

09

Fecha de presentación: Junio, 2018

Fecha de aceptación: Julio, 2018

Fecha de publicación: Octubre, 2018

LA EMERGÍA

COMO INDICADOR DE ECONOMÍA ECOLÓGICA PARA MEDIR SUSTENTABILIDAD

THE EMERGY AS AN INDICATOR OF ECOLOGICAL ECONOMY TO MEASURE SUSTAINABILITY

MSc. Edelvy Bravo Amarante¹

E-mail: edelvy@uniss.edu.cu

Dr. C. Eduardo López Bastida²

E-mail: kuten@ucf.edu.cu

Dr. C. Osvaldo Romero Romero¹

E-mail: osvarom@uniss.edu.cu

Dr. Alberto E. Calvo.³

E-mail: aegcalvo@ceter.cujae.edu.cu

Dr. Ralf Kiran Schulz.⁴

E-mail: ralf-kiran.schulz@uni-kassel.de

¹ Universidad de Sancti Spíritus. Cuba.

² Universidad de Cienfuegos. Cuba.

³ Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" Cuba

⁴ Universidad de Kassel. Alemania.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Bravo Amarante, E., López Bastida, E., & Romero Romero, O. (2018). La emergía como indicador de economía ecológica para medir sustentabilidad. *Universidad y Sociedad*, 10(5), 78-84. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

RESUMEN

El método emergético, o de contabilidad energética, usa la base termodinámica de todas las formas de energía, recursos y servicios humanos, y los convierte en equivalentes de una forma de energía: la emergía solar. La Emergía, es definida como la energía útil de un determinado tipo que se ha usado directa o indirectamente en las transformaciones necesarias para generar un producto o servicio. Tiene en consideración, y de hecho mide, la calidad de las diferentes formas de energía como: la luz del sol, agua, combustibles fósiles, y minerales. El reconocimiento de esas diferencias son las bases teóricas de la metodología emergética las cuales encuentran en la termodinámica, la teoría general de sistema y la ecología de sistemas, sus bases conceptuales. El presente trabajo explica los conceptos, metodologías e indicadores más utilizados para determinar la sostenibilidad de productos, procesos y servicios a partir del método emergético, destacando sus ventajas y desventajas, así como, ejemplos de su aplicación.

Palabras clave: Emergía, economía ambiental, economía ecológica, índices de sostenibilidad.

ABSTRACT

The emergetic method, or energy accounting uses the thermodynamic basis of all forms of energy, resources and human services, and converts them into equivalents of a form of energy: the solar emergy. The emergy, is defined as the useful energy of a certain type that has been used directly or indirectly in the transformations, necessary to generate a product or service. It takes into account, and in fact measures, the quality of different forms of energy such as: sunlight, water, fossil fuels, and minerals. The recognition of these differences are the theoretical bases of the emergetic methodology which find in the thermodynamics, the general theory of system and the ecology of systems, their conceptual bases. This paper explains the concepts, methodologies and indicators most commonly used to determine the sustainability of products, processes and services based on the emerging method, highlighting their advantages and disadvantages, as well as examples of their application.

Keywords: Emergy, environmental economy, ecological economy, sustainability indexes.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es ya una realidad, cada año los informes de panel intergubernamental son más alarmantes sobre los impactos que sobre la humanidad se ciernen, dado en lo fundamental por el uso incontrolado de los bienes y servicios de la naturaleza. Los ecosistemas reciclan la energía y el material a través de una intrincada red de interacciones entre sus componentes. Los procesos que resultan de estas interacciones son únicos y definen las condiciones que apoyan la comunidad biótica del ecosistema e impulsan el cambio (Zarbá & Brown, 2015). A menudo las preguntas relacionadas con la política ambiental son difíciles de resolver con éxito, porque las soluciones robustas dependen de equilibrar con precisión las necesidades de los sistemas humanos y naturales. Las políticas de desarrollo deben considerar de forma común los efectos socioeconómicos y ambientales para que tanto las contribuciones del medio ambiente como las contribuciones de la economía al bienestar humano, sean valoradas de manera justa (Ores, 2016).

Disímiles esfuerzos se han hecho por buscar herramientas que puedan evaluar de forma objetiva e integral los posibles impactos de las actividades desarrolladas por el hombre y su interrelación con el medio donde las realiza. La evolución de las mismas, ha estado condicionada a la propia evolución de la concepción que el hombre ha adquirido de su modelo de desarrollo.

