



<http://opn.to/a/VI8ro>

REVIEW | REVISIÓN

# Fundamentals for the Implementation of the Emergetic Synthesis Methodology

## *Fundamentos teórico-metodológicos para la implementación de la síntesis emergética en sistemas agropecuarios*

Ing. Jenifer Alvarez-Lima<sup>\*</sup>, Dr.C. Yanoy Morejón-Mesa<sup>II</sup>, Dr.C. Pedro Pablo del Pozo-Rodríguez<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>III</sup> Ministerio de Educación Superior, Municipio Plaza, La Habana, Cuba.

**ABSTRACT.** All processes involved in food production involve an energy amount from various sources; in the form of solar energy, fossil fuels, renewable resources, services and energy invested in the production of the materials of the economy. Some flows involved in agrarian processes, such as the contributions of nature, are not considered by the Classical Economy when defining market prices; what has caused the devaluation and depletion of non-renewable resources. The emergetic analysis is the methodology of scientific base that counts the environmental value and the economic value, under a common unit (solar emJoule); making use of Environmental Economics, Systems Theory, Thermodynamics, Biology and the new principles of the operation of open systems. It is developed in four stages: design of the System Diagram, Emergetic Evaluation Table, Calculation of Emergetic Indexes and Interpretation of the results. These indices allow us to know the efficiency of the systems in the use of resources, evaluate sustainability, establish comparisons between various scenarios and, therefore, serve as support for management. This review aims to establish the foundations for the implementation of this methodology.

**Keywords:** Energy, Emergetic Analysis, Efficiency, Sustainability

**RESUMEN.** Todos los procesos involucrados en la producción de alimentos implican un importe energético a partir de diversas fuentes; en forma de energía solar, combustibles fósiles, recursos renovables, servicios y energía invertida en la producción de los materiales de la economía. Algunos flujos involucrados en los procesos agrarios, como es el caso de las contribuciones de la naturaleza, no son considerados por la Economía Clásica al definir los precios de mercado; lo que ha provocado la devaluación y el agotamiento de recursos no renovables. El análisis eMergético es la metodología de base científica que contabiliza el valor ambiental y el valor económico, bajo una unidad común (emJoule solar); haciendo uso de la Economía Ambiental, la Teoría de Sistemas, la Termodinámica, la Biología y los nuevos principios del funcionamiento de sistemas abiertos. Se desarrolla en cuatro etapas: diseño del Diagrama de Sistema, Tabla de Evaluación Emergética, Cálculo de Índices Emergéticos e Interpretación de los resultados. Dichos índices permiten conocer la eficiencia de los sistemas en el uso de los recursos, evaluar la sostenibilidad, establecer comparaciones entre varios escenarios y, por tanto, sirven de apoyo para la gestión. Con esta revisión se pretende establecer los fundamentos para la implementación de esta metodología.

**Palabras clave:** energía, análisis emergético, eficiencia, sostenibilidad.

## INTRODUCTION

The exhaustion of fossil energy is an imperative to optimize the efficiency in the use of available energy, especially,

## INTRODUCCIÓN

El agotamiento de energía fósil hace eminente optimizar la eficiencia en el uso de la energía disponible, más, cuando ello

\*Author for correspondence: Jenifer Alvarez-Lima, e-mail: ymm@unah.edu.cu

Received: 25/09/20190.

Approved: 13/03/2020.

when it conditions the quality of life of millions of people with limited access to this indispensable resource for diverse reasons (Montico *et al.*, 2006).

In agroecosystems, besides solar energy, energy from other sources is used, mainly fossil energy derived from petroleum (Suárez *et al.*, 2017). By definition, agriculture implies the modification of natural ecosystems and it requires to give additional energy to the solar one, in form of external inputs. The objective of agriculture is to manipulate the energy flows with the purpose of obtaining a certain net productivity as a product (grains, forage, meat, milk, etc.) and that necessarily implies an energy contribution (Flores & Sarandón, 2014).

At the present time, it is generally thought about energy necessities in terms of fuel, ignoring the contribution of nature and human beings, without noticing that the energy used in the services and obtaining of the material can be bigger than that of the fuels used in many processes (Izursa, 2011). Today's economic development has been reached at the cost of the environment detriment, contaminating soil, water and air and exceeding their regeneration capacity. This has happened since it is the market which decides what will be produced, how to make it and how to distribute it, disregarding the services offered by the nature (to obtain the product) when defining the prices (Roque, 2016).

The combustion in excess of fossil hydrocarbons and other non-renewable resources, together with their intensive usage that diminishes the regeneration capacity of the renewable ones, threatens the life on Earth, evidenced in the global climate change that continues growing instead of attenuating. The concern of reverting this situation has taken some nations, among them Cuba, to commit in reaching objectives and goals for the sustainable development with date limit in the 2030.

