

MULTICIENCIAS, Vol. 12, N° Extraordinario, 2012 (94 - 99)
ISSN 1317-2255 / Dep. legal pp. 200002FA828

El desarrollo sostenible desde la termodinámica no lineal

Olga Bravo¹ y Lesbia Payares²

¹Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda" (UNEFM).

²Instituto de Tecnología "Alonso Gamero" (IUTAG)...

Coro, estado Falcón, Venezuela.

olgabravo10@gmail.com, lsbpayares@gmail.com

Resumen

Se aborda el desarrollo sostenible desde las *ciencias de la complejidad*, en particular, la termodinámica no lineal, mediante una investigación documental utilizando el razonamiento inferencial. Se discute una conceptualización a partir de tres planos entrelazados: triángulo dimensional, bucle de retroacción y co-evolución; según la cual, el desarrollo sería un proceso humano/espacio/temporal que se expresa en un bucle: *sociedad-cultura-naturaleza-economía*, alejado del equilibrio, por tanto inestable, donde las perturbaciones y fluctuaciones pueden ser amplificadas generando irreversibilidad, a través de cambios de estado hacia formas de complejidad creciente, evolución que no es espontánea sino que requiere de constantes esfuerzos por parte de la sociedad. Se concluye que estos procesos se encuentran fuertemente arraigados al capital social acumulado en el territorio, y pueden ser adaptativos, conservadores de la tradición sociocultural, pero también representar los cambios de orden social, cultural, institucional, socio-productivo y ecológico que permiten su sostenibilidad.

Palabras clave: desarrollo sostenible, no linealidad, complejidad.

Sustainable Development Seen from Non-Linear Thermodynamics

Abstract

This article approaches sustainable development from the science of complexity, especially, non-linear thermodynamics, using documentary research with the reasoning inferential. A conceptualization appears from three interlaced planes: the dimensional triangle, feedback loop and co-evolution. According to this, development would be a human, spatial and temporal process expressed in a loop: society-culture-nature-economy, far from balance, therefore unstable, where disturbances and fluctuations can be amplified generating irreversibility, through changes of state moving toward forms of increasing complexity, an evolution that is not spontaneous but rather requires constant effort by society. Conclusions are that these processes are strongly rooted in the social capital accumulated in the territory and they can be adaptive, conserving socio-cultural tradition, but also represent changes of a social, cultural, institutional, socio-productive and ecological order that permit sustainability.

Keywords: sustainable development, non-linearity, complexity.

Introducción

La investigación tuvo como propósito abordar el desarrollo sostenible desde la visión emergente de las *ciencias de la complejidad*, en particular, la termodinámica del no-equilibrio, formulada y desarrollada desde 1977 por Ilya Prigogine. Se trata de pensar el desarrollo como un “problema de frontera” que desafía la racionalidad de las diferentes disciplinas que lo asumen como campo de preocupación, en tanto sus principios de objetividad, linealidad, determinismo, atemporalidad, remiten a una epistemología fundada en la separación de sus principales dimensiones.

Maldonado (2005:3,4) indica que el término *ciencias de la complejidad* fue acuñado para el estudio de los fenómenos, comportamientos y sistemas “... que están marcados por inestabilidades, fluctuaciones, sinergia, emergencia, auto-organización, no-linealidad, bucles de retroalimentación positiva antes que de retroalimentación negativa, equilibrios dinámicos, rupturas de simetría, en fin, aquellos que se encuentran en el filo del caos”.

Esta definición comporta una nueva realidad: el universo de los sistemas (fenómenos y/o comportamientos) no-lineales, de complejidad creciente, en los cuales el tiempo es una variable que implica creación (auto-organización), en lugar de disipación (termodinámica clásica) y

en lugar de ilusión (como creía Einstein). Una realidad ya hacía tiempo percibida por las ciencias que reconocen la existencia de procesos evolutivos, en contradicción con la física tradicional que vinculaba conocimiento completo y certidumbre, el cual en ciertas condiciones garantizaban la previsibilidad del futuro y la posibilidad de retrocedir el pasado.

En este punto, si el desarrollo es un devenir de la acción humana, espacial y temporalmente circunscripta, resulta evidente su naturaleza esencialmente interactiva, cambiante y evolutiva, por lo que precisa ser abordado desde una epistemología que reconozca la intrínseca complejidad de los procesos que lo definen.

