



## INFORMACIÓN SOCIEDAD-NATURALEZA Y ENFOQUE DE SOSTENIBILIDAD

**Francisco Octavio MACHÍN ARMAS**

Universidad de Holguín (Cuba)  
fmachin@facing.uho.edu.cu

**Eduardo FERNÁNDEZ SANTIESTEBAN**

Universidad de Holguín (Cuba)  
efs@facing.uho.edu.cu

**Franklin GONZÁLEZ SEGURA**

Universidad de Holguín (Cuba)  
frank@facing.uho.edu.cu

**Sandra Lilia BÁRCENAS MARTÍNEZ**

Universidad de Holguín (Cuba)  
sandra@facing.uho.edu.cu

Recibido: 9 de octubre del 2014

Enviado a evaluar: 13 de octubre del 2014

Aceptado: 11 de noviembre del 2014

### RESUMEN

Se analiza cómo la evolución de la interacción sociedad - naturaleza en la historia de la humanidad condujo a la crisis ambiental contemporánea, hecho que se manifiesta en las contradicciones y limitaciones de los modelos de desarrollo prevaletentes y causa de la aparición en la ciencia de la concepción de desarrollo sostenible ofrecido por el Informe Brundtland en 1987. Además, del estudio evolutivo de las relaciones técnicas que median entre la sociedad y la naturaleza, la ideas de la Termodinámica Clásica, de los fundamentos de la Teoría General de Sistemas y el análisis de las insuficiencias del concepto desarrollo sostenible ofrecido por el citado informe, se cimienta desde una perspectiva dialéctica, sistémica y termodinámica una concepción de sostenibilidad que salva las fisuras y contradicciones aparecidas en la evolución de este concepto.

**Palabras clave:** Sociedad, naturaleza, sostenibilidad, desarrollo.

## THE INTERACTION SOCIETY-NATURE AND AN APPROACH TO SUSTAINABILITY

### ABSTRACT

The article deals with the interaction society-nature through the history of mankind and how this led to the present environmental crisis that became evident through the contradictions and limitations of the prevailing models of development, which at the same time led to the concept of sustainable development stated in the Brundtland Report in 1987. Furthermore, in addition to the study of the evolution of the technical relations between society and nature, the ideas of Classical Thermodynamics, the basis of the General Theory of Systems and the analysis of the flaws in the concept of sustainable development stated in the above mentioned report, the article offers a new insight of sustainable development from a dialectic,

systemic and thermodynamic point of view that takes into account the shortcomings and contradictions that came into view as the concept evolved.  
Key words: Society, nature, sustainability, development

**Keywords:** Society, nature, sustainability, development.

## SOCIÉTÉ DE L'INFORMATION-NATURE ET CHAMP D'APPLICATION DE LA DURABILITÉ

### RÉSUMÉ

L'évolution de l'interaction de la société analyse comment - la nature dans l'histoire de l'humanité a conduit à la crise de l'environnement contemporain, un fait qui est évident dans les contradictions et les limites des modèles de développement en vigueur et à cause de l'apparition dans la science de la conception développement durable proposé par le Rapport Brundtland en 1987. en outre, l'étude de l'évolution des techniques qui interviennent dans les relations entre la société et la nature, les idées de la thermodynamique classique des principes fondamentaux de la théorie générale des systèmes et de l'analyse de la insuffisances du concept de développement durable proposé par le rapport, est fondée d'une dialectique, systémique et thermodynamique perspective conception de la durabilité qui sauve des fissures et des contradictions sont apparues dans l'évolution de ce concept.

**Mots-clés:** Société, la nature, le développement durable, le développement.

### 1. INTRODUCCIÓN

La evolución de la relación sociedad – naturaleza llegó a una línea de ruptura en su desarrollo actual, al aparecer un desequilibrio entre la demanda de recursos materiales, alimentarios y energéticos por la sociedad y la potencialidad de respuesta de la naturaleza planetaria, la cual se ha quedado por debajo en posibilidades de satisfacer esas exigencias, sin afectar por largo tiempo su armonía. Esta línea de ruptura pasa también por el hecho de la capacidad limitada de la biosfera para asimilar los desechos de la producción material de la sociedad, y se alcanzó un estado de desequilibrio entre el vertimiento y emisión de contaminantes de un lado y la posibilidad de absorción de estos por los ecosistemas del otro.

Una interacción tan profunda como la que se verifica en la actualidad entre el hombre y la naturaleza planetaria, motiva una alteración significativa de esta última, que a veces tiene carácter irreversible. La generación y consumo de energía, así como la de residuos de la industria, los servicios y la agricultura, conjuntamente con la práctica de estas actividades modifican tan sustancialmente los diferentes entornos planetarios, que se pone en peligro de existencia la biodiversidad presente en ellos, e incluso, a la que se encuentra en ecosistemas relativamente alejados de los focos contaminantes.

Estos problemas, agravados en las últimas décadas del siglo XX por sus manifestaciones a escala global, fueron la causa de la aparición del concepto desarrollo sostenible, el cual trata de conjugar el progreso económico con la preservación de los entornos socioambientales.

Con la aparición del concepto desarrollo sostenible se abre paso la concepción de sostenibilidad, y ello permitió la elaboración de un nuevo enfoque para el examen de los problemas globales originados por el desarrollo. En el artículo, del análisis evolutivo de la interacción sociedad – naturaleza a través de las relaciones técnicas, las ideas de la Termodinámica Clásica y de los procesos en no equilibrio, la Teoría General de Sistemas y la Dialéctica Materialista, se fundamenta una concepción de sostenibilidad.