La *emergía* es una cantidad contable que tiene la propiedad de expresar todas las formas de energía, en términos de su capacidad equivalente de hacer el trabajo, utilizada para la obtención de un producto en un socio-ecosistema (SES) del que forma parte. La contabilidad ambiental utilizando la *emergía* ha demostrado ser un método que puede utilizarse para valorar objetivamente el trabajo del medio ambiente, la economía y la sociedad (Ores, 2016).

El presente trabajo pretende explicar los conceptos, metodologías e indicadores más utilizados para determinar la sostenibilidad de productos, procesos y servicios a partir del método *emergético*, destacando sus ventajas y desventajas, así como, ejemplos de su aplicación.

DESARROLLO

En la actualidad existe un creciente interés en reincorporar el papel de los ecosistemas a la toma de decisiones económicas, puesto que se considera que el divorcio entre el crecimiento, que ha sido el foco de debate dentro de la ciencia económica, y los ecosistemas, que son el objeto de la mayoría de los esfuerzos de conservación, es una de las causas primordiales de la pérdida de

biodiversidad que vivimos actualmente en el marco del cambio global

Por esta razón, la Economía y la Ecología deberían construir puentes conceptuales y metodológicos eficaces que permitan crear una visión compartida de una sociedad que busca mejorar su capital humano sin comprometer la salud de los sistemas naturales de los que forma parte y depende estrechamente (Álvarez, Lomas, Martín, Rodríguez & Montes, 2006). Las distintas propuestas que actualmente existen para abordar este reto se pueden analizar en base a un gradiente dialéctico en cuyos extremos se encontrarían los dos enfoques que han generado las dos grandes escuelas de pensamiento y actuación vigentes: la Economía Ambiental y la Economía Ecológica (Álvarez, et al., 2006).

El concepto de economía: Deriva del griego y significa “administración de una casa o familia”. Como ciencia, es la disciplina que estudia las relaciones de producción, intercambio, distribución y consumo de bienes y servicios, analizando el comportamiento humano y social en torno de éstas fases del proceso económico.

Economía ambiental: La Economía Ambiental se ha definido como la disciplina que pretende establecer las bases teóricas que permitan optimizar (en un enfoque multicriterio) el uso del ambiente y los recursos naturales (Romero, 1994). Por un lado, hay que entenderla como un avance de la Economía convencional (Figura 1) ya que, aunque los sistemas naturales son todavía considerados como un telón de fondo o contexto en donde se desarrollan los sistemas económicos, y fuente de recursos y sumidero de residuos, internaliza distintos factores y costes ambientales mediante múltiples herramientas promoviendo incentivos que potencian las medidas de reciclado, depuración y reducción del consumo.

El concepto de Ecología: No es más relación que se da entre los seres vivos de una zona determinada y el medio en el que viven.

La Economía ecológica a diferencia de la Economía Ambiental, presenta como mayor ventaja desde el enfoque de la *ecologización* de la economía, que considera que los servicios ambientales constituyen los flujos de energía, materia e información de los sistemas ecológicos que aprovecha el ser humano. De esta forma se aproxima a un concepto más sistémico de *recurso natural*, que defiende que los recursos no pueden considerarse de una manera aislada, sino dentro de la trama de interacciones biofísicas de un ecosistema. Por esta razón, si los recursos naturales no son más que los bienes y servicios que los seres humanos extraen o pueden extraer de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, es evidente

que sin un conocimiento profundo de estas unidades funcionales que conforman nuestro planeta no podremos elaborar modelos sólidos de sostenibilidad (Álvarez, et al., 2006).

