero no se trata de una volatilidad inocua, sino de oscilaciones que se traducen en intensos ciclos económicos que se extienden durante períodos prolongados de tiempo y afectan cualitativamente la asignación de los recursos y la equidad, sembrando crecientes desequilibrios hasta convertirse finalmente en costosas recesiones de la economía real.

Hoy día, la mayor parte del mundo está inmersa en una situación que tuvo su origen en la globalización de la volatilidad financiera. Sus graves consecuencias a nivel global deberían impulsar, por fin, una urgente corrección de la arquitectura financiera internacional. El aumento de las corrientes financieras refleja en parte el crecimiento de la economía mundial, el incremento del comercio internacional y la globalización de la producción. Sin embargo, también obedece a factores de índole financiera cuya influencia ha aumentado a un ritmo marcadamente más acelerado, sobre todo desde los años noventa. La presencia cada vez mayor de centros financieros internacionales extraterritoriales, unida a una regulación escasa o inexistente, estimuló los movimientos de capital al dar cabida a la evasión de la reglamentación financiera nacional y de los controles e impuestos relacionados con el capital. Este fenómeno, así como las innovaciones de las tecnologías de la información y de las comunicaciones junto a la utilización de técnicas financieras de creciente complejidad, muchas de las cuales permiten un excesivo *apalancamiento* mediante operaciones no incluidas en el balance de las instituciones financieras, contribuyeron estructuralmente al auge notable de las corrientes internacionales de capital.

A partir de información del Banco de Pagos Internacionales, la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos y el Banco Mundial, se puede estimar que por cada dólar de comercio internacional de bienes y servicios se mueven unos 40 dólares en los mercados cambiarios. Esta relación tan desigual indica que los mismos fondos se intercambian varias veces al día, usualmente fuera del comercio real, lo cual representa un problema para el entorno macroeconómico de la economía real, donde funciona la mayoría de las empresas y trabajadores.

Normalmente, la inversión extranjera directa orientada a la producción se canaliza hacia los activos inmovilizados “irreversibles” a corto plazo, de manera que no es posible retirar los fondos de un día para otro. En cambio, los recursos de carácter financiero pueden moverse de forma instantánea. Es por ello que en los estudios económicos y en el enfoque de políticas de varios de los países que han actuado más responsablemente se hace una diferencia en el tratamiento de la inversión financiera y de la inversión extranjera directa. Este tipo de decisiones de los mercados financiero y cambiario se siente con mucha intensidad en la economía real, esto es, en la producción, el empleo, las utilidades y la recaudación fiscal.

Fuente: Ricardo Ffrench-Davis (2009): “Crisis global, flujos especulativos y financiación innovadora para el desarrollo”, Revista CEPAL, Santiago de Chile, abril.

Hay que asegurar, por un lado, una intervención pública o colectiva consciente en el proceso de desarrollo con el fin de establecer los acuerdos, reglamentaciones, tasas, impuestos o cualquier otro tipo de instrumentos que aseguren las condiciones de funcionamiento del *sistema económico*, abordando todo ello a partir de principios participativos de *gobernanza* y de gestión colectivas. En este sentido es fundamental tener en cuenta que frente a la *racionalidad instrumental* de carácter económico individualista (donde priman los conceptos de competitividad, lógica mercantil y persecución de ganancias máximas) debe alzarse *otro tipo de racionalidad*, en este caso, orientada a *asegurar las finalidades* últimas del desarrollo, es decir, la satisfacción de las necesidades básicas de las personas, bajo una lógica basada en la cooperación, la solidaridad, la ética y la justicia.