## **2. PROGRESO HUMANO Y CRECIMIENTO DE LAS DEMANDAS A LA NATURALEZA PLANETARIA**

La Revolución Neolítica iniciada por la humanidad hace alrededor de 10 000 años sobre la base del desarrollo de la agricultura, la domesticación de animales y la posterior construcción de ciudades, cambió de forma total la conducta del hombre con relación a sus formas de existencia, pues este, de cazador y recolector de alimentos se convirtió en productor, pero a la vez modificó sustancialmente su relación con la naturaleza, porque de un homínido biosistémico integrado al sistema ambiental se convirtió en un humano antroposistémico, con una conducta activa y transformadora del medio ambiente, que varios milenios después daba otro gran salto en su crecimiento, la Revolución Industrial.

Con el inicio de los procesos civilizatorios iniciales impulsados por la Revolución Agrícola aparece la concepción de propiedad, que convierte ecosistemas ligados a la superficie terrestre, ríos o parte de lagos en espacios privados, cuyos dueños se diferencian del ser humano común por su mayor accesibilidad a la riqueza. Esta diferenciación en la sociedad origina las clases sociales, que evolucionan en los diez milenios transcurridos, de forma tal que al llegar al capitalismo contemporáneo la concentración de la propiedad y la desigualdad social clasista adquieren su máxima expresión, y ello es un freno para el desarrollo sostenible.

Una aceleración del progreso humano con fuerte influencia en el medio ambiente se produjo a partir de la Primera Revolución Industrial. La expresión tecnológica máxima de este proceso es alcanzado en 1780 con la máquina de vapor (Hernández y Coello, 2007: 14), dispositivo termoenergético que multiplicaría con creces la capacidad del hombre de realizar trabajo mecánico con relación a cualquier instrumento anterior diseñado por este, y ello permitió el paso de la producción artesanal a la hecha de forma industrial.

La Revolución Industrial al igual que la Neolítica tuvo una fuerte influencia en el cambio de la conducta humana respecto a la naturaleza, pues si la revolución agrícola ganadera hizo del homínido biosistémico un humano antroposistémico, el proceso de industrialización añadió otra cualidad al comportamiento del hombre, la de sujeto tecnológico o dependiente de la tecnología.

Potenció la Revolución Industrial el desarrollo de centros fabriles, el empleo de nuevos sistemas de transportes, la apertura de vías de comunicación, el uso de nuevos portadores energéticos (el carbón en sus inicios), así como el crecimiento de la población y tomó fuerza como nunca antes el mercado. Aparecieron los centros del capitalismo mundial, que aún se mantienen como tales en aquellos países y regiones que promovieron este impulso renovador, y los nacientes estados capitalistas desde su origen inician una política expansionista, que trae como consecuencia la ocurrencia de varias guerras colonialistas entre 1830 y 1880 (Hernández y Coello, 2007: 15).

En el periodo 1880 – 1945 se desarrolló la Segunda Revolución Industrial (segunda revolución científico – técnica), que es una continuación de la primera, pero ya en otra etapa evolutiva del capitalismo. En la segunda mitad del siglo XIX, la población de los países que han accedido a los logros de la Revolución Industrial aumenta con un ritmo no conocido antes, lo que demanda la producción e importación masiva de alimentos y materias primas, así como el desarrollo de los transportes y otras tecnologías.

Fue la segunda revolución científico técnica una fase de la civilización technoindustrial en la cual se abarató la producción de acero, se incorporó una nueva forma de energía, la electricidad, y un nuevo portador energético, el petróleo, lo

que facilitó el empleo de dos grandes inventos de ese período, el motor-generator eléctrico trifásico y el de combustión interna. También el estudio de las causas de las enfermedades infecciosas y el modo de combatirlas y prevenirlas fue un logro de la medicina en la citada etapa, así como la refrigeración para la preservación de los alimentos, tecnología que facilitó el comercio y transporte de estos, mientras un impulso apreciable a la producción alimentaria mediante el incremento de los rendimientos agrícolas lo proporcionó el auge de la Química.

Finaliza esta segunda fase de la Revolución Industrial con las dos guerras más cruentas de las conocidas en la historia, la Primera y Segunda Guerra Mundial, conflagraciones originadas por las contradicciones que aparecen entre los primeros países que acceden al desarrollo del capitalismo industrial – financiero y los que llegan tardíamente, así como las que se originan entre el naciente socialismo (URSS) y el capitalismo internacional, que se añade como causa de la segunda. Debe ser apreciado que el concepto de acceder al desarrollo está íntimamente ligado a la implantación de los logros de estas sucesivas revoluciones científico – tecnológicas.

La Tercera Revolución Industrial comienza una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, promovida por el auge económico de la postguerra y en especial de los EE UU, nación que salió del conflicto bélico como el acreedor del mundo, y su desarrollo llega hasta hoy (Hernández y Coello, 2007: 14). Aprecian estos autores que es característico de esta fase un incremento notable del personal dedicado a la ciencia y la innovación tecnológica, el cual es seleccionado a partir de matrículas masivas en las universidades, sobre todo en el mundo rico, así como el surgimiento y desarrollo de nuevas y variadas ramas de tecnologías, tales son los casos de la Electrónica sobre la base de los semiconductores, la Electrónica Digital, la Informática, la Cosmonáutica, las Telecomunicaciones, la Bioingeniería, la Nanotecnología, la Robótica, así como múltiples ciencias relacionadas con la búsqueda de nuevos materiales.

En la tercera fase de la Revolución Industrial es característico el cambio constante y avance rápido del conocimiento, lo que exige la reactualización cognitiva en el personal dedicado a la investigación y la docencia universitaria, por lo que la superación posgraduada y la capacitación de los recursos humanos aparecen como un problema de actualidad. Además, se manifiesta en ella el hecho de que determinadas tecnologías desarrolladas para un amplio mercado se vuelven obsoletas en apenas una década y son sustituidas masivamente por otras, que a la vez envejecen en tiempo breve, y ello obliga a la recalificación o capacitación sistemática del personal que trabaja en la producción o los servicios de ese tipo de ramas industriales.