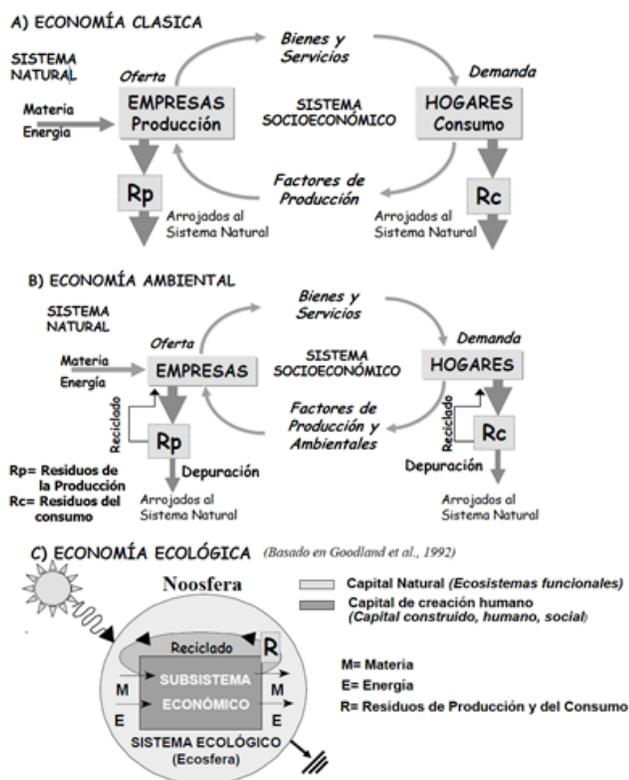


Figura 1. Visiones desde las distintas economías de las relaciones entre los sistemas naturales y económicos.

Fuente: Álvarez, et al. (2006).

De este análisis se arriba a otros conceptos también fundamentales para comprender la emergía como indicador de la economía ecológica para la medición de la sustentabilidad. **Ecosistema** es el sistema biológico constituido por una comunidad de seres vivos y el medio natural en que viven y las **funciones eco sistémicas** útiles para alguna actividad humana, se les conoce como **servicios de los ecosistemas**.

Uno de los desafíos actuales, en términos de manejo y estudio de los ecosistemas, es cuantificar la provisión de estos servicios. Una aproximación habitual desde la Economía Clásica, es usar valores monetarios para calcular el costo de reemplazo de los servicios provistos por cada sistema. Sin embargo, a menudo este enfoque económico de la valoración ambiental resulta insuficiente para predecir características eco sistémicas, tales como la estabilidad a largo plazo o la degradación de bienes naturales.

Una aproximación alternativa a la monetaria es la valoración física a través de la cuantificación de los flujos de energía en un sistema manejado. En este trabajo se presentan los fundamentos teóricos y algunos elementos operativos de la evaluación emergética de los ecosistemas, una de las alternativas para su valoración física.

Método de la contabilidad emergética. Calidad de energía.

Todos los procesos de auto-organización de sistemas (ej: ecosistemas) están regidos por la segunda ley de la termodinámica, pues la energía que pasa de un nivel inferior a otro superior de la auto-organización es menor en cada escalón, dado que no existe una eficiencia del cien por ciento en el proceso de transformación; pero la energía necesaria para la construcción de niveles más altos de la auto-organización es cada vez mayor conforme el sistema se hace más complejo, es decir, conforme avanza en la cadena de organización (Odum, Brown & Brandt-Williams, 2000). De esta manera, la energía se concentra a medida de que se avanza en los niveles de auto-organización como se muestra en la Figura 2.

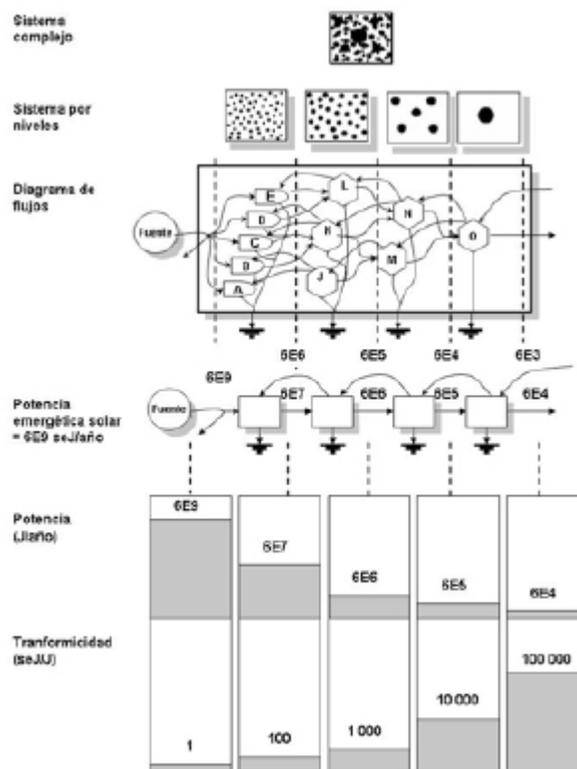


Figura 2. Diagrama energético de la jerarquía en la transformación de la energía. Fuente: Rydberg, et al. (2006).