In the achievement of the sustainability in food production and security, the efficient use of the energy that flows in the agricultural processes in form of natural resources, products and services, plays a fundamental part because it is the support of the ecosystems and is responsible for an important economic expense. The objective of the present revision is to establish the bases for the implementation of the methodology of emergetic synthesis, which offers different ways for the analysis of the energy efficiency of the agrarian production systems and, consequently, it allows increasing the efficiency in the management decision making on them.

## DEVELOPMENT OF THE TOPIC

The term “emergy” was proposed by Odum (1988), in the face of the necessity of, not only quantifying the energy contained in the product or final service, but the whole energy invested in it; and he defined it as “the sum of the whole energy in a way, necessary to develop a flow of energy in another way, in a certain time”. More recently, Aguilar *et al.* (2015), define that emergy is “the quantity of energy

condiciona la calidad de vida de millones de personas, que por diversas razones poseen restricciones al acceso de este recurso indispensable (Montico *et al.*, 2006).

En los agroecosistemas, además de la energía solar, se utiliza energía de otras fuentes, principalmente energía fósil derivada del petróleo (Suárez *et al.*, 2017). Por definición, la agricultura implica la modificación de los ecosistemas naturales y, esto requiere suministrar energía adicional a la solar, en forma de insumos externos. El objetivo de la agricultura es manipular los flujos de energía con el propósito de obtener una cierta productividad neta que pueda ser extraída como producto (grano, forraje, carne, leche, etc.), por lo que es necesario realizar un aporte de energía (Flores y Sarandón, 2014).

En la actualidad se tiende a pensar sobre las necesidades de energía en términos de combustible, haciendo caso omiso a la contribución de la naturaleza y los seres humanos, sin percatarse que la energía utilizada en los servicios y obtención del material puede ser mayor que la de los combustibles utilizados en muchos procesos (Izursa, 2011).

El desarrollo obtenido hasta el momento en la economía ha sido a costa del detrimento del medio ambiente, contaminando el suelo, el agua, el aire y su capacidad de regeneración. Esto ha ocurrido ya que el mercado es quien decide lo que se va a producir, cómo hacerlo y cómo distribuirlo; despreciándose al definir los precios, los servicios que brinda la naturaleza para obtener el producto (Roque, 2016).

La combustión en demasía de hidrocarburos fósiles y otros recursos no renovables, unido al manejo intensivo, que le resta capacidad de regeneración a los renovables, amenaza la vida en la Tierra con evidencia en el cambio climático global que lejos de atenuarse continúa creciendo. La preocupación de revertir esta situación ha llevado a algunas naciones, entre ellas Cuba, a comprometerse en alcanzar objetivos y metas para el desarrollo sostenible con fecha límite en el 2030.

En el logro de la sostenibilidad en la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, desempeña un papel fundamental el uso eficiente de la energía que fluye en los procesos agropecuarios en forma de recursos naturales, productos y servicios; pues esta constituye el sostén de los ecosistemas y es responsable de un importante gasto económico. El objetivo de la presente revisión es establecer las bases para la implementación de la metodología de síntesis emergética, la cual brinda diferentes salidas para el análisis de la eficiencia energética de los sistemas de producción agrarios y consecuentemente permite incrementar la eficiencia en la toma de decisiones de gestión sobre los mismos.

## DESARROLLO DEL TEMA

El término “Emergía” fue propuesto por Odum (1988), ante la necesidad de cuantificar no sólo la energía contenida en el producto o servicio final, sino toda la energía invertida en él; y lo definió como «la suma de toda la energía de una forma, necesaria para desarrollar un flujo de energía de otra forma, en un período de tiempo dado». En publicaciones más recientes Aguilar *et al.* (2015), plantean que Emergía, es «la cantidad de energía que

that has been well utilized in a direct or indirect way in the generation of a certain good or service with the objective of analyzing the different contributions of energy flows (nature and economy) under a common unit, the solar emjoule (seJ)».

In correspondence to that defined by these authors, the emergetic analysis would be the methodology of scientific base that counts the environmental and the economic values, making use of Economy, Theory of Systems, Thermodynamics, Biology and the new principles of open system operation (Ortega *et al.*, 2002).

To increase the investigations about the monetary value of the ecosystem services contributes to attract the support of the political and market actors, to approach the environmental problems and to contribute in the conservation of the ecosystems; since there is where the outline of payments by environmental services is configured, and that is an instrument utilized in public policies in some countries and sectors that proposes to compensate the users of the land for the positive environmental outsources that generate through the adoption of sustainable agricultural practices (González y Serna, 2018).

The economic human systems produce materials and fuels to support the development of populations and cultures. However, human beings are only a small part of the great biosphere that includes forests, oceans, mountains, valleys, lands, rivers and the atmosphere. Ultimately, they are not only the human beings and their money those that determine what it is important, but it is the energy of the world. It would have then, much sense to measure this system by means of the energy flow, because it would be considered the contribution of nature (Izursa, 2011).