Metodología

Dado el carácter teórico-documental de la investigación se empleó el método de razonamiento inferencial (deductivo/inductivo, hermenéutico/heurístico), bajo una concepción de inter-subjetividad que permitió la descripción fenomenológica de los -problemas que ocupan a la termodinámica no lineal, para luego generar las analogías necesarias en la comprensión e interpretación del desarrollo sostenible. Así mismo, con el propósito de tender puentes entre esta nueva racionalidad y la racionalidad clásica, se estudiaron las conceptualizaciones sobre el desarrollo

formuladas por cuatro autores: Bossel (1999), Gallopín (2003, 2006), Boisier (2003, 2010) y Castellano (2005, 2011). En concordancia, se realizó un muestreo intencional del corpus documental y se usaron técnicas de análisis de contenido de tipo interpretativo, explicativo y crítico, así como, mapas conceptuales, para relacionar categorías tales como: desarrollo sostenible, subsistemas, equilibrio, inestabilidad, puntos de bifurcación, irreversibilidad, auto-organización.

Resultados y discusión

Los resultados de la investigación permiten delimitar dos ejes de discusión:

- Los constructos provenientes de la termodinámica no lineal, que pueden utilizarse en la comprensión e interpretación del desarrollo sostenible.
- Los puentes de interrelación, que pueden establecerse con la racionalidad provista por autores relevantes del tema del desarrollo.

Antes que nada, deben destacarse los estadios históricos de la termodinámica hasta su actual desarrollo como la primera de las *ciencias de la complejidad*. De acuerdo con Prigogine y Stengers (1983), el primero es el del equilibrio (termodinámica clásica) que considera sistemas aislados, donde las fuerzas generalizadas y los flujos termodinámicos que se producen se anulan, de modo que el equilibrio es un “atractor” estable en el cual la entropía (desorden) del sistema es máxima. El segundo es la termodinámica lineal, que estudia estados cercanos al equilibrio, donde los flujos son funciones lineales de las fuerzas, y el sistema

puede mantenerse con una mínima producción de entropía. El tercero es el de los sistemas alejados del equilibrio (termodinámica no lineal), que aborda sistemas esencialmente inestables, sin linealidad entre los flujos y las fuerzas, por lo que deben incrementar su complejidad para “exportar” entropía hacia el entorno.

Según Lombardi (2000), es a partir del concepto de estabilidad donde Prigogine encuentra la influencia decisiva de la no linealidad sobre el comportamiento de los sistemas dinámicos, es decir, un estado estacionario es estable cuando, ante perturbaciones externas o fluctuaciones derivadas de sus propias interacciones, el sistema tiende a volver a dicho estado; por el contrario, es inestable si ante las presiones se aleja rápidamente del estado original.

Como se muestra en la Figura 1, el concepto de estabilidad conlleva la consideración del desarrollo sostenible como un sistema dinámico no lineal, en razón del comportamiento complejo de los niveles: biológico (individuos), ecológico (ecosistemas) y social (sociedades humanas), que vienen a ser sus subsistemas mayores; en los cuales, según García y Fairen (1980), tanto los elementos de cada nivel de complejidad como los distintos niveles, están ligados entre sí por interacciones no lineales y, además, cada elemento constitutivo es de por sí un sistema abierto que está en relación permanente con su entorno. Ello significa un *continuum* interactivo entre las células, tejidos, órganos, procesos, organismos, poblaciones, comportamientos, comunidades, actividades y grupos sociales, que desde los diferentes subsistemas, en un momento y lugar determinados, contribuyen con la evolución de la sociedad.



Figura 1. Conceptos de la termodinámica no lineal en relación al desarrollo sostenible. Fuente: Elaboración propia.

El otro concepto es el de “punto de bifurcación”, un umbral crítico por debajo del cual la situación es similar al caso lineal, que permite amortiguar las perturbaciones y/o fluctuaciones, pero si se encuentra justo en ese punto se torna inestable, de modo que cualquier cambio se amplifica (“efecto mariposa”), conduciendo a alguno de los estados atractores posibles.

Esta distinción entre sistemas estables e inestables, permite a Prigogine demostrar que en presencia de alta inestabilidad, se manifiesta una aleatoriedad irreductible, la cual, a su vez, da lugar al carácter intrínsecamente irreversible de los procesos involucrados, es decir, se produce una ruptura de simetría temporal, que es concomitante con la auto-organización, la creación de “estructuras disipativas” (Maldonado, 2011). Con otras palabras, al no poder amortiguar el impacto de las presiones, los sistemas se desestabilizan, amplificando los efectos, de modo que una de las múltiples soluciones para sobrevivir es “exportar” entropía al entorno, mediante la generación de formas organizativas superiores.

Ahora bien, las conceptualizaciones del desarrollo propuestas por los autores estudiados arrojan cuatro líneas teóricas de argumentación:

- El desarrollo como proceso evolutivo societal, evaluando los subsistemas: humano, de soporte y natural (Bossel, 1999).
- La red socio-ecológica como objeto del desarrollo, evaluando las dimensiones: social, económica, institucional y ambiental (Gallopín; 2003, 2006).
- El desarrollo como proceso emergente, a partir de las interacciones sinápticas entre los subsistemas (Boisier; 2003, 2010).