Esta observación implica que 1 joule de energía solar, 1 joule de carbón o 1 joule de electricidad, aunque representan la misma **cantidad** de energía (1 joule), no

representan la misma **calidad**, en el sentido del potencial que tienen estos distintos tipos de fuentes energéticas para actuar sobre el conjunto del sistema, es decir, en la necesidad que tiene el sistema de recibir mayores o menores cantidades de energía menos concentrada para generar cada una de ellas (Lomas, Donato & Ulgiati, 2007). Se concluye entonces que existe una **jerarquía de energías** según su calidad o potencial para influir en el sistema, que va desde fuentes de energía poco concentradas (como el sol) hasta aquellas muy concentradas (como el petróleo) (Odum, et al., 2003; Enrico, et al., 2005).

La energía solar es seleccionada como la energía de referencia, pues en el análisis emergético se supone que ésta es la principal entrada de energía poco concentrada a la ecósfera. Por tanto, la transformidad tendría unidades de seJ/unidad de energía (joules equivalentes solares/unidad de energía).

Transformidad, emergía específica y jerarquía de energías

Por otro lado, la existencia de una jerarquía de energías, y la propia definición de emergía conduce a un problema práctico y a una cuestión teórica, que son, por una parte el problema de transformar las distintas calidades de energía o materia a la calidad de energía de referencia (que, como se ha dicho, suele ser la solar), y por otra la cuestión de qué posición en la jerarquía de las energías ocupa cada elemento, respectivamente. Para poder transformar las diferentes calidades de energía o materia usadas a una calidad de energía solar (o emergía), usaríamos un factor de equivalencia (UEV, en adelante), la **transformidad** (*transformity*) o la **emergía específica**, respectivamente, que nos informan de qué cantidad de energía con calidad equivalente a la solar es necesario para generar una unidad de energía o materia de mayor calidad (Odum, 1998). Por tanto, la transformidad tendría unidades de seJ/unidad de energía, y la emergía específica de seJ/unidad de masa. Esta cantidad también indicaría a qué nivel de la jerarquía de potencial de uso se encuentra el componente evaluado, es decir, qué cantidad de energía disipada es necesaria para generar una unidad de un determinado producto con una concentración mayor de energía.

Calcular de nuevo los factores de equivalencia o de transformidad es algo complicado, por lo que la mayoría de los investigadores que hacen uso de la emergía, toman estos factores de estudios anteriores donde especifiquen la elaboración concreta y los constituyentes a los que hace referencia. Empíricamente se ha comprobado que la magnitud de los factores de transformidad no varía

significativamente cuando se trata de sistemas similares (Lomas, et al., 2007; Odum, et al., 2003) recomiendan usar transformidades razonables ya calculadas que se encuentran en el apéndice C del libro "Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making" de Odum, 1996, siempre y cuando se hable de sistemas similares.

Emergía y sostenibilidad

Existe un creciente interés en reincorporar el papel de los ecosistemas a la toma de decisiones económicas, puesto que se considera que el divorcio entre el crecimiento, que ha sido el foco de debate dentro de la ciencia económica, y los ecosistemas, que son el objeto de la mayoría de los esfuerzos de conservación, es una de las causas primordiales de la pérdida de biodiversidad que vivimos actualmente en el marco del cambio global. El método emergético es una metodología que se inscribe en este intento, partiendo de una base ecológica y termodinámica (Lomas, et al., 2007).

El método emergético es una metodología con base ecológica y termodinámica, que permite incluir los flujos de materia y energía procedentes de la base biogeofísica de los SES dentro de la valoración de los costes ecológicos de la economía, complementando la escala de acción de otras metodologías tradicionalmente usadas con este objetivo, en un contexto multi-criterio de evaluación del uso del capital natural. Para que la síntesis emergética llegue a tener un papel dentro en la resolución de los problemas ligados a las relaciones ser humano-naturaleza, debe explotar estas propiedades dentro de este contexto multi-criterio (Lomas, et al., 2007).