Otro problema que se manifiesta en esta tercera etapa de la Revolución Industrial es que con una falta total de escrúpulos, los fabricantes y propugnadores de la economía mercantil programan la obsolescencia del equipamiento y las tecnologías puestas a venta, con el único fin de vender más, y por tanto, potenciar el mercado a todo coste. La fabricación de los productos desechables para la venta hace crecer de forma exponencial el área dedicada a basureros en el mundo.

Una acelerada industrialización conjuntamente con una elevada demanda de recursos materiales, energéticos y alimentarios, el gigantismo de las ciudades, la masividad del automovilismo, la extensión de las fronteras agrícolas a expensas de la reducción de las zonas boscosas, que son hechos típicos de esta tercera fase de la Revolución Industrial, han provocado un impacto ambiental de consecuencias traumáticas para el hombre como especie que la ha impulsado, y en medio de ella se ha acentuado la falta de equidad entre los seres humanos y las naciones, así como la exclusión social.

Graves males ha causado el capitalismo al binomio naturaleza - sociedad en esta tercera fase de la Revolución Industrial, pero el más grave de todos, y que se incrementa a medida que transcurre la etapa, es que los centros del capitalismo mundial, gobernados por oligarquías bancarias de carácter parasitario y dedicadas en lo fundamental a la especulación financiera, manifiestan una extrema agresividad hacia las naciones periféricas preferentemente ricas en recursos energéticos, o bien hacia aquellos países dirigidos por vanguardias políticas que no se les subordinan. Para ejecutar sus políticas agresivas estas potencias imperialistas disponen además del poder económico que le dan sus riquezas, el control de instituciones financieras como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional a los cuales utilizan como armas de presión y chantaje, así como el político que les brindan organismos internacionales que controlan, como la Organización de Naciones Unidas (ONU), o bien del militar representado por instituciones militares agresivas como la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN).

Al finalizar el siglo XX se desarrolla una expansión capitalista que globaliza todo el sistema de producción, mercado y consumo. Este proceso de globalización, guiado por una corriente política neoliberal asentada en los principales centros del capitalismo mundial, promueve el libre mercado, busca el aumento de la productividad sin medir consecuencias y las ventajas que potencien la masificación del consumo, mientras obvian satisfacer las verdaderas necesidades, eliminar las desigualdades y favorecer el bienestar social (Jiménez, 2002: 34), lo que es incompatible con el desarrollo sostenible.

El acelerado progreso tecnológico generado por la humanidad en el siglo XX, o más exactamente por los países industrializados, incrementó el desarrollo de una capacidad tal de transformar energía y materiales que se acercó al valor límite posible del planeta Tierra como fuente de recursos y como consecuencia de ello, creció en tal magnitud la generación de desechos sustanciales y energía degradada que en algunos ecosistemas se aproximó a las posibilidades como sumideros de desechos y en otros los superó.

En el alcanzar el límite crítico de la naturaleza planetaria como fuente de recursos y sumidero de desechos está la esencia de la crisis de sostenibilidad ambiental del desarrollo. Los científicos de las ciencias de la Tierra promovieron en la década de 1980 la discusión sobre las dimensiones humanas del cambio global, y estos llegaron a la conclusión de que un entendimiento pleno del funcionamiento de este sólo podía ser alcanzado desde el análisis de las actividades humanas, a las que consideraban causales directas o indirectas de dicho cambio (Hidalgo y Natenzon, 2014: 135).

Con la crisis de sostenibilidad ambiental vienen las crisis económica y social, pues se encarecen los recursos materiales y energéticos, se reducen las tierras de cultivos y hasta una sustancia tan creíblemente abundante hasta algo más del comienzo de la segunda mitad del siglo XX como el agua dulce, hoy se aprecia como tendiente a una escases relativa y absoluta para un futuro cercano. Pero además, cuando en una forma extrema crece la concentración de la propiedad privada, la acumulación de riqueza y el mercado como potenciador de la marginación social, se agravan los problemas ambientales, sociales, económicos, energéticos y financieros.

Un resultado final de esta tercera fase de la Revolución Industrial es que el progreso, concebido en función del capitalismo, ha conducido a la humanidad a la insostenibilidad de sus modelos de vida, y de aquí surge la idea de buscar la sostenibilidad del desarrollo, paradigma que sustenta la aspiración de hacer compatibles el progreso social y la preservación ambiental mediante la búsqueda de vías alternativas. Tal concepción se corresponde con la cualidad deseable y posible

de un nuevo tipo de desarrollo, compatible con la justicia moral y la conservación física del entorno (González y Menéndez, 2008: 48).

Se aprecia, que el surgimiento de la concepción de sostenibilidad del desarrollo es una respuesta a una necesidad histórica, la de dar solución a la crisis por la insostenibilidad económica, social y ambiental planteada a la humanidad en su fase más avanzada de evolución capitalista en las décadas finales del siglo XX, y que se prolongará a lo largo del siglo XXI mientras sean la propiedad privada, el libre mercado, la desprotección social y un progreso tecnológico con un potencial ilimitado de transformar materiales y energía, las características más típicas de estas sociedades. Una forma de examinar el problema de la insostenibilidad de los modelos de desarrollo contemporáneos es estudiarlos desde la óptica de la interacción sociedad – naturaleza.

### **3. LA INTERACCIÓN SOCIEDAD – NATURALEZA**

Aspecto esencial de la industrialización en sus distintas fases es la agudización de las contradicciones en la interacción sociedad – naturaleza y en particular la del hombre con su entorno natural. En la última etapa alcanzada por el desarrollo capitalista estas han llegado a un límite crítico, que impone la búsqueda de vías alternativas de desarrollo para llevar estas contradicciones a otro plano.

Para G. Foladori son relaciones técnicas las que sostiene el ser humano con el mundo abiótico y con los seres vivos, mientras las que mantiene con sus congéneres son de tipo social. Ese tipo de relaciones se dan mediante el proceso productivo y con el propósito de generar productos útiles a sus necesidades y, es de aclarar que estas pueden extenderse hasta las personas (Foladori, 2001: 73). En las relaciones técnicas de los seres humanos con la naturaleza está el punto de partida de la crisis ambiental en la que entró la humanidad en los finales del siglo XX, y ellas contienen todos los saberes sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad aplicables a la interacción hombre – naturaleza y hombre – sociedad.