The starting point of emergy or emergetic synthesis like study field is that different energy types can be compared using conversion factors that show the quantity of equivalent energy types (Ortega *et al.*, 2002; Flores y Sarandón, 2014; Stark *et al.*, 2016). When connecting different energy types, several parts can be associated and the complexity can be visualized in a simple way, using diagrams, from which calculations of flows and deposits are made (Odum, 1996; Izursa, 2011). Many energy units diluted are needed to form a unit of concentrated energy. For example, 4 J of coal are required to produce 1 J of electricity, and 1 000 J of solar light to obtain 1 wooden J. The necessary total energy to obtain a product is the energy accumulated in that product (Odum y Odum, 2003; Izursa, 2011).

The emergetic synthesis is based on the study of biogeophysical and socio-economic flows of matter and energy that are exchanged among the constituent elements of the socio-ecological systems under the same base (Aguilar *et al.*, 2015).

All the processes of self-organization of systems (example: ecosystems), like it has been mentioned, are governed by the second law of Thermodynamics, because the energy that passes from an inferior level to another superior of self-organization is smaller in each step, since there is no a hundred percent efficiency in the transformation process. However, the necessary energy for the construction of a higher level of self-organization is higher

ha sido empleada de forma directa o indirecta en la generación de un determinado bien o servicio con el objetivo de analizar las diferentes contribuciones de flujos energéticos (naturaleza y economía) bajo una unidad común, el emjoule *solar* (seJ)».

En correspondencia a lo planteado por estos autores, el análisis emergetic sería la metodología de base científica que contabiliza el valor ambiental y el valor económico, haciendo uso de la Economía, la Teoría de Sistemas, la Termodinámica, la Biología y los nuevos principios del funcionamiento de sistemas abiertos (Ortega *et al.*, 2002).

Aumentar las investigaciones sobre el valor monetario de los servicios ecosistémicos contribuye a atraer el apoyo de los actores políticos y de mercado, para abordar los problemas ambientales y contribuir en la conservación de los ecosistemas; ya que es allí donde se configura el esquema de pagos por servicios ambientales, instrumento empleado dentro de política pública en algunos países y sectores, que propone compensar a los usuarios de la tierra por las externalidades ambientales positivas que generan a través de la adopción de prácticas agrícolas sostenibles (González y Serna, 2018).

Los sistemas económicos humanos producen materiales y combustibles para apoyar al desarrollo de las poblaciones y culturas. Sin embargo, los seres humanos son sólo una pequeña parte de la gran biosfera que incluye bosques, océanos, montañas, valles, tierras, ríos y la atmosfera. En última instancia, no son sólo los seres humanos y su dinero los que determinan qué es importante, sino es la energía del mundo. Tendría entonces, mucho sentido medir este sistema mediante el flujo de energía, pues se consideraría la contribución de la naturaleza (Izursa, 2011).

El punto de partida de la emerja o síntesis emergetic como campo de estudio es que se pueden comparar diferentes tipos de energía utilizando factores de conversión que muestran la cantidad de tipos de energía equivalentes (Ortega *et al.*, 2002; Flores y Sarandón, 2014; Stark *et al.*, 2016). Al conectar diferentes tipos de energía se puede asociar varias partes y visualizar la complejidad de una manera sencilla, utilizando diagramas, a partir de los cuales se hacen cálculos de flujos y depósitos (Odum, 1996; Izursa, 2011). Se necesitan muchas unidades de energía diluida para formar una unidad de energía concentrada; por ejemplo, se requieren 4 J de carbón para producir 1 J de electricidad, y 1 000 J de luz solar para obtener 1 J de madera. La energía total necesaria para obtener un producto es la energía acumulada en ese producto (Odum y Odum, 2003; Izursa, 2011).

La síntesis emergetic se fundamenta en el estudio de los flujos biogeofísicos y socio-económicos de materia y energía que se intercambian entre los elementos constituyentes de los sistemas socio-ecológicos bajo una misma base (Aguilar *et al.*, 2015).

Todos los procesos de auto-organización de sistemas (ejemplo: ecosistemas), como se ha mencionado, 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

every time as the system becomes more complex, that is to say, as it advances in the organization chain (Bravo *et al.*, 2018).

This observation implies that, even when 1 joule of solar energy, 1 joule of coal or 1 joule of electricity, represent the same “quantity” of energy (1 joule), they do not represent the same “quality”, in the sense of the potential these different types of energy sources have to act on the group of the system, that is to say, in the necessity that the system has of receiving bigger or smaller quantities of less concentrated energy to generate each of them (Bravo *et al.*, 2018). It is concluded then, that a hierarchy of energy exists according to its quality or potential to influence in the system and it goes from not very concentrated energy sources (as the sun) to those very concentrated ones (as the petroleum) (Odum y Odum, 2003).

Solar energy is selected as the reference energy, because in the emergetic analysis, it is supposed that this is the main entrance of not very concentrated energy to the ecosphere. Therefore, the transformity would have units of energy seJ/unidad (solar equivalent joules / energy) (Bravo *et al.*, 2018).