Tal como señala René Passet (2012), en una época como la actual, en la cual existe la posibilidad real de atender tecnológicamente a la satisfacción de las necesidades básicas de la humanidad (hambre, pobreza, enfermedades, abastecimiento de agua, vivienda, básicamente), la economía debe orientarse no tanto a incrementar la producción de forma incesante, sino a enfrentar el problema de la desigual distribución de lo producido y a la prioridad que debe existir entre las decisiones de inversión innovadora (con menores gastos armamentistas y limitación de las aplicaciones financiero especulativas, y mucho mayores inversiones orientadas a la atención de las necesidades básicas de los grupos sociales con mayores carencias), todo ello dentro de un modelo de funcionamiento estable o sostenible. Se trata, en definitiva, de la incorporación de la *ética*, la *ecología* y la *política* en el funcionamiento *económico*.

Como es sabido, la medición del indicador del crecimiento económico cuantitativo, esto es, el producto interior bruto (PIB), no sirve para evaluar el resultado de dicho crecimiento en términos de bienestar social, lo que incluye, según el Informe de la *Comisión sobre la medición del desarrollo económico y el progreso social (2010)*⁴, las condiciones de vida material, la salud, la educación, la calidad de las relaciones laborales, la igualdad de género, la participación en la vida política y la gobernanza, la existencia de vínculos y relaciones sociales, la calidad del medio ambiente presente y futuro, y la seguridad ciudadana.

Por otra parte, tal como señala el historiador y antropólogo Karl Polanyi en su obra "*La Gran Transformación*" (1944), la *lógica de mercado* representa la antítesis del espíritu democrático, ya que la subordinación de lo humano a la lógica económica supone abrir la posibilidad de un deslizamiento hacia las sociedades autocráticas, tal como ocurrió con la Alemania nazi o con los sistemas sustentados en el liberalismo radical. En efecto, la idea de que existen mercados que se autorregulan por sí solos constituye, de hecho, una puerta abierta en favor de los principales grupos de poder económico y, tal como señala Polanyi, las relaciones sociales y medioambientales son sometidas de este modo a la lógica económica predominante de dichos grupos.

Asimismo, con el ascenso de las fracciones de capital financiero al control principal del funcionamiento del sistema capitalista, esta tendencia hacia una concepción autoritaria del sistema puede reforzarse aún más utilizando para ello diversas formas de control político, financiero, militar o cultural. Se hace, pues, obligado incorporar una reflexión crítica de esta conceptualización de la ciencia económica convencional, tratando de avanzar hacia un enfoque que integre el comportamiento del ser humano dentro de los contextos social y ambiental, ya que las relaciones sociales engloban a la economía y ésta se encuentra dentro del ecosistema global.

De otro lado, hay que insistir, en que las actividades económicas son parte de las actividades humanas que tienen lugar en un medio físico (cuyo carácter es finito), lo que obliga a tener en cuenta los principios fundamentales que regulan el **ecosistema o medio ambiente** en nuestro planeta. En este sentido, hay que tratar de minimizar -o eliminar en lo posible- el impacto en el medio ambiente de las

⁴ Hay publicación en castellano: *Medir nuestras vidas. Las limitaciones del PIB como indicador de progreso* (2013), con prefacio de Joseph E. Stiglitz, Amartya Sen y Jean-Paul Fitoussi.

actividades económicas, esto es, ocasionado por la producción, la distribución, el transporte, el consumo de bienes y servicios, y la gestión de los residuos generados, con el fin de asegurar la reproducción de las características del medio ambiente, tratando que dichas actividades tengan una utilización **sostenible**, esto es, no afecten a la capacidad de acogida y regeneración del mismo. De este modo, hay que asegurar la regeneración de los ciclos de la naturaleza, como el ciclo del agua o el ciclo del carbono, entre otros (**Recuadro 1.6**).

Recuadro 1.6: Funcionamiento del ecosistema natural

El *ecosistema* o sistema ecológico es la unidad funcional básica de la ecología. Los organismos vivos y su medioambiente inerte físico-químico (*abiótico*) se encuentran relacionados e interactúan recíprocamente. De este modo, los ecosistemas se caracterizan por las relaciones entre los elementos vivos y no vivos de una determinada área natural. Estas relaciones consisten fundamentalmente en transferencias de materia y energía.

