

# ANÁLISIS ENERGÉTICO INPUT-OUTPUT DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ENERGÍA ALIMENTARIA

M<sup>a</sup> Luisa Roqueta Buj  
IES Francisco Ribalta de Castellón  
luisaroqueta@hotmail.com

## *Resumen*

Desde hace mucho tiempo, la Antropología se ha ocupado de analizar la evolución de los ecosistemas. En términos energéticos, la mayor parte del cómputo global que fluye a través de los sistemas energéticos preindustriales consiste en energía alimentaria. En el presente estudio hago una comparativa de los diferentes sistemas de energía alimentaria en términos de balances energéticos. Para ello los parámetros utilizados son los siguientes: El Input de trabajo que es una compilación del trabajo llevado a cabo por los miembros del grupo y el Output de alimentos que es la necesidad diaria (entrada) de calorías y proteínas en forma de alimentos. Comienzo mostrando datos de input-output de trabajo y consumo de energía de los sistemas de los cazadores-recolectores (Bosquimanos Kung del Kalahari), de los sistemas de tala y quema (Tsembala Maring), de la agricultura de regadío y finalmente de los sistemas industriales de energía alimentaria. A la vista de esta comparativa, y con datos concretos, se puede concluir que el balance entre energía obtenida frente a energía necesaria es positivo en todos los sistemas anteriores excepto en el sistema industrial de energía alimentaria. El aumento de las distancias entre productor y consumidor y el gasto de energía adicional necesario para procesar y envasar los alimentos son la clave. A modo de ejemplo, la agricultura industrial ya en el año 2000 necesitaba invertir de media 30 calorías para obtener una caloría de alimento. Hoy en día, la energía necesaria para producir un envase de plástico de dos litros es de 2500 Kilocalorías aproximadamente al tiempo que hay que tener en cuenta que la contaminación de los hábitats agrega costes adicionales.

Palabras clave: ecosistemas; energía; cultura; input-output energético.

## *Abstrac*

Anthropology has been concerned with analyzing the evolution of ecosystems for a long time. In energy terms, most of the balance flowing through pre-industrial energy systems consists of food energy. In the present study I make a comparison of the different food energy systems in terms of energy balances. The parameters used are the following: the *work input* which is a compilation of the work carried out by the members of the group, and the *Output of food* which is the daily input of calories and proteins in the form of food. I begin by showing data of work input-output and energy consumption of hunter-gatherer systems (Bosquimanos Kung del Kalahari), slash and burn systems (Tsembala Maring), irrigated agriculture systems and finally the industrial food energy systems. In view of this comparison, and with concrete data, it can be concluded that the

balance between obtained energy versus necessary energy is positive in all previous systems except in the industrial food energy system. The increase in distances between producer and consumer and the additional energy expenditure needed to process and package food is the key. As an example, industrial agriculture as early as 2000 needed to invest 30 calories to obtain a calorie of food. Today, the energy needed to produce a two-liter plastic container is approximately 2,500 kilocalories. In addition, it must be borne in mind that pollution of habitats adds additional costs.

Keywords: ecosystems; energy; culture; input-output energy.

## 1. Introducción

Desde hace mucho tiempo la Antropología se ha ocupado de analizar la evolución de los ecosistemas. En términos energéticos, la mayor parte de la energía que fluye a través de los sistemas energéticos preindustriales consiste en energía alimentaria. A lo largo del presente estudio hago una comparativa de los diferentes sistemas de energía alimentaria en términos de balances energéticos. Comienzo mostrando datos de input - output de trabajo y consumo de energía de los sistemas alimentarios característicos de los cazadores- recolectores (como ejemplo los Bosquimanos Kung del Desierto del Kalahari) y de los sistemas de tala y quema (Tsembala Maring de Papúa Nueva Guinea). También muestro el balance para la agricultura de regadío (Luts'un de China), y finalmente el de los sistemas industriales de energía alimentaria. El **Input** de trabajo es una compilación del trabajo llevado a cabo por los miembros del grupo, mientras que el **Output** de alimentos es la entrada diaria de calorías y proteínas en forma de alimentos.

Debido al avance tecnológico, la energía disponible y necesaria per cápita en los diferentes ecosistemas ha crecido constantemente. Sin embargo, incluso en los ecosistemas industriales más avanzados, el agotamiento y la contaminación de los hábitats agregan costes inevitables a la producción y al consumo de energía. El agotamiento de los recursos (en la actualidad sobre todo de los recursos fósiles), fuerza