Por su parte la sostenibilidad es un concepto polémico, pues se ha definido de maneras diferentes por muchas disciplinas. Sin embargo a partir de la época de los años 70 la palabra es utilizada para referirse a un manejo apropiado de los recursos naturales, de tal manera de permitir a las próximas generaciones el acceso a los recursos que se utilizan o no en la actualidad; esta definición fue la ilustración del Reporte de la Comisión Brundtland. Pero en Redcliff (1987); Sneddon, Howarth & Norgaard (2006), de acuerdo a su formación, desarrolla la idea que se requiere de un análisis de la interrelación del desarrollo y el medio ambiente. Debido a que la economía es un sistema abierto que disipa energía y materiales para mantenerse o crecer, su sostenibilidad depende de la disponibilidad de energías y materiales que consume (Lomas, et al., 2007).

Por lo tanto, un sistema es sostenible en la medida que las fuentes de energía que le aportan los flujos necesarios

para su permanencia perduren a través del tiempo (fuentes renovables), o bien, un sistema es sostenible si es capaz de adaptarse a las fuentes de energía disponibles y a reemplazar dichas fuentes de energía por otras en caso de que las fuentes originales de energía dejen de estar disponibles (Álvarez, et al., 2006; Dewulf, et al., 2008). Es así como la sostenibilidad de una economía, en términos energéticos, es una función de la dependencia de esta economía de energía renovable, el grado de cuanto depende la economía de la emergencia importada y la sobrecarga que la actividad económica genera en el ambiente (Lomas, et al., 2007; Lomas, 2009).

Abordados los aspectos anteriores sobre la relevancia de la emergencia para evaluar la sustentabilidad de SES, se puede concluir que la **El método emergético** (Odum, 1998) es una metodología útil para la evaluación de la sustentabilidad de los ecosistemas, y está basada en la comparación de flujos de energía, masa y dinero utilizados por un SES a través de la base común de la emergencia ligada a estos flujos. A diferencia de otros métodos tiene como objetivo el de estudiar la organización de sistemas termodinámicamente abiertos, es decir, que intercambian materia y energía con el ambiente externo (Franzese, et al., 2005; Franzese, Brown & Ulgiati, 2014), a través del uso de una perspectiva sistémica.

Índices emergéticos

Para lograr una integración de todas las relaciones hombre-naturaleza en un SES, el análisis emergético separa las entradas de fuentes renovables de las no renovables y de las entradas importadas al mismo. Estas distinciones hacen posible definir los **índices emergéticos**, que proveen las herramientas para la toma de decisiones de sustentabilidad, especialmente cuando se tratan diferentes alternativas (Lomas, 2009; Zhang et al., 2010; Brown, Raugei & Ulgiati, 2012). Todos estos indicadores que se describirán a continuación cubren todos los aspectos de la sostenibilidad.

ELR (del inglés: *Environmental Loading Ratio*): Es el índice de carga ambiental, hace referencia a la relación que hay entre las entradas de los recursos no renovables al sistema más los recursos importados sobre los recursos renovables

$$ELR = (N+F) / R \text{ Ec. 1.1}$$

Los valores bajos de ELR (2), indican que los procesos tienen un bajo impacto ambiental o cuentan con un área muy grande para diluir el impacto ambiental, cuando $ELR > 10$ hay una alta carga ambiental y cuando $3 < ELR < 10$ el impacto es considerado moderado.

EYR (del inglés: *Emergy Yield Ratio*): Es el índice de rendimiento emergético; indica la relación que hay entre la emergencia total del sistema sobre los recursos importados

$$EYR = (R+N+F) / F \text{ Ec. 1.2}$$

Este índice es usado para estimar la dependencia que tiene el proceso sobre los recursos importados o comprados y para mostrar la contribución del capital natural local en la economía de la región o el proceso.

ESI (del inglés: *Emergy Sustainable Indices*): Es el índice de sostenibilidad; indica la relación que hay entre el índice de rendimiento emergético y el índice de carga ambiental.

$$ESI = EYR / ELR \text{ Ec. 1.3}$$

Este índice refleja la capacidad que tiene un sistema para suministrar productos o servicios con un mínimo estrés ambiental y un máximo beneficio económico.