El ecosistema global se conoce con el nombre de *biosfera* o *ecosfera*⁵ y se identifica con la delgada capa de superficie terrestre que comprende el conjunto de los seres vivos y en el cual es posible su existencia. El funcionamiento de un *ecosistema natural*, ya sea terrestre o acuático, depende de la entrada de energía, dado que la relación ecológica es, en último término, de tipo energético. La radiación solar en forma de luz es la principal fuente de energía para un ecosistema, y se transforma en energía química (materia) mediante el proceso de *fotosíntesis* en los organismos *productores* (o “*autótrofos*”) capaces de producir por sí mismos las sustancias orgánicas necesarias para su crecimiento utilizando elementos minerales (plantas verdes y algas principalmente). Algunos organismos del ecosistema natural no son autosuficientes en su alimentación, debiendo nutrirse de otros, por lo que se les llama *consumidores* (o “*heterótrofos*”) que pueden ser *primarios* (herbívoros), *secundarios* (carnívoros), o *terciarios* (carnívoros que se alimentan de otros carnívoros).

Dentro de los organismos *heterótrofos* existe otro importante grupo que son los “*descomponedores*” (degradadores, reductores o transformadores), bacterias y hongos especialmente, que se alimentan mediante la absorción de materia orgánica previamente descompuesta a través de procesos enzimáticos, dando lugar a la mineralización de esta materia, es decir, degradando la materia orgánica a materia inorgánica la cual, a su vez, puede ser utilizada nuevamente por los organismos *productores*. Las relaciones de alimentación entre los organismos productores y consumidores se conocen con el nombre de *cadena trófica*, que son las encargadas de asegurar la circulación de la materia y la energía entre los organismos del ecosistema natural. Los procesos vitales, además de energía, requieren el mantenimiento de los *ciclos biogeoquímicos* que aseguran el paso de elementos entre el medio orgánico y la materia viva. Sus diversas fases se desarrollan en el seno de los ecosistemas, dotando a la *biosfera* de un importante poder de autorregulación (*homeostasis*). Así pues, la circulación de la materia depende de estos ciclos de nutrientes, entre los que destacan por su importancia, los ciclos del agua, oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico, azufre y fósforo.

Fuente: Luis Jiménez Herrero: Economía Planeta. Diccionario Enciclopédico, 1980.

⁵ La *biosfera* constituye todo el dominio donde se encuentra la vida en el planeta. Consta de la troposfera, la hidrosfera y la litosfera, que incluye la corteza superior (suelos y rocas) y el manto superior de la geosfera. Así pues, la biosfera es una zona de vida de unos 20 kms aproximadamente de alto, que va desde los lechos más profundos de los océanos hasta la cumbre de las montañas más altas. El conjunto de organismos vivos existentes en la biosfera que interactúan entre sí y con su medio no vivo se llama *ecosfera* (Miller, 1994).

Así pues, las actividades económicas tienen siempre lugar en un determinado **ecosistema natural** (o **medioambiente**), del cual se obtienen la energía, el agua, los materiales y los recursos naturales en general, y donde se envían los desechos, residuos y contaminación generados por esas actividades.

En las relaciones del ser humano y la naturaleza hay que tener presente que el despliegue de actividades económicas cada vez más intensivas en la utilización de recursos naturales, tratando de maximizar los rendimientos de dichas actividades económicas en la búsqueda de mayores niveles de **crecimiento económico**, ha llevado a un conflicto creciente con los principios rectores del **ecosistema natural**, esto es, la preservación de las características de la biosfera y la regeneración de las características de los ecosistemas naturales. De este modo, el medioambiente se ve amenazado por la acción humana, la cual está ocasionando modificaciones estructurales y funcionales en los ecosistemas naturales.