- El capital social, como marco del desarrollo sostenible con riesgo mínimo, según el bucle: sociedad, cultura, naturaleza, economía (Castellano; 2005, 2011).

Se desprenden tres hipótesis. Primero, el desarrollo sostenible es un proceso fundamentalmente histórico, en el cual la irreversibilidad implica de hecho dependencia de la trayectoria, pero también dependencia del territorio. Segundo, se trata de la co-evolución de subsistemas complejos adaptativos, que implican una continua auto-organización, de la cual emergen nuevas estructuras, procesos y capacidades, que representan estadios mayores de complejidad. Y tercero, el capital social, ubicado en las redes de relaciones (Coleman, 1990; Putnam, 1993), viene a ser factor determinante de la evolución societal. Como se muestra en la Figura 2, la termodinámica no lineal permite enlazar estas hipótesis, en atención a tres planos sucesivos: (a) triángulo dimensional, (b) bucle de retroacción, (c) co-evolución.

El triángulo dimensional significa que el desarrollo es un proceso dinámico socio/territorial/histórico, en el cual la acción de los seres humanos se expresa en patrones heterogéneos de relaciones inter-subjetivas, axiológicas y subliminales, que median los intercambios de recursos e información entre los individuos, entre las organizaciones, y entre todos ellos con el sistema natural, por lo que constituyen un factor clave para la sustentabilidad y durabilidad del desarrollo.

La dimensión espacial representa al sistema territorial concreto donde tienen lugar los intercambios, siendo el soporte material para la supervivencia, mientras que la dimensión temporal alude al carácter histórico del desarrollo, porque aunque se construye en el presente y se proyecta

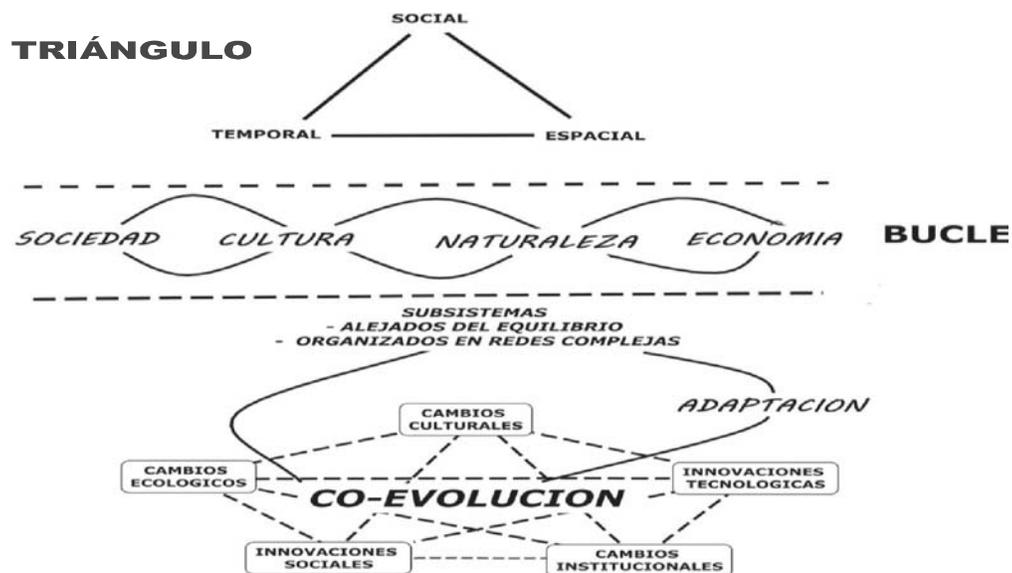


Figura 2. Desarrollo sostenible desde la termodinámica no lineal. Fuente: Elaboración propia

ta hacia el futuro, depende de tendencias o condicionantes del pasado, la mayoría irreversibles, requiriendo entonces de una intervención planificada que permita la detección de posibles puntos críticos capaces de redirigir y reorganizar los componentes del sistema, que en este caso es el desarrollo sostenible.

Todo ello se encuentra amalgamado en un bucle de retroacción: *sociedad-cultura-naturaleza-economía*, dependiente de un suministro constante de energía, materia e información, para contrarrestar la degradación del tiempo, donde cada subsistema es una red compleja que interactúa internamente, y con los demás subsistemas, de manera predominantemente no-lineal, mediante retroacciones que pueden ser positivas (efectos acumulativos) o negativas (efectos inhibitorios), resultando ya sea en crecimientos o decrecimientos exponenciales (reacciones en cadena), o en la corrección del efecto para mantener la estabilidad.