Con la Revolución Industrial surge la tecnología como expresión del desarrollo social, orientada esta hacia el aprovechamiento de los recursos materiales y portadores energéticos tomados de la naturaleza a los cuales transforma en función de los intereses de quienes la utilizan, mientras devuelve al medio ambiente sustancias o materiales desechables y energía degradada. Media la tecnología en la interacción sociedad – naturaleza, y esta puede ser definida como,

“(…) la intermediaria, la mediadora, mediante la cual, los seres humanos utilizan, modifican y transforman la naturaleza, estableciéndose, gracias a la interferencia tecnológica los flujos de energía, materia e información necesarias para la supervivencia y el funcionamiento de los sistemas ambientales naturales y sociales” (Mateo, 2008: 291).

Semejante definición tiene un enfoque termodinámico para la explicación de la interacción de sistemas sociales con sistemas ambientales, pues el social se examina respecto a lo ambiental como un sistema termodinámico abierto, con el cual intercambia energía, sustancias y entropía – información.

Coevolucionan tecnología y sociedad y aunque la primera surge de la segunda, ella como sistema adquiere cierta autonomía (autopoiesis) que la hace independiente de la sociedad y, una vez generalizada se convierte en condicionante del proceso evolutivo social (Foladori e Invernizzi, 2005). Por otra parte, manifiesta el desarrollo tecnológico lo que la teoría crítica de la tecnología de Feenberg llama

ambivalencia, pues "(...) los artefactos y sistemas tecnológicos, pueden ser diseñados tanto para sostener y reproducir el orden social existente como para subvertirlo y encaminarlo hacia otro rumbo" (Giuliano, 2013: 69, apud Feenberg, 1999: 76). De esta caracterización de la tecnología se considera que en el plano ideológico esta refleja las relaciones sociales que la originan, así como de su carencia de neutralidad.

En el empleo de la tecnología debe tenerse presente que todo sistema biofísico, tecnológico o social en su interacción con el medio ambiente intercambia sustancias y energía con los ecosistemas que componen la biosfera, de acuerdo con las Leyes de la Termodinámica. Ello se hace con la consecuencia del crecimiento de la entropía o el desorden del sistema envoltura, medio ambiente o alrededores, debido a la aparición de la energía degradada, por lo que un sistema ambiental alterado por una perturbación, la cual puede ser de origen antrópico, jamás volverá al estado inicial una vez que cese esta, ya que estos procesos en el sentido termodinámico estricto son irreversibles.

"(...) El medio ambiente como todo sistema abierto evoluciona, por lo cual, cuando se habla de equilibrio dinámico en los ecosistemas de la biosfera una vez producida una alteración de carácter antropogénico, está presente una falacia. La ciencia de la resiliencia (o capacidad de recuperación) es fundamental para comprender el futuro del planeta, y durante décadas el mensaje que la sociedad tomó de la Ecología fue que los ecosistemas eran homeostáticos, pues se restablecía el equilibrio dinámico en ellos una vez que se hubiese eliminado el factor de tensión" (Adams, 2006: 10).

Los problemas de la ruptura del equilibrio sociedad – naturaleza a escala global afloran al llegar la humanidad en su evolución a la tercera fase de la Revolución Industrial, pero se agudizan con la introducción de modelos económicos neoliberales, los cuales propugnan la conducción social por los intereses del mercado. El neoliberalismo promueve la puesta en práctica de paradigmas de desarrollo que buscan un crecimiento económico continuo e infinito, por lo que se llega a un nivel de demanda, producción y consumo de alimentos, recursos materiales y portadores energéticos tan grande que se impone poner "*límites al crecimiento*"<sup>1</sup>, por dos razones fundamentales:

1. La cantidad de recursos que puede ofrecer la Tierra en la forma de materiales, portadores energéticos y alimentos tiene sus límites.
2. El consumo y la producción de materiales, recursos energéticos y alimentos genera contaminantes, en forma de sustancias de desechos y energía degradada, y la biosfera como sistema tiene sus límites de asimilación.

Estas dos razones se manifiestan como contradicciones que frenan la sostenibilidad del desarrollo, pues la primera pone en evidencia las limitaciones del planeta como fuente de recursos, mientras que la segunda expresa el problema de la contaminación ambiental, entendida esta como el proceso de modificación de las propiedades físico – químicas y de las estructuras biosistémicas de un entorno provocada por acciones intrusivas, vertimientos y emisiones. Ella puede tener

---

<sup>1</sup> Un grupo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology, bajo la dirección del profesor Dennis L. Meadows, por encargo del Club de Roma realizó un estudio sobre las tendencias y los problemas económicos que amenazaban a la sociedad global. Los resultados fueron publicados en marzo de 1972 bajo el título "Los Límites del Crecimiento". Nota del autor.

causas naturales como vulcanismo, maremotos, tormentas atmosféricas, impactos de meteoritos u otras, pero al ambientalismo contemporáneo le interesan básicamente las de carácter antropogénico, cuyas fuentes están en los procesos industriales, agrícolas, residenciales y de servicios.

Aunque los sistemas no sean homeostáticos y los procesos derivados de la interacción sociedad – naturaleza sean irreversibles, se demanda el restablecimiento del “equilibrio” sociedad – naturaleza como una forma de hacer perdurables a los ecosistemas, o sea, no alterar el tiempo de vida de estos, pues la intromisión humana acelera en ellos los procesos de transferencia energética, sustancial, de crecimiento entrópico y disminución de información y en general los evolutivos.