Tal como señala Jiménez Herrero (1980), las prácticas agrícolas intensivas introducen cambios desestabilizadores ya que alteran la diversificación de los ecosistemas al especializarse en regímenes de monocultivo. Asimismo, producen perturbaciones en el ciclo hidrológico al aumentar la salinidad de las aguas por la utilización de técnicas de riego inadecuadas, y en el ciclo del nitrógeno, especialmente al emplear fertilizantes artificiales. Igualmente, el desarrollo de la civilización tecnológica contemporánea y el empuje de la revolución industrial, ha supuesto la existencia de tres grandes focos perturbadores de los ecosistemas naturales:

- En primer lugar, la importante pérdida de *biodiversidad* o diversidad de especies, lo que provoca grandes desequilibrios.
- En segundo lugar, la limitada capacidad de absorción de la naturaleza para asimilar la enorme masa de residuos procedentes de las actividades humanas de producción y consumo, ya que los desperdicios no pueden ser degradados biológicamente por los organismos *descomponedores*, dando lugar a la contaminación y a perturbaciones graves en el funcionamiento de los ecosistemas y alteraciones de los ciclos biogeoquímicos.
- Finalmente, el tercer foco perturbador proviene del importante consumo de energía procedente de yacimientos fósiles (carbón, petróleo, gas), que constituye la causa principal de la contaminación del medioambiente en el planeta Tierra.

La estabilidad de un ecosistema natural aumenta cuando tiene una mayor diversidad de especies (*biodiversidad*), ya que el grado de organización es mayor y las posibilidades de adaptación al cambio son también superiores. El desarrollo de un *ecosistema natural* es, así, coincidente con el desarrollo de la biosfera a largo plazo, en el sentido de que alcanzar la mayor protección contra las perturbaciones permite el mantenimiento de sus complejos mecanismos de autorregulación (*homeostasis*).

1.4 Los Principios de la conservación de la materia y la degradación de la energía

En Física se llama **materia** a cualquier tipo de entidad que es parte del universo observable, tiene **energía** asociada, es capaz de interactuar, es medible y posee una localización espacial y temporal determinada. Todas las formas de **materia** tienen asociadas una cierta energía. En la naturaleza existen varios niveles de organización de la **materia** según su tamaño y función. Los tres niveles inferiores se refieren a las *moléculas*, *átomos* y *partículas subatómicas*, que constituyen los componentes básicos de la materia. Los niveles superiores de organización de la materia se refieren a los *organismos*, *poblaciones*, *comunidades*, *ecosistemas* y *ecosfera*, que constituyen el ámbito de estudio de la **Ecología** (Miller, 1994).

En términos de **materia** la Tierra es un planeta cerrado. A través de miles de millones de años los procesos naturales garantizados por el flujo de energía solar y los ciclos biogeoquímicos han garantizado la reproducción de las condiciones de existencia de la vida en el planeta, gracias a las interacciones entre los elementos no vivos (aire, agua y suelo) y el medio vivo.

La **calidad** de la materia es una medida de cuan útil es un recurso material, según su disponibilidad y concentración. La materia de *alta calidad* está organizada y concentrada, y generalmente se encuentra cerca de la superficie terrestre. Tiene gran potencialidad para ser utilizada como recurso material y posee *baja entropía*. Por su parte, la materia de *baja calidad* está desorganizada, diluida o dispersa, y con frecuencia se halla a profundidad bajo la superficie terrestre, o dispersa en el océano o en la atmósfera. Tiene menor potencialidad para su uso como recurso material y posee una *entropía mayor*.

El término **entropía** se utiliza para referirse al grado de desorden o aleatoriedad de un sistema. Fue introducido por Rudolf Clausius⁶ en 1850. Cuanto mayor es el desorden en una muestra de materia, mayor es su *entropía*. La entropía describe, por tanto lo irreversible de los procesos termodinámicos. Se refiere a la parte de la energía que no puede utilizarse para producir *trabajo útil*.