Para Walker *et al.* (2004), de este juego de interacciones resulta la resiliencia del sistema, su capacidad para experimentar cambios conservando esencialmente el mismo estado, es decir, manteniendo su propia identidad, así como también, deviene la adaptación, la supervivencia en el tiempo de la especie. En un sistema social, según Lozano (2008), la resiliencia supone que son las redes las que influyen en su capacidad de reorganización ante fuerzas externas sociales o ambientales. Puede plantearse, entonces, que es el capital social inserto en las redes complejas del territorio, las que condicionan la respuesta de una sociedad ante las inestabilidades.

Este “orden por fluctuaciones”, es un resultado singular que emerge de las continuas interacciones entre el azar y la necesidad, el azar y el determinismo, el orden y el caos, la vida y la muerte. Durante las cuales se generan impredecibles procesos evolutivos, más propiamente co-evolutivos, que pueden ser adaptativos, es decir, conservadores de la identidad o tradición sociocultural del territorio, pero también procesos de cambio en la organización social, la cultura, las instituciones, el orden socio-productivo y/o los ecosistemas. Estos cambios resultan inevitables –y absolutamente necesarios– para que la sociedad en cuestión pueda sobrevivir, mejor dicho trascender, en el actual marco globalizado e hiper-conectado.

Conclusiones

Desde la perspectiva de la termodinámica no lineal, el desarrollo consiste en procesos co-evolutivos, y por tanto irreversibles –fuertemente arraigados al capital social acumulado en el territorio– en los cuales las inestabilidades

producidas desde el sistema social –sus actividades socio-productivas– pueden ser absorbidas por el sistema natural, en la misma magnitud, esto es, no suponen un cambio de estado (estructural y funcional) que, a su vez, termine afectando negativamente la sustentabilidad y durabilidad del sistema social.

Referencias

- BOISIER, Sergio (2003). ¿Y si el desarrollo fuese una emergencia sistémica? **Reforma y Democracia**, N° 27, CLAD, Caracas.
- BOISIER, Sergio (2010). Descodificando el desarrollo del siglo XXI: subjetividad, complejidad, sinapsis, sinergia, recursividad, liderazgo, y anclaje territorial. **Semestre Económico**, Universidad de Medellín, 13 (27):11- 37, Medellín.
- BOSSEL, Hartmut (1999). **Indicators for sustainable development: Theory, method, applications. A Report to the Balaton Group**. International Institute for Sustainable Development (IISD), Winnipeg.
- CASTELLANO, Hercilio (2005). La planificación del desarrollo sostenible. Contenidos, entorno y método. Tesis de Grado, Centro de Estudios del Desarrollo, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- CASTELLANO, Hercilio (2011). La investigación social y la planificación del desarrollo en contextos complejos. *Conversatorio sobre Complejidad y Desarrollo*, febrero 2011, Universidad del Zulia, Núcleo Punto Fijo.
- COLEMAN, James (1990). **Foundations of Social Theory**. Harvard University Press, Cambridge.
- GALLOPÍN, Gilberto (2003). **Sostenibilidad y desarrollo sostenible: Un enfoque sistémico**. CEPAL Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 64, Santiago de Chile.
- GALLOPÍN, Gilberto (2006). **Los indicadores de desarrollo sostenible: Aspectos conceptuales y metodológicos**. Biblioteca Virtual-Ponencias FODEPAL, Santiago de Chile.
- GARCÍA, Manuel; FAIREN, Víctor (1980). Estructuras disipativas: Algunas nociones básicas. **El Basilisco**, 10:13. Disponible: www.fgbueno.es/bas/pdf/bas11002.pdf. Consulta: 04.04.12.
- LOMBARDI, Olimpia (2000). Prigogine y el azar de las bifurcaciones. **Revista de Filosofía**, Universidad de Costa Rica, 38 (94): 53-63, San José.
- LOZANO, Sergi (2008). Procesos sociales y desarrollo sostenible: Un ámbito de aplicación para el análisis de redes sociales complejas. **Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo**, Universitat Politècnica de Catalunya, 3: 59-157, Barcelona.
- MALDONADO, Carlos (2005). Ciencias de la complejidad: Ciencias de los cambios súbitos. **Odeon**, n° 2. Universidad Externado de Colombia. Disponible: <http://redalyc.uamex.mx>. Consulta: febrero 15, 2011.
- MALDONADO, Carlos (2011). **Termodinámica y complejidad. Una introducción para las ciencias sociales y humanas**. Ediciones Desde Abajo, Bogotá.

PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle (1983). **La nueva alianza**. Alianza, Madrid.

PUTNAM, Robert (1993). The prosperous community. **The American Prospect Online**, 4 (13). Disponible: <http://www.prospect.org/print/V4/13/putnam-r.html>. [Consulta: mayo 13, 2011].

WALKER, Brian; HOLLING, Crawford; CARPENTER, Stephen y KINZIG, Ann (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. **Ecology and Society**, 9(2): 5. [online]. Disponible: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>. [Consulta: mayo 10, 2010].