Besides emergy, diverse methodologies of environmental administration exist as Life Cycle Analysis (LCA) and Evaluation of Multicriterion (EMC), to mention some that allow analyzing the production with energy approaches to design more sustainable systems, in which the imports of inputs and the polluting emissions decrease (Odum y Odum, 1981). Opportunities can be identified in the different productive stages and to carry out an inventory of energy inputs used (Aguilar *et al.*, 2015).

To achieve an integration of all the relationships man-nature in an ecosystem, the emergetic analysis separates the entrances of renewable and not renewable sources. These distinctions make possible to define the emergetic indexes that provide the tools for the sustainability decision making, especially when there are different alternatives (Brown *et al.*, 2012; Bravo *et al.*, 2018).

According to that outlined by Aguilar *et al.* (2015), the Emergetic Intensity is equal to the real value of the product, that is to say, all emergy used in the production of a certain quantity of the product. Three main types of emergetic intensity exist: Transformity (in seJ J<sup>-1</sup>), Specific Emergy (in seJ g<sup>-1</sup>) and Emergy per Monetary Unit (in seJ \$<sup>-1</sup>).

The transformity of a product measures the energy quality and its hierarchical position in the universal energy. As bigger is the number of transformations of necessary energy for the elaboration of a product or the execution of a process, bigger will be the value of its transformity, being bigger also the importance of the resource for the ecosystems and for the human beings. This approach facilitates to visualize and to quantify, in a dynamic way, the flows of natural resources, environmental services coming from nature and of the impacts of anthropic activities, allowing the understanding of the limits in each ecosystem and the establishment of goals and objectives to guarantee the support capacity, that is to say, it determines the sustainability of the systems (Aguilar *et al.*, 2015).

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 (Bravo *et al.*, 2018).

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 (Bravo *et al.*, 2018). 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 y Odum, 2003).

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 ecosfera. Por tanto, la transformidad tendría unidades de seJ/unidad de energía (joules equivalentes solares/unidad de energía) (Bravo *et al.*, 2018).

Además de la emergía, existen diversas metodologías de gestión ambiental como el Análisis de ciclo de vida (LCA) y la Evaluación Multicriterio (EMC), por citar algunas, que permiten analizar la producción con criterios energéticos para diseñar sistemas más sustentables, en los cuales se reducen las importaciones de insumos y las emisiones contaminantes (Odum y Odum, 1981). Se pueden identificar oportunidades en las diferentes etapas productivas y realizar un inventario de insumos energéticos usados (Aguilar *et al.*, 2015).

Para lograr una integración de todas las relaciones hombre-naturaleza en un ecosistema, el análisis emergético separa las entradas de fuentes renovables y no renovables. 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 (Brown *et al.*, 2012; Bravo *et al.*, 2018).

De acuerdo a lo planteado por Aguilar *et al.* (2015), la Intensidad Emergética equivale al valor real del producto, o sea, toda la emergía utilizada en la producción de una determinada cantidad del producto. Existen tres principales tipos de Intensidad Emergética: Transformidad (en seJ J<sup>-1</sup>), Emergía Específica (en seJ g<sup>-1</sup>) y Emergía por Unidad Monetaria (en seJ \$<sup>-1</sup>).

La transformidad de un producto mide la calidad de energía y su posición jerárquica en la energía universal. Cuanto mayor sea el número de transformaciones de energía necesaria para la elaboración de un producto o la ejecución de un proceso, mayor será el valor de su transformidad, siendo mayor también la importancia del recurso para los ecosistemas y para los seres humanos. Este abordaje posibilita visualizar y cuantificar de forma dinámica los flujos de los recursos naturales, servicios ambientales provenientes de la naturaleza y de los impactos de actividades antrópicas, permitiendo la comprensión de los límites en cada ecosistema y el establecimiento de metas y objetivos para garantizar la capacidad de soporte, es decir, determina la sustentabilidad de los sistemas (Aguilar *et al.*, 2015).

### Methodology of Emergetic Synthesis

The Emergetic Methodology proposed by Odum (1996) is developed in four stages: Design of the Diagram of System, Chart of Emergetic Evaluation, Calculation of Emergetic Indices and Interpretation of the results.

#### Design of the Diagram of System

This first stage is preceded by a diagnosis to identify the limits, components, entrances and exits of the system and how the materials and the energy fluctuate. With these data, the diagram is elaborated. Accordingly, all the complexity of the system is expressed and its elements and flows by means of the symbols defined by Odum (1996) (chart 1).


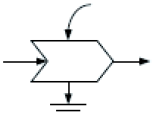
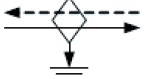
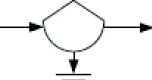
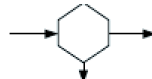



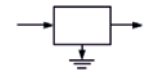
### Metodología de Síntesis Emergética

La Metodología Emergética propuesta por Odum (1996) se desarrolla en cuatro etapas: diseño del Diagrama de Sistema, Tabla de Evaluación Emergética, Cálculo de Índices Emergéticos e Interpretación de los resultados.