En Física, la **energía** se define como la capacidad de hacer *trabajo* ejecutando tareas mecánicas, físicas, químicas o eléctricas, o bien produciendo una transferencia de calor entre dos objetos a diferente temperatura. Las formas de energía comprenden la luz (una forma de energía radiante), el calor, la energía química almacenada en los enlaces que unen los elementos y compuestos, la materia en movimiento, y la electricidad. En Economía la **energía** es un recurso natural que incluye una tecnología asociada, y que se utiliza para extraer, transformar y dar un uso industrial o económico a la naturaleza. La **energía** es el elemento fundamental para cualquier actividad en el planeta, ya sea para la producción de alimentos, para el funcionamiento de las fábricas, para mantener la temperatura de nuestro cuerpo, para los sistemas de transporte, etc.

La **energía solar** suministra la energía utilizada para calentar la Tierra y todo lo construido en ella por el ser humano. De no ser por este aporte perenne de la energía solar la vida en el planeta no existiría. Este ingreso de energía solar también ayuda a la realización de los ciclos del carbono, oxígeno, agua y otras sustancias químicas que se necesitan para la vida en el planeta. La **energía solar** incluye la energía directa del Sol y las diversas formas de energía indirecta producidas por la incidencia solar directa. Estas formas indirectas de energía solar comprenden los vientos, el agua que cae y fluye (hidroenergía), y la **biomasa**, es decir, la energía solar convertida en energía química almacenada en los compuestos orgánicos en los árboles y otras plantas.

Es común diferenciar las fuentes de energía en renovables y no renovables. Entre las **energías renovables** se encuentran la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz, biomasa, y termoeléctrica. Las fuentes de **energía no renovables** son el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía atómica o nuclear que requiere uranio o plutonio.

Los *elementos y compuestos* pueden experimentar cambios físicos y químicos, los cuales proporcionan o necesitan energía, generalmente en forma de calor. Los cambios físicos no implican modificación en la composición química. Los cambios químicos, por el contrario, implican cambios en la composición de los elementos o compuestos involucrados. Por ejemplo, cuando el carbón se quema, el carbono (C) que contiene se combina con el oxígeno (O₂) de la atmósfera formando el compuesto gaseoso dióxido de carbono (CO₂), que es un desecho. Como es sabido, el incremento permanente de la concentración de dióxido de carbono en la baja atmósfera es la causa del aumento del efecto invernadero en la Tierra. Además de los cambios físicos y químicos, la materia puede ser objeto de un tercer tipo de cambio, que son los cambios nucleares: la radiactividad natural (o radiación electromagnética), la fisión nuclear y la fusión nuclear.

La **energía nuclear** es la energía que se libera al dividir el núcleo de un átomo (*fisión nuclear*) o al unir dos átomos para convertirse en un átomo individual (*fusión nuclear*). La **fisión nuclear** consiste en la división del núcleo de un átomo, el cual se fragmenta generando neutrones y otros núcleos con

⁶ Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888), físico y matemático alemán, considerado uno de los fundadores de la *Termodinámica*. En su trabajo más importante sobre la teoría mecánica del calor, publicado en 1850, estableció por primera vez las ideas básicas de la segunda ley de la termodinámica, introduciendo en 1865 el concepto de *entropía*.

una masa algo menor que la masa original del núcleo inicial, generando de ese modo energía. Los neutrones liberados en la fisión nuclear pueden producir fisiones adicionales en otros núcleos, provocando una cadena de reacciones nucleares, que pueden ser controladas (energía nuclear) o no controladas (armas nucleares, desastres nucleares). Por su parte, la **fusión nuclear** es una reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros, por lo general, el hidrógeno y sus isótopos (deuterio y tritio), se unen para formar otro núcleo más pesado, liberando una gran cantidad de energía. Un ejemplo de fusión nuclear lo tenemos en la energía procedente del Sol, que tiene su origen en la fusión de núcleos de hidrógeno, generándose helio y liberándose una gran cantidad de energía que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética.