No alterar la rapidez de crecimiento entrópico y por tanto de los cambios evolutivos de los ecosistemas terrestres, exige un cambio de mentalidad y por tanto de concepción de todos los seres humanos en cuanto a consumo, progreso y cuidado ambiental, por lo que se necesita un desarrollo económico y social que además de equitativo y justo, contenga un límite para la rapidez del aumento de entropía, en la que se demarquen las cantidades máximas de materiales y energía para consumir en los procesos productivos o de desechos sustanciales vertidos y energía degradada emitida al medio ambiente, de forma tal que las propiedades básicas de este último no se degraden.

#### **4. LAS LEYES DE LA TERMODINÁMICA PARA EL OBJETO SOCIEDAD**

Existe la sociedad como sistema dentro de otro ente sistémico, que es la naturaleza, y entre ambos se verifica un intercambio de sustancias o materiales, portadores energéticos o energía y entropía – información, lo que le da carácter termodinámico y cibernético a este comportamiento. En esencia, todo modelo social funciona sostenido por un modelo energético, que no es más que el sistema termodinámico que le sirve de sustentación.

A todo sistema termodinámico en su evolución lo caracteriza el intercambio sustancial, energético y entrópico – informático con el medio ambiente o alrededores y el funcionamiento de estos está regido por leyes naturales, conocidas como “Leyes de la Termodinámica”. Interesa en este análisis, la primera y segunda “Ley”, referidas estas a la conservación de la energía en las transferencias energéticas en el primer caso y a la dirección en que ocurren los procesos transformativos de energía en el segundo.

Se refiere la primera Ley de la Termodinámica a la conservación de la energía en los procesos de transferencia energética en un sistema termodinámico, por ejemplo de trabajo en calor y viceversa. Las sustancias que componen los cuerpos están constituidas por moléculas, que es la menor estructura que conserva sus propiedades químicas. El movimiento molecular se manifiesta como térmico y su intensidad refleja la medida de la temperatura, mientras que la transferencia de energía que provoca la variación del movimiento térmico y de la interacción molecular, así como la expansión o contracción del sistema termodinámico se denomina calor. La medida de la energía del movimiento térmico más la de interacción molecular es la energía interna de la sustancia – sistema.

Ahora bien, los procesos de transferencia energética en la naturaleza tienen una dirección privilegiada, puesto que lo hacen preferentemente en el sentido que aumenta el desorden (aumento de la entropía), hecho que tiene categoría de ley física y se denomina Segunda Ley de la Termodinámica. La energía que pasa al medio ambiente en cualquier proceso de transformación energética ideado por el

hombre se desvaloriza, porque no puede ser reutilizada, ya que el principio citado lo "prohíbe", o más exactamente, resulta muy poco probable vista la magnitud entropía como la medida de la probabilidad termodinámica de estado.

De acuerdo con la Segunda Ley de la Termodinámica, las máquinas térmicas que trabajan cíclicamente después de absorber calor de un foco caliente para convertirlo en trabajo, deben ceder parte de este al foco frío (que por lo general es el entorno ambiental integrante de la biosfera) para retornar a su estado inicial (Enunciado de Kelvin). Este principio para las máquinas frigoríficas establece que para absorber calor de un foco frío enfriándolo aun más y transferirlo a un foco caliente, debe ser realizado trabajo sobre ellas (Enunciado de Clausius). El foco caliente en el cual se disipa el calor extraído del foco frío más el trabajo aportado es por lo general el medio ambiente circundante. Por lo que el efecto energético final de todo el sistema termodinámico - social es disipar energía degradada en forma de calor en la biosfera.

Pero para los sistemas termodinámicos abiertos - disipativos que sustentan la evolución biológica o la social, se encuentran los procesos de auto organización, en los que realmente la entropía del sistema disminuye y aumenta la información posible que puede ser obtenida. Se está aquí en presencia de la Termodinámica de los sistemas en no equilibrio, pero que acompañan su auto organización, disminución entrópica y crecimiento informático, con el aumento del desorden, el crecimiento entrópico y la disminución de la información en el sistema medio ambiente, envoltura o alrededores (biosfera) en una forma no compensada.

Los sistemas energéticos ligados a los modelos sociales evolucionan con estos y puede afirmarse que a todo sistema social que existe, o que haya existido en la historia de la humanidad le corresponde un modelo energético. Esta relación que se establece revela que la evolución histórica de la humanidad se logra explicar desde el análisis de los energéticos usados y su tecnología, tesis básica de la teoría antropológica de Leslie A. White, "Evolución Cultural y Energía a través de la Tecnología" (White, 2005: 352). La historia de la cultura está intrínsecamente ligada al empleo de técnicas y tecnologías energéticas por el ser humano.

En los sistemas termodinámicos abiertos o disipativos, que en esencia son todos los existentes, los procesos que ocurren son irreversibles y por tanto con un crecimiento de la entropía del sistema envoltura, lo que significa un aumento del desorden y la complejidad del objeto que se identifica como medio ambiente. Los sistemas ambientales, sociales y económicos, así como los energéticos que los sustentan, al ser abiertos son por excelencia disipativos, adaptativos e intercambiadores de entropía e información.

Todo sistema ecológico, social o económico, tiene asociado un modelo energético, el cual es en esencia el sistema termodinámico que lo sostiene, y el mismo funciona sobre la base del consumo de sustancias y energía, que son transformadas en función de la pervivencia de este. El sistema termodinámico que sirve de sustento al objeto físico o proceso, sistema natural, social o económico, transforma las sustancias en energía y desechos sustanciales más energía degradada, los cuales disipa al medio ambiente, mientras la energía tomada la convierte de un tipo en otro. Esta transformación de sustancias y energía es lo que permite a los sistemas transformativos energéticos, desarrollarse y mantenerse o perdurar por cierto tiempo.