EIR (del inglés: *Emergy Investment Ratio*): Es el índice de inversión energética; es la relación que hay entre la entrada de los recursos importados al sistema sobre la suma de los recursos renovables y no renovables.

$$EIR = F / (R+N) \text{ Ec. 1.4}$$

T (del inglés: *Emergy Per Unite*): Indica la transformidad del producto o servicio final; es la relación que hay entre la emergencia sobre la energía total del producto o servicio producido.

$$T = (R+N+F) / E \text{ Ec. 1.5}$$

R (del inglés: *Renovation Ratio, %*): Es la relación que hay entre las entradas de las fuentes renovables al sistema sobre la emergencia total.

$$\%R = (R / (R+N+F)) \times 100 \text{ Ec. 1.6}$$

SEC (del inglés: *Soil Emergy Cost*): Indica el costo emergético del suelo; es la relación que hay entre las entradas no renovables al sistema sobre la emergencia total.

$$SEC = N / (R+N+F) \text{ Ec. 1.7}$$

EER (del inglés: *Emergy Exchange Ratio*): Es el índice de la tasa de cambio emergético; es calculado dividiendo el total de la emergencia del producto por la emergencia recibida de la venta.

$$EER = (R+N+F) / (\text{Precio del producto} \times \text{Emergy money ratio}) \text{ Ec. 1.8}$$

El "Emergy Money Ratio", conocido como relación emergencia-dinero o canje emergético, es la cantidad de emergencia que se puede comprar en un determinado país por una unidad de dinero (un dólar) en un año específico.

Dentro de las ventajas de la metodología está la posibilidad de crear cuantos indicadores sean necesarios para evaluar la relación hombre-naturaleza en un SES de acuerdo a los intereses de cada análisis en particular.

Ventajas y Desventajas del Método de La Contabilidad Emergética

En la Tabla 1 se muestran las principales ventajas y desventajas de la aplicación del método del análisis energético.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la aplicación del método del análisis energético.

Ventajas	Inconvenientes
Sólida base ecológica. Considera estructura, funcionamiento de cada tipo de ecosistema	Excluye aspectos sociales. Necesidad de complementar con otros métodos para no caer en el "reduccionismo energético"
Permite la interrelación de bases de datos que tradicionalmente se analizan de manera individual	Necesidad de una sólida y amplia base de datos de partida que no siempre está disponible
Consideración de las restricciones energéticas y termodinámicas de los sistemas. Aproximación desde la economía ecológica	Dificultad para incluir restricciones sociopolíticas de los sistemas. Aproximación egocéntrica
Consideración de distintos tipos de calidad energética	Necesidad de uso de factores de conversión (transformicidades)
Procedimiento estandarizado. Aplicación del método científico. Conceptualización del sistema en modelos de uso general	Incertidumbre en los cálculos de algunos factores de transformicidad
Trabajo multidisciplinar	Costo en tiempos y personal elevado
Conmensurabilidad de valores. Utilización de unidades comunes para evaluar componentes naturales y socioeconómicos	El concepto de valor no puede depender exclusivamente en la cantidad de energía necesaria para crear un determinado componente (hay que considerar otros factores como escases)

Gran potencialidad del método en comparación de alternativas y análisis a distintas escalas espacio- temporales

Necesidad de múltiples análisis previos para alcanzar una escala a gran detalle

Fuente: Lomas (2009).

Experiencias de la aplicación en Cuba

La aplicación de la metodología en Cuba ha sido muy limitada. En el año 2001 se reporta una evaluación emergética a las potencialidades del valle de Viñales para desarrollar el ecoturismo, el autor de este trabajo fue McLachlan-Karr y el propio desarrollador de la metodología Odum en el mismo se determinan indicadores para evaluar las perspectivas de desarrollo del turismo en la provincia de Pinar del Río. Como aporte importante esta la determinación de indicadores reportados por primera vez para Cuba como es el (Emergy/Money ratio) con valores 4.3 E12 emjoles muy superiores a los reportados para Europa. Otro reporte fue el trabajo desarrollado por los autores Calvo, Medina, González & Benítez sobre la combinación de los métodos de análisis exergético y el emergético en la industria azucarera de la caña. En este caso se analiza una fábrica de azúcar de 7 000 t / día de capacidad de capacidad de molida, con una nueva tecnología que disminuye el consumo de energía en el proceso de cristalización de azúcar crudo demostrando que la combinación de ambos métodos (el de emergía y de exergía) produce una excelente herramienta de análisis.