#### Elaboración del diagrama sistémico.

Esta primera etapa está precedida por un diagnóstico en el que se identifican los límites, componentes, entradas y salidas del sistema, y cómo fluctúan los materiales y la energía. Con estos datos, se procede a elaborar el diagrama, de modo que sea expresada toda la complejidad del mismo, representándose sus elementos y flujos a través de los símbolos establecidos por Odum (1996) (Tabla 1).

**TABLE 1. Symbols used in the elaboration of the systemic diagram**  
**TABLA 1. Símbolos utilizados en la elaboración del diagrama sistémico**

Symbol	Meaning o
	Energy flow: It connects the diverse components of the system. It reflexes the transferences of energy, materials or information among them.
	Interaction: Convergence of several types of flows that, by means of the performance of diverse processes, generates flows of more quality.
	Transaction: Exchange of a flow for another one. It generally refers to goods and services (continuous line) in exchange for money (discontinuous line).
	Deposit: It is a matter storage, energy, money, services, information whose use rates are bigger than those of their renovation.
	Consumer: Component that consumes more energy than that it produces, although it contributes services with bigger energy. It uses the products of the producers.
	Producer: Component that, through certain processes, gathers and transforms energy of low quality, concentrating it. It makes products.
	Source: Resource that is outside the system limits, and matter flows and energy flow from it to the interior of the system.
	Energy drain: It represents the energy dissipation in heat that accompanies all the transformation or accumulation processes.
	Box: Limits of the system.

Sources: Odum (1996).

The Systemic Diagrams facilitate to visualize in a holistic way the operation of the scenarios of interest and to know the reality in a detailed way. In spite of their precision, they should be the sufficiently simple as to facilitate their understanding. They constitute the base to organize the work and to develop the emergetic evaluation.

For a better understanding of each resource flow in the different stages of this methodology, the total emergy amount by the system (Y) is divided into resources of nature (I), as renewable (R) and not renewable (N); and the resources of the

Los Diagramas Sistémicos posibilitan visualizar de forma holística el funcionamiento los escenarios de interés y conocer la realidad de forma detallada. Pese a su precisión, deben ser lo suficientemente simples como para facilitar su entendimiento. Constituyen la base para organizar el trabajo y desarrollar la evaluación emergética.

Para comprender mejor los flujos de cada recurso, en las diferentes etapas de esta metodología, se desglosa la emergía total importada por el sistema (Y); considerándose los recursos de la naturaleza (I), como renovables (R) y no renovables (N); y

economy (F), as materials (M) and services (S), as it is represented in way simplified in the Figure 1.

los recursos de la economía (F), como materiales (M) y servicios (S), según se representa de forma simplificada en la Figura 1.

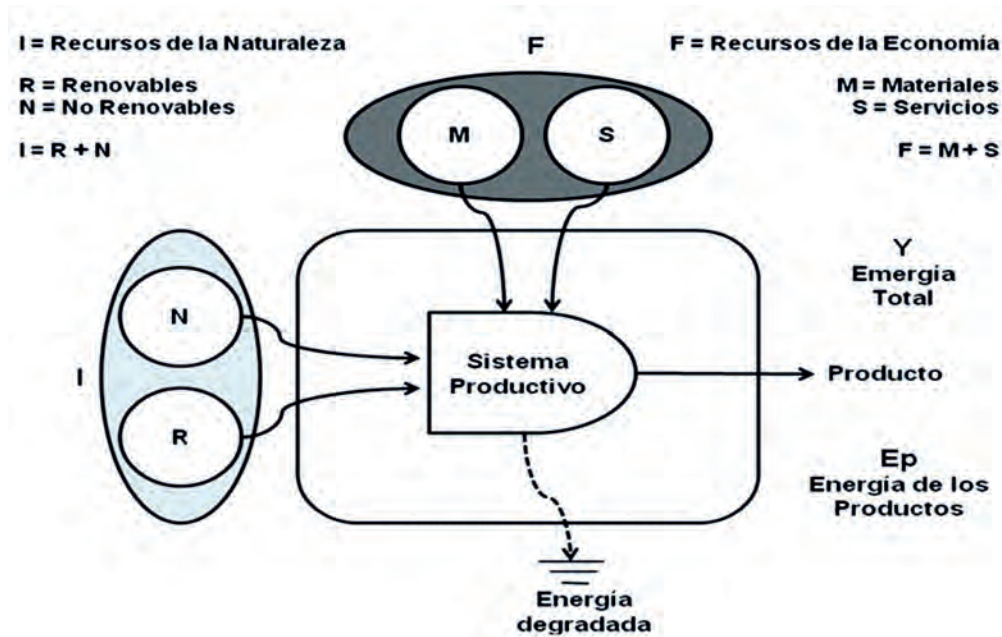


FIGURE 1. Simplified Diagram of a Productive System. Source: Stark *et al.* (2016).  
 FIGURA 1. Diagrama simplificado de un Sistema Productivo. Fuente: Stark *et al.* (2016).