Los sistemas socioproductivos, vistos como termodinámicos, disipan las sustancias transformadas y convertidas en residuos o desechos sustanciales, así como la energía térmica degradada en el medio ambiente, lo cual provoca el crecimiento de la entropía de este último, y es ello lo que básicamente puede ser identificado como contaminación ambiental de origen antrópico, fenómeno al que

está asociado la transformación de los sistemas ambientales y el paso de estos a estados de mayor desorden o más elevado valor entrópico.

## 5. LIMITACIONES DE LA CONCEPCIÓN DE SOSTENIBILIDAD

Pueden ser agrupados los modelos relativos a la concepción de sostenibilidad en tres tipos; los normativos, los analíticos y los sistémicos, clasificación que parte de los fundamentos científicos tomados como puntos de partida para cada caso. El carácter normativo del concepto desarrollo sostenible dado por el Informe Brundtland, facilita la operatividad en lo referente a la búsqueda de consenso y conciliación de intereses de grupos político – económicos interesados en el problema, pero sin lugar a dudas esta definición examinada desde las Ciencias Naturales y el principio causa – efecto, así como desde la Teoría General de Sistemas (TGS) y la Termodinámica, tiene serias limitaciones.

Para explicar la interacción hombre – naturaleza y en especial su evolución histórica, presenta serias insuficiencias una concepción de sostenibilidad emanada del concepto de desarrollo sostenible dado por el informe Brundtland, como *“(...) el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*<sup>2</sup>. Puede ser apreciado de acuerdo con J. Kammerbauer que:

“(...) El concepto de la sostenibilidad es consecuentemente de carácter político – normativo. Básicamente incorpora una preocupación ética sobre la necesidad de mantener una infraestructura ecológica para las generaciones futuras”. Luego, (...) el progreso tecnológico debe orientarse a los principios ecológicos (Kammerbauer, 2001: 357).

Las inconsistencias de la concepción de sostenibilidad derivadas de los modelos normativos, radican en la ambigüedad interpretativa presente en el concepto de desarrollo sostenible dado por la Comisión Brundtland, hecho que permite su adaptación a los diferentes intereses de los diversos grupos ideológicos, pues se ha buscado en el, por consensuación, una conciliación de objetivos y metas para los diferentes actores políticos y económicos, de acuerdo con O. Boiral (2006) y C. Velayos (2008: 14).

Los modelos analíticos para la sostenibilidad ambiental consideran a los sistemas ecológicos como los proveedores de los recursos materiales para los procesos productivos y el sumidero para la asimilación de los desechos de la producción y del consumo, regida esta interacción por el paradigma del uso racional de los recursos naturales y el principio causa efecto de las ciencias de la naturaleza. La limitación principal para este tipo de modelos se encuentra en la complejidad de los sistemas de relaciones que se dan en la biosfera. Una tercera vía está en los paradigmas sistémicos.

Es la TGS una poderosa herramienta para la comprensión de la estructura y funcionamiento de los entes sistémicos, y de las ideas iniciales de L. Bertalanffy se tiene que un sistema es un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas, por lo que de ello se deducen dos conceptos esenciales, el de propósito u objetivo y el de totalidad, que son a la vez propiedades de las cuales derivan las otras características sistémicas, como la homeostasis, que refleja el equilibrio dinámico

---

<sup>2</sup> Informe Brundtland. Libro “Nuestro Futuro Común”. Fue el primer intento de resolver la contradicción entre desarrollo y conservación ambiental. Presentado en 1987 por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, encabezada por la noruega Dra. Harlen Brundtland.

<http://desarrollosostenible.wordpress.com/2006/09/27/informe-brundtland/>

entre los diversos componentes del sistema, o bien, su tendencia a adaptarse con el fin de alcanzar un equilibrio interno ante los cambios externos.

Se acepta el precepto de que las alteraciones en el medio exterior o alrededores provocan cambios en el objeto sistémico, interacción que se verifica mediante el intercambio de energía, sustancias y entropía - información a través de la frontera, la cual expresa los límites del sistema en el contexto del medio ambiente o alrededores. Por autopoiesis, que es otra importante propiedad sistémica se entiende la independencia que adquiere un sistema una vez instaurado, incluso hasta los que son resultados de constructos humanos.

Superan las limitaciones teóricas contenidas en la concepción de sostenibilidad dada por el informe Brundtland el aceptar a esta como una propiedad típica de los sistemas, pues estos, expresados en objetos físicos, ya sea como estructuras o por procesos de desarrollo, existen sobre la base de dos tendencias contradictorias puramente dialécticas que se manifiestan en su movimiento interno, y que son el cambio constante y la preservación o conservación. Preservarse en el tiempo sobre la base de transformar energía y sustancias, expresa la vida o existencia de cualquier sistema dado como objeto físico, estructura o proceso natural, social o económico.

En los procesos de desarrollo los cambios o transformaciones tienen carácter dialéctico y son precisamente los tránsitos de lo uno en lo otro los que median la identidad de los contrarios en las interacciones dialécticamente contradictorias. De la dialéctica se tiene que *"(...) sin mediación no hay movimiento, en otras palabras no hay tránsito de lo uno en lo otro"* (Orudzhev, 1978: 180), que en este caso son las del cambio y la preservación, categorías presentes en toda estructura o proceso de desarrollo, por lo que todo sistema transformativo energético existe sobre la base de esta contradicción.

Los sistemas que transforman energía y materiales, sean humanos de tipo productivo o de servicios, biológicos o sociológicos, desde la concepción energética (visión termodinámica) puede ser examinados como entes que toman del medio ambiente energía y sustancias o materiales, los cuales transforman, y devuelven a este como sustancias degradadas y energía desvalorizada, por lo que el resultado final es el aumento de la entropía del conjunto sistema - medio ambiente y la disminución de la información.