CONCLUSIONES

El presente trabajo demuestra que existe un creciente interés en desarrollar metodologías que permitan incorporar a los análisis de sustentabilidad de cualquier socioecosistema (SES) los aportes que hace la naturaleza y su durabilidad a mediano y largo plazo así como el efecto de sus residuos. En este aspecto se describe a la emergía como uno de los métodos que permite contabilizar e interpretar los efectos de los flujos de materiales y energía de forma integradora en sistemas donde interactúan el ser humano y la naturaleza a todas las escalas. Este es un enfoque diferente al de las metodologías precedentes, donde predomina la valorización monetaria de las relaciones del ser humano y la naturaleza. El reconocimiento de esas diferencias son las bases teóricas de la metodología de la emergía las cuales a diferencia de otras metodologías encuentran en la termodinámica, en la teoría general de sistema y en la ecología de sistemas sus bases conceptuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, S., Lomas, P., Martín, B., Rodríguez, M., & Montes, C. (2006). La síntesis emergética ("emergy synthesis"). Integrando energía, ecología y economía. Laboratorio de Socio-ecosistemas. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Brown, M.T., Raugai, M., & Ulgiati, S. (2012). On boundaries and investments in Emergy Synthesis and LCA: A case study on thermal vs. photovoltaic electricity. *Ecological Indicators*, 15(1), 227-235. Recuperado de <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-765d3915-d33b-3818-8f86-c37149a795db>
- Dewulf, J., et al. (2008). Exergy: Its Potential and Limitations in Environmental Science and Technology. *Environmental Science & Technology*, 42(7), 2221–2232. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es071719a>
- Enrico, S., & Ulgiati, S. (2005). Emergy and exergy analyses : Complementary methods or irreducible ideological options ? Emergy and exergy analyses : Complementary methods or irreducible ideological options ? Recuperado de http://www.academia.edu/22486756/Emergy_and_exergy_analyses_Complementary_methods_or_irreducible_ideological_options
- Franzese, P. P., Brown, M. T., & Ulgiati, S. (2014). Environmental accounting: Emergy, systems ecology, and ecological modelling. *Ecological Modelling*, 271, 1–3. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/283910642_Environmental_Accounting_in_Marine_Protected_Areas_the_EAMPA_Project
- Lomas Huertas, P. P. (2009). Aportaciones de la Síntesis Emergética a la Evaluación Multi-Escalar del empleo de los Servicios de los Ecosistemas a través de casos de estudio. *Tesis Doctoral*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Lomas, P. L., Donato, M. Di, & Ulgiati, S. (2007). La síntesis emergética : una valoración de los servicios de los ecosistemas con base termodinámica, 16(3), 37–45. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/91/88>
- Odum, H T. (1998). Emergy Evaluation. Environmental Engineering Sciences Gainesville: University of Florida. Recuperado de <http://www.unicamp.br/fea/ortega/agroecol/emergy.htm>
- Odum, H. T. H. T., Brown, M. T. M. T., & Brandt-Williams, S. (2000). Introduction and global budget. *Handbook of Emergy Evaluation*. Recuperado de <http://www.cep.ees.ufl.edu/center/publications/folios.shtml>
- Odum, H. T., & Odum, B. (2003). Concepts and methods of ecological engineering, 20, 339–361. Recuperado de https://www.esf.edu/cue/documents/Odum_2003.pdf
- Romero, C. (1994). Economía ambiental. Madrid: Alianza.
- Sneddon, C., Howarth, R. B., & Norgaard, R. B. (2006). Sustainable development in a post-Brundtland world, 57, 253–268. Recuperado de http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/vyberclanku/pdf/p68_ucit/10_SNEDDON.pdf
- Zarbá, L., & Brown, M. T. (2015). Cycling emergy: Computing emergy in trophic networks. *Ecological Modelling*, 315, 37–45. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201700151817>
- Zhang, G., & Long, W. (2010). A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. *Energy Policy*, 38(6), 2948–2955. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/222852265_A_key_review_on_emergy_analysis_and_assessment_of_biomass_resources_for_a_sustainable_future