Sin embargo, lo más importante es destacar que la energía existe en dos estados cualitativos: la energía *disponible* o *libre* (de baja entropía), y la energía *no disponible* (de alta entropía), que ya no se puede volver a utilizar. Por ejemplo, cuando se quema carbón o petróleo, su contenido de energía libre no se reduce ni se incrementa, pero esa energía libre inicial se disipa en forma de calor, humo y cenizas, formas de entropía o energía no disponible que ya no es posible utilizar y que se acumula como contaminación del medio ambiente. Por ello, si se sigue avanzando en el mismo proceso de crecimiento económico actual, el camino hacia la degradación (y posible destrucción) del planeta Tierra es sólo cuestión de tiempo.

Así pues, el proceso económico está inserto en una base material sujeta a restricciones biofísicas y energéticas, lo cual hace que los mayores niveles de producción de bienes y servicios (que constituye el objetivo explícito de la economía convencional) lleven consigo mayores niveles de desperdicios, desechos y contaminación. Algunos autores mantienen una fe sin límites en que la tecnología será capaz de encontrar alternativas ante estos problemas. Pero la sustitución de un conjunto (o *acervo*) finito de baja entropía accesible, cuya degradación se acelera con el uso, no puede seguir siempre (Georgescu-Roegen, 1975).

La energía libre que el ser humano puede utilizar proviene de dos fuentes distintas: (i) el *acervo* o cantidad (stock) de depósitos contenidos bajo la corteza terrestre; y (ii) el *flujo* de energía solar. La primera de estas fuentes es insignificante en comparación con la segunda. Por increíble que parezca, como recuerda Georgescu-Roegen (1971), la totalidad del acervo terrestre podría producir apenas unos cuantos días de energía solar⁷.

En la jerga habitual de la Economía se utiliza la expresión “*consumo energético*”, sin embargo, este término es incorrecto ya que la *materia* o la *energía* no se consumen o destruyen al ser utilizadas, simplemente se degradan en su calidad. Lo que se consume cuando utilizamos energía o materiales es su disponibilidad para realizar trabajo útil (Ehrlich, P: Ehrlich, A; y J. P. Holdrin, 1977).

De acuerdo con la Segunda Ley de la Termodinámica, todos los procesos físicos, naturales y tecnológicos implican que la disponibilidad de la energía utilizada decrece, al generarse una mayor entropía. Las actividades económicas implican, por consiguiente, una transformación de la forma de la energía, la cual, según la Primera Ley de la Termodinámica, ni se crea ni se destruye. La cantidad total de energía sigue siendo la misma, aunque la energía libre utilizada se convierte en energía no disponible, esto es, desecho o contaminación.

Como vemos, los puntos de vista de la economía convencional y de la ecología no son coincidentes. Desde el punto de vista de la ecología la crisis energética, por ejemplo, no es la insuficiencia en el abastecimiento de la energía, o el aumento del precio del combustible, sino el uso excesivo del tipo de energía procedente de los combustibles fósiles, lo cual figura entre las principales causas del deterioro de la biosfera. Por otro lado, la eficiencia productiva (o *productividad*) de los procesos económicos no puede medirse exclusivamente, como hace la economía convencional, como la proporción entre el volumen de trabajo realizado y la cantidad de factores utilizados (mano de obra, capital y otros

⁷ Eugene Agrés: “Power from the Sun”, *Scientific American*, agosto de 1950. Citado por Georgescu-Roegen (1971).

recursos). En realidad, la eficiencia productiva, desde el punto de vista biofísico, es la proporción entre el trabajo realizado y el flujo total de energía *neta* consumido en ello.

Recuadro 1.7: Las principales leyes de la Termodinámica y su importancia en el sistema económico

El **Principio de Conservación de la Materia**, también llamado *Primera ley de la Termodinámica*, señala que en todos los cambios físicos o químicos no se crea ni se destruye ninguno de los átomos que intervienen. Lo que ocurre es un cambio en distintas configuraciones espaciales (cambios físicos) o en diferentes combinaciones (cambios químicos) de la materia. Esto plantea la necesidad del reciclaje o reutilización de los *desechos* generados en los procesos de transformación productiva de la materia. Y, más aún, la necesidad de plantearse *ex-ante* un principio de prevención de la contaminación o impacto que los procesos de producción generan, a fin de elegir aquellos que eviten daños ambientales.