Un sistema transformativo energético es un objeto físico complejo (estructura o proceso), que manifiesta determinadas propiedades y desde los paradigmas: termodinámico, sistémico y dialéctico las más generales pueden ser establecidas así:

- El cambio, que se manifiesta en la transformatividad del sistema, lo cual es algo característico de los modelos energéticos, es incluso su esencia. Transformar energía y sustancias, o bien sustancias en energía y sustancias de desechos más energía degradada es la función de un sistema transformativo energético. Cuando deja de transformar energía y sustancias el sistema ya no existe como tal.
- La conservación, manifestada en la perdurabilidad del modelo o sistema transformativo energético en el tiempo. Estos bajo determinadas condiciones tienen una determinada perdurabilidad en el tiempo a pesar de las transformaciones sistemáticas de energía y sustancias que verifican. Determinan lo perdurable de un sistema, la cantidad de energía que dispone este para transformar y la rapidez de transformación energética (la transformatividad). El sistema colapsa o muere cuando la cantidad de energía transformada por unidad de tiempo se hace cero.

- Desde esta perspectiva sistémica, dialéctica y termodinámica, la sostenibilidad del sistema tiene una función mediadora entre la transformatividad como tendencia al cambio y la perdurabilidad como tendencia a la conservación. La sostenibilidad de un modelo o sistema transformativo energético es algo intrínseco a él, en su interacción con los agentes externos. La sostenibilidad en última instancia representa las propiedades restaurativas del modelo o sistema energético, es decir su homeostasis.

En esta relación que se establece para un sistema transformativo energético la transformatividad (cambio) y la perdurabilidad (conservación) representan los polos opuestos de una relación dialécticamente contradictoria, mediada por un eslabón, la sostenibilidad, de acuerdo con la concepción de la dialéctica de la mediación (Orudzhev, 1978: 180). Estos elementos contrapuestos dialécticamente representan las tendencias del sistema al cambio y a la conservación, las cuales están interrelacionadas por las propiedades restaurativas u homeostáticas, que representan en esencia a la sostenibilidad.

Se acepta entonces a la sostenibilidad de un sistema como una característica que expresa las propiedades restaurativas de este ante las transformaciones del medio exterior o alrededores, y la de un ecosistema puede ser definida como la propiedad restaurativa o recuperativa de este, o bien su homeostasis, ante las transformaciones de tipo ambiental, social y económica.

Pueden los sistemas transformativos energéticos ser estáticos o dinámicos. Los sistemas estáticos una vez establecidos conservan sus parámetros característicos en el tiempo, sin sufrir cambios apreciables, tal es el caso de un sistema productivo o de servicios de carácter tecnológico, mientras los dinámicos evolucionan con el tiempo al tender a un aumento de la complejidad, y en ellos se manifiesta el desarrollo, como ocurre en los biológicos, los sociológicos y en los energéticos que sirven de base a ambos, los cuales experimentan la auto organización. Estos últimos manifiestan a la vez de su función transformadora de energía y materiales un crecimiento en volumen y complejidad.

Finalidad de las ciencias ambientales y de la concepción de sostenibilidad en particular, es prefiar un límite entrópico para las transformaciones de sustancias y energía del sistema termodinámico que sustenta a las sociedades, pues el crecimiento de entropía de los diferentes ecosistemas, que sirven de medio ambiente social, puede conducir a estos al colapso por perder sus capacidades como fuentes de recursos y el de absorber energía degradada y sustancias de desechos, es decir sus propiedades restaurativas ante los cambios, y pasar a otro estadio no idóneo a la vida humana.

La tecnología en su desarrollo evolutivo conjunto e interactivo con la sociedad ha potenciado el crecimiento de la capacidad de transformación de energía y materiales, aspecto este último que ha determinado el avance social. Desde esta concepción de sostenibilidad corresponde al desarrollo tecnológico no el hacer crecer continua e ilimitadamente la capacidades de producción de materiales y energía, sino la utilización más racional de estos, con la creación de tecnologías sostenibles.

En el desarrollo de tecnologías sostenibles hoy se dan los primeros pasos, tales son los casos de las energías renovables, los ciclos energéticos combinados, el reciclado de materiales, las producciones más limpias, la purificación y limpieza de aguas residuales y de gases de combustión en industrias, la reforestación de terrenos dañados por erosión o usados en minería a cielo abierto, entre otros.

Demanda la concepción de sostenibilidad de un desarrollo económico con un límite entrópico, o sea, una economía que tenga presente las mediciones físico – energéticas desde una visión termodinámica, y esto es una economía ecológica, la cual en sus balances debe tener presente la naturaleza y dirección de los flujos energéticos así como la renovabilidad o no de los recursos materiales, según G. Foladori (2001: 137), una economía abierta en el ecosistema planetario Tierra, el cual es cerrado para los recursos materiales y abierto a los flujos energéticos del Sol.

Desde una concepción de sostenibilidad vista como la expresión de las capacidades auto restaurativas de los sistemas ecológicos, sociales y económicos ante todo tipo de transformaciones, se puede apreciar que la actuación del ser humano debe partir de ese conocimiento, lo que indica la presencia de la racionalidad humana en las manifestaciones del saber sobre lo sostenible, en el saber ser y estar por la sostenibilidad (valores, moral y ética) y en el saber hacer y actuar favorable a ella.

Está la sostenibilidad intrínsecamente ligada a la racionalidad humana y esta última debe apreciar que, el no sobrepasar los límites homeostáticos en los procesos de cambio o transformación, indicará el acercarse lo más posible a la perdurabilidad natural del ecosistema, es decir, a pesar de la intromisión humana con la tecnología preservar las propiedades que hacen sostenibles a estos entes sistémicos, ya sea como procesos o estructuras.

## **6. CONCLUSIONES**

Una intensificación acelerada de la interacción sociedad – naturaleza en la evolución de la humanidad ha provocado la aparición de una crisis de sostenibilidad del desarrollo en el plano ambiental, pues el avance tecnológico en su proceso evolutivo ha potenciado la capacidad humana de transformar energía y materiales en un grado tal, que sobrepasa los límites de la Tierra como fuente de recursos y sumidero de desechos.