### Construction of the Table of Emergetic Evaluation

All the flows that cross the limits of the system (entrances), follow a sequence that go from the source of external energy to the internal component that uses it. These flows that were previously represented in the diagram, become a calculation line in the evaluation table of emergy (Table 2).

### Construcción de la tabla de evaluación emergética

Todos los flujos que cruzan los límites del sistema (entradas), siguen una secuencia que van desde la fuente de energía externa hasta el componente interno que la utiliza. Estos flujos, que fueron previamente representados en el diagrama, se convierten en una línea de cálculo en la tabla de evaluación de emergía (Tabla 2).

TABLE 2. Structures of the Table of Emergetic Synthesis  
 TABLA 2. Estructura de la tabla de Síntesis Emergética

Note	Names of Contributions	Quantity	Unit (/ha/year)	Transformity (seJ/unit)	Solar emergy (seJ/ha/year)
R1,2,3...n					
N1,2,3...n					
M1,2,3...n					
S1,2,3...n					

The first column *Note* refers to the order in that each flow is placed (1, 2, 3...n) and to the order of the note on foot of the table in which the origin of the fact is expressed (R, N, M, S). The second, *Name of the contributions* refers the name of the evaluated flow. The *Quantity* (numeric value or flow) specifies the quantity or proportion in that each flow enters. For a system in stationary state the values corresponding to the flows annual means are placed. In column four, flows are expressed in their respective *Units* (grams, kilograms, joules, \$, etc.), considering the area (ha, m<sup>2</sup>, m) and the time (year). The *Transformity* (emergy per unit or specific energy) of each flow should be obtained of a source of information mentioned in previous studies.

La primera columna “Nota” hace alusión al orden en que está colocado cada flujo (1, 2, 3...n) y al orden de la nota a pie de tabla en la que se expresa el origen del dato (R, N, M, S). La segunda, “Nombre de las contribuciones”, refiere el nombre del flujo evaluado. La “Cantidad” (valor numérico o flujo) especifica la cuantía o proporción en que entra cada flujo. Para un sistema en estado estacionario se colocan los valores correspondientes a los flujos anuales medios. Se expresa en sus respectivas “Unidades” (gramos, kilogramos, joules, \$, etc.) en la columna cuatro, teniendo en cuenta el área (ha, m<sup>2</sup>, m) y el tiempo (año). La “Transformidad” (emergía por unidad o energía específica) de cada flujo se debe obtener de una fuente de información citada en estudios anteriores.

The *Solar Emergy* (flows of emergy) is calculated multiplying the quantity in that each flow enters (column 3) by the corresponding transformity (column 5). This value is interpreted as the necessary solar energy to produce a service or a product. To multiply by the transformity allows having all the flows expressed in some common and comparable units, solar Joules (seJ); since the different quality of each energy is pondered.

This table offers an accounting of all the components of the analyzed environmental system.

### Calculation of Emergetic Indexes

Starting from the data obtained in the Table of Emergetic Evaluation, emergetic indexes related in table 3 are calculated and interpreted. These indexes offer certain information on the system; it allows knowing its efficiency in the use of the resources, to evaluate the sustainability, to establish comparisons among several scenarios and, therefore, they serve as support for the management.

La “Emergía Solar” (flujos de emergía) se calcula multiplicando la cuantía en que entra cada flujo (columna 3) por la transformidad correspondiente (columna 5). Este valor se interpreta como la energía solar necesaria para producirse un servicio o un producto. Multiplicar por la transformidad permite tener todos los flujos expresados en unas unidades comunes y comparables, julios solares (seJ); ya que se pondera la distinta calidad de cada energía.

Esta tabla ofrece una contabilidad de todos los componentes del sistema ambiental analizado.

### Cálculo de los índices emergeticos

A partir de los datos obtenidos en la tabla de evaluación emergetica, se calculan e interpretan los índices emergeticos relacionados en la Tabla 3. Estos índices brindan determinada información sobre el sistema; que permite conocer su eficiencia en el uso de los recursos, evaluar la sostenibilidad, establecer comparaciones entre varios escenarios y, por tanto, sirven de apoyo para la gestión.

**TABLE 3. Emergetic Indexes**  
**TABLA 3. Índices emergeticos**

<b>Emergetic Indexes</b>	<b>Formula</b>	<b>Concept</b>
Solar Transformity	$Tr = Y/EP... (1)$	Total Emergy / Resource energy
Renewability	$\%R = (R/Y) \times 100... (2)$	Renewable inputs of nature/ Total emergy
Emergetic Investment Ratio	$EIR = F/ I... (3)$	Resources of the economy / Resources of nature
Emergetic Yield Ratio	$EYR = Y/F... (4)$	Total Emergy/ Resources of the economy
Environmental Load Ratio	$ELR = (F+N)/R... (5)$	(Resources of the economy +non-renewable resources) / Renewable resources
Emergy Exchange Ratio	$EER = Y/ Em sales... (6)$	Total emergy/ Emergy received from selling

### Interpretation of the Emergetic Indexes

**Transformity (Tr)** It is the relationship among total emergy that enters in the system (Y) and emergy of the products that come out (Ep). This index reveals a quality of the system, as bigger Tr is more emergy is required to generate products. It can be interpreted as the inverse value of the efficiency of an agroecosistema.