El **Principio de la Degradación de la Energía**, o *Segunda ley de la Termodinámica* señala que cuando la energía cambia de una forma a otra, dicha energía útil es degradada a una calidad inferior, más dispersa, esto es, con niveles de *entropía* más elevados y, por tanto, menos útil. Por lo general esa entropía toma la forma de calor que fluye al medio ambiente y se dispersa en el aire o en el agua. Así pues, cuanta más energía se utiliza, más energía desordenada (o *entropía*) se agrega al medio ambiente. Por ello tenemos que reducir o minimizar nuestra aportación al desorden entrópico generado en la Naturaleza.

Una forma de minimizar este impacto es a través del aumento de la **eficiencia de la energía**, que es el porcentaje de entrada total de energía que realiza un trabajo útil y no se convierte en calor de baja calidad (*entropía*) esencialmente no utilizable. Por ejemplo, utilizar energía eléctrica de alta calidad para proporcionar calefacción (o calentar el agua) en un hogar, supone un desperdicio importante de energía ya que implica la producción de energía de alta calidad en grandes plantas de energía, lejanas, así como la distribución y transporte de la misma para atender a necesidades de calor de calidad moderada. Una regla general de *uso eficiente de la energía* es el principio de equiparar o adaptar la calidad de la energía a las tareas en que debe ser aplicada. En este sentido, no debería utilizarse energía de alta calidad para usos que pueden llevarse a cabo con energía de menor calidad (gas natural, energía solar o biomasa).

Por otra parte, se requiere energía para producir energía, de modo que interesa saber cuál es la **energía útil neta**, es decir, la energía útil total disponible del recurso menos la energía utilizada para obtenerla, y la desperdiciada en ese proceso de producción y transporte hasta los usuarios. Podemos expresar esta relación como el cociente entre la energía útil producida y la energía útil utilizada para dicha producción. La energía de *fisión nuclear* convencional tiene una baja relación de energía neta debido a que se requieren grandes cantidades de energía para extraer y procesar el mineral de uranio, convertirlo en combustible nuclear utilizable, y construir y operar las plantas generadoras de electricidad. Asimismo, se requiere energía adicional para desmontar las plantas nucleares después de sus años de vida útil, y luego almacenar durante miles de años los residuos nucleares altamente radiactivos resultantes (Miller, 1994).

Como vemos, el principio de conservación de la materia y el principio de degradación de la energía explican cómo el uso de los recursos materiales y energéticos agrega desechos de calor y materiales de desperdicio en el medioambiente (aire, agua y suelo), aumentando así su **entropía**. El fomento incesante de un tipo de crecimiento económico sin límites implica, por tanto, el aumento de la *entropía* en el medio natural, constituyendo un modelo de crecimiento basado en el derroche y desperdicio.

Enfrentar esta situación exige cambiar dicho modelo de crecimiento económico insostenible a fin de sentar las bases de una sociedad regida por las leyes de la materia y la energía, procediendo a incorporar un modelo de producción y consumo sostenibles. Ello obliga a superar la contabilidad económica (basada en indicadores monetarios) incorporando la medición en términos de energía y materiales, a fin de orientar la toma de decisiones inteligentes (sostenibles). Todo esto implica una nueva revolución industrial, cultural y política.

El tránsito hacia una *sociedad inteligente o estable*, capaz de asegurar la vida en el Tierra debe caracterizarse, por tanto, por un uso más eficiente de la energía y de los recursos materiales, avanzando hacia la utilización de las energías renovables, el reciclado y reutilización de los materiales, reduciendo el uso y desperdicio de los mismos, incorporando criterios de producción y diseño sostenibles, con productos que duren más y que sean fáciles de reciclar, reutilizar y reparar, haciendo énfasis en la prevención de la contaminación y la reducción de desechos, con prioridad sobre los enfoques que se centran únicamente en el manejo de los residuos o desechos.