No es sólo ambiental la crisis planteada a la humanidad en el enlace del segundo y tercer Milenio. Es social, económica, energética, financiera y en general de sostenibilidad del modelo civilizatorio prevaleciente, el cual se ha tornado insostenible en las dimensiones económica, social y ambiental.

Aunque la sostenibilidad es un problema cuya solución tiene una dimensión básicamente social, la tecnología es una importante variable que integra lo sociológico y por tanto es parte de la solución del problema de la sostenibilidad. El desarrollo de tecnologías sostenibles con el fin de transformar con racionalidad energía y materiales puede favorecer la sostenibilidad de los procesos socioproductivos.

Desde una perspectiva sistémica, termodinámica y dialéctica, puede ser expresada la sostenibilidad como la capacidad restaurativa de los sistemas ante las transformaciones ambientales, sociales y económicas. O sea, como la propiedad que media entre la transformación de energía y sustancias o materiales de un lado y la perdurabilidad del sistema del otro.

Busca la concepción de sostenibilidad que se propone la perdurabilidad de los ecosistemas, a pesar de las transformaciones de energía y materiales que se realicen, así como dar respuesta a la necesidad social de la preservación físico–química y biosistémica de los diferentes entornos ambientales.

Tiene presente la concepción de sostenibilidad propuesta, que la rapidez de crecimiento entrópico no vaya más allá de un valor que haga irreversible el proceso de cambio de los ecosistemas, y no pueda recuperarse el estado de "equilibrio" de estos, o con más precisión, que la intromisión humana con los procesos transformativos de materiales y energía no acelere de forma significativa el proceso evolutivo de los ecosistemas, y por tanto no se reduzca la perdurabilidad de estos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, W. (2006). "El Futuro de la Sostenibilidad: Repensando el Medio Ambiente y el Desarrollo en el Siglo Veintiuno". Reporte de la Reunión de Pensadores, Zurich, 29 - 31 January 2006. Disponible en, <http://www.iucn.org>. Consultado diciembre 18, 2008.
- BOIRAL, O. (2002): "Desarrollo sostenible y gestión medio ambiental, o el efecto Torre de Babel". Ensayo. Facultad de Ciencias de la Administración. Universidad de Laval. Disponible en, <http://www.infoweb2.unp.edu.ar/>. Consultado el 16 de mayo de 2011.
- FOLADORI, G. (2001). "Controversias sobre Sustentabilidad. La coevolución sociedad - naturaleza". Colección América Latina y el Nuevo Orden Mundial. México: Miguel Ángel Porrúa, UAZ, COBAEZ. Disponible en, <http://meme.phpwebhosting.com/~migracion/rimd/libros.php?> . Consultado el 31 de octubre de 2011.
- FOLADORI, G. e INVERNIZZI, N. (2005). "Cuando los Gnomos vienen marchando. Implicaciones de la nanobiotecnología". Revista *Theomai*. Nro. 12. Semestre II. Disponible en, <http://theomai.unq.edu.ar/>. Consultado el 31 de octubre de 2011.
- GIULIANO, H. G. (2013): "La teoría crítica de la tecnología: una aproximación desde la ingeniería", Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad - CTS, vol. 8, n° 24, pp. 65-76). Disponible en, <http://www.revistacts.net/index.php>. Consultado el 15 de febrero de 2014.
- GONZÁLEZ, M. y MENÉNDEZ, A. (2008): "Presentación. Ciencia, Tecnología y Sostenibilidad", Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS, vol. 4, n° 11, pp. 47-51. Disponible en, <http://www.revistacts.net/index.php>. Consultado el 15 de julio 15 de 2012.
- HERNÁNDEZ, R. A. y COELLO, S. (2007): "El desarrollo científico técnico y la sociedad basada en el conocimiento. Un enfoque social". Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria. 108 p. Disponible en, <http://site.ebrary.com/lib/vepingsp/home.action>. Consultado noviembre 9, 2010.
- HIDALGO, C. y NATENZON, N. (2014): "Apropiación social de la ciencia: toma de decisiones y provisión de servicios climáticos a sectores sensibles al clima en el sudeste de América del Sur". Revista CTS, n° 25, vol. 9, pp. 133-145. Disponible en, <http://www.revistacts.net/index.php>. Consultado el 20 de febrero de 2014.
- JIMÉNEZ, L. (2002): "Cooperación mundial para el desarrollo sostenible", Revista Española de Desarrollo y Cooperación, N° 9. pp. 9-47. Disponible en, <http://www.ucm.es/iudesarrolloycooperacion/revista-espanola-de-desarrollo-y-cooperacion>. Consultado el 15 de marzo de 2013.
- KAMMERBAUER, J. (2001). "Las dimensiones de la sostenibilidad: Fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos". Revista *Interciencia - INCI*, vol. 26, no. 8, p. 353 - 359. Disponible en la World Wide Web, <http://www.scielo.org.ve/scielo.php> Consultado el 27 Febrero de 2012
- MATEO, J. (2008): "Los caminos para el cambio. La incorporación de la sustentabilidad ambiental para el cambio. La incorporación de la sustentabilidad ambiental al proceso de desarrollo", La Habana, Editorial Universitaria. Disponible en, <http://bives.mes.edu.cu/>. Consultado el 6 de noviembre de 2011.

- ORUDZHEV, Z. M. (1978). "La dialéctica como sistema", La Habana, Editorial Ciencias Sociales.
- VELAYOS, C. (2008): "¿Qué sostenibilidad?: una lectura desde la Filosofía Práctica", Revista Papeles, No. 101, pp. 13-26. Disponible en, <http://www.fuhem.es/media/ecosocial/file/Sostenibilidad/Econom%C3%ADa%20ecol%C3%B3gica/>. Consultado el 4 junio de 2011.
- WHITE, L. (2005). "La energía y la evolución de la cultura", en: "Antropología. Lecturas", Paul Bohannman y Mark Glazer, pp. 349 – 368, La Habana, Editorial Félix Varela.