**Renewability (% R)** it is the relationship between the renewable entrances of nature (R) and total emergy that enters in the system (Y). Expressed the percentage that renewable energies represent inside the system.

**Emergetic Investment Ratio (EIR)** it is the relationship between the contribution of the economy (F) and the nature (I), it is dimensionless. It is an indicator to understand the intensity of emergy “bought” used in the agroindustrial systems.

**Emergetic Yield Ratio (EYR)** it is the relationship between total emergy that enters to the system (Y) and the contribution of the economy (F). This index is dimensionless and allows knowing in a general way, the net profit that the system offers to the global economy.

### Interpretación de los índices emergeticos

**Transformidad (Tr)** es la relación entre la emergía total que ingresa en el sistema (Y) y la emergía de los productos que salen (Ep). Este índice revela una cualidad del sistema, cuanto mayor Tr más emergía se requiere para generar productos. Puede interpretarse como el valor inverso de la eficiencia de un agroecosistema.

**Renovabilidad (%R)** es la relación entre las entradas renovables de la naturaleza (R) y la emergía total que entra en el sistema (Y). Expresa el porcentaje que representan las energías renovables dentro del sistema.

**Razón de Inversión Emergetica (EIR)** es la relación entre la contribución de la economía (F) y la naturaleza (I), es adimensional. Es un indicador para comprender la intensidad de emergía “comprada” utilizada en los sistemas agroindustriales.

**Razón de Rendimiento Emergetico (EYR)** es la relación entre la emergía total que entra al sistema (Y) y la contribución de la economía (F). Este índice es adimensional y permite conocer, de manera general, el beneficio neto que el sistema ofrece a la economía global.

**Environmental Load Ratio (ELR)** it is the relationship between the sum of the non-renewable resources of nature (N) and those of the economy (F) for the renewable resources of nature (R), it is dimensionless. When the value of the index is high, greater will be the environmental impact of the system. It also indicates that the production costs are higher, and because of that the final price will be increased, making that the product or areas producers are less competitive in the market with a relationship of lower environmental load.

**Emergy Exchange Ratio (EER)** it is the relationship between total emergy (Y) and emergy received from the sales of the products (Em sales). The Em sales, is obtained of the multiplication of the price of the product by the Emergy money ratio (relationship emergy-money or emergetic exchange). The last one is the quantity of emergy that can be bought in a certain country for a unit of money (a dollar) in a specific year. It is dimensionless. It represents if the producer is receiving in the sale of the products the necessary emergy for the production. If the value of the index is bigger than the unit, it represents that the expenses are bigger than the sales.

## CONCLUSIONS

- When the energy flows of different qualities that intervene in agriculture are expressed in common and comparable units, they can be counted in monetary terms.
- The Methodology of Emergetic Synthesis reveals the energy efficiency, the grade of use of the renewable resources and the measure in which non-renewable are used. It also shows the contribution of the economic and natural resources and the environmental impact of the agricultural systems.
- The efficiency of the agrarian processes in the use of energy, allows diminishing the polluting loads, to conserve the non-renewable resources and to increase the resilience, the self-sufficiency and the economic sovereignty. Therefore, to regulate those processes, it is necessary to quantify their flows.

**Razón de Carga Ambiental (ELR)** es la relación entre la suma de los recursos no renovables de la naturaleza (N) y los de la economía (F) por los recursos renovables de la naturaleza (R), es adimensional. Cuando el valor del índice es alto, mayor será el impacto ambiental del sistema. También indica que los costos de producción son más altos, y por lo que su precio final se incrementará, haciendo que el producto o zonas productoras sean menos competitivos en el mercado con una relación de carga ambiental más baja.

**Razón de Intercambio de Emergía (EER)** es la relación entre la emergía total (Y) y la emergía recibida de las ventas de los productos (Em ventas). La Em ventas, se obtiene de la multiplicación del precio del producto por el Emergy money ratio (relación emergía-dinero o canje emergético). Este último es la cantidad de emergía que se puede comprar en un determinado país por una unidad de dinero (un dólar) en un año específico. Es adimensional. Representa si el productor está recibiendo en la venta de los productos la emergía necesaria para la producción. Si el valor del índice es mayor que la unidad representa que los gastos son mayores que las ventas.

## CONCLUSIONES

- Al expresar en unidades comunes y comparables los flujos energéticos de diferentes calidades que intervienen en la agricultura, se pueden contabilizar los mismos en términos monetarios.
- La Metodología de Síntesis Emergética revela la eficiencia energética, el grado de aprovechamiento de los recursos renovables y la medida en que se emplean los no renovables, la contribución de los recursos económicos y naturales y el impacto ambiental de los sistemas agropecuarios.
- La eficiencia de los procesos agrarios en el uso de la energía, permite disminuir las cargas contaminantes, conservar los recursos no renovables y aumentar la resiliencia, la autosuficiencia y la soberanía económica; por lo que, para regularlos, se hace inminente cuantificar sus flujos.

## REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, R.N.; ALEJANDRE, R.J.; ESPINOSA, L.R.: "Evaluación emergy Y LCA en la agroindustria azucarera de Veracruz, México", *Cultivos Tropicales*, 36(4): 144-157, 2015, ISSN: 0258-5936, 1819-4087.
- BRAVO, E.; LÓPEZ, E.; ROMERO, O.; CALVO, A.E.; KIRAN, R.: "La emergía como indicador de economía ecológica para medir sustentabilidad", *Universidad y Sociedad*, 10(5): 78-84, 2018, ISSN: 2218-3620.
- BROWN, M.T.; RAUGEI, M.; ULGIATI, S.: "On Boundaries and 'Investments' in Emergy Synthesis and LCA: a Case Study on Thermal vs. Photovoltaic Electricity", *Ecological Indicators*, 15(1): 227-235, 2012, ISSN: 1470-160X.
- FLORES, C.C.; SARANDÓN, S.J.: "La energía en los agroecosistemas", [en línea], En: *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*, ser. Colección libros de cátedra, Ed. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, S J Sarandón y C C Flores (ed.) ed., vol. Capítulo 7, La Plata, Argentina, pp. 190-210, 2014, Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>.
- GONZÁLEZ, G.M.; SERNA, C.A.: "Servicios ecosistémicos potenciales en el sector cafetero colombiano", *Revista Cenicafé*, 69(2): 35-46, 2018, ISSN: 0120-0275.
- IZURSA, A.J.: "Emergía (con M), una herramienta nueva para estimar el valor de la madera en el bosque", *Ecología en Bolivia*, 46(2): 71-76, 2011, ISSN: 1605-2528.
- MONTICO, S.; BONEL, B.; DI LEO, N.; DENOIA, J.: "Gestión de la energía en el sector rural: Cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe", *Agromensajes de la Facultad.*, 2006, ISSN: 1669-8584.
- ODUM, H.: *Environmental accounting, emergy and decision making: Emergy evaluation*, Ed. John Wiley & Sons, New York, USA, 370 p., 1996.
- ODUM, H.; ODUM, E.C.: *Emergy basis for man and nature*, Ed. McGraw-Hill, Inc., 2 ed. ed., New York, USA, 307 p., 1981.



- ODUM, H.T.: "Self-organization, transformity, and information", *Science*, 242(4882): 1132-1139, 1988, ISSN: 0036-8075.
- ODUM, H.T.; ODUM, B.: "Concepts and methods of ecological engineering", *Ecological Engineering*, 20(5): 339-361, 2003, ISSN: 0925-8574.
- ORTEGA, E.; ANAMI, M.; DINIZ, G.: "Certification of food products using emergy analysis", En: *III International Workshop Advances in Energy Studies*, Porto Venere, Italy, pp. 227-237, 2002.
- ROQUE, J.J.: "Principios ecológico-éticos da sustentabilidade socioambiental: o caso da economia e da agricultura", *Revista Iberoamericana de Bioética*, (1): 1-13, 2016, ISSN: 2529-9573, DOI: 10.14422/rib.i01.y2016.004.
- STARK, F.; MOULIN, C.H.; CANGIANO, C.; VIGNE, M.; VAYSSIÈRES, J.; GONZÁLEZ, G.E.: "Metodologías para la evaluación de sistemas agropecuarios. Parte II. Eficiencia Energética (EMERGY), Trayectoria de Sistemas y ejemplo de un modelo de análisis integral de fincas (GAMEDE)", *Pastos y Forrajes*, 39(2): 81-88, 2016, ISSN: 0864-0394.
- SUÁREZ, J.; MARTÍN, G.; CEPERO, L.; BLANCO, D.; SAVRAN, V.; SOTOLONGO, J.A.; LÓPEZ, A.; DONIS, F.; GONZÁLEZ, O.; PEÑA, A.: "Producción integrada de alimentos y bioenergía: La experiencia cubana", *Agroecología*, 12(1): 47-55, 2017, ISSN: 1989-4686, 1887-1941.

Jenifer Alvarez-Lima, Ing., Profesora Asistente. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [yym@unah.edu.cu](mailto:yym@unah.edu.cu)

Yanoy Morejón-Mesa, Profesor Titular. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [yym@unah.edu.cu](mailto:yym@unah.edu.cu)

Pedro Pablo del Pozo-Rodríguez, Profesor Titular. Ministerio de Educación Superior, Vedado, Municipio Plaza, La Habana, Cuba, e-mail: [yym@unah.edu.cu](mailto:yym@unah.edu.cu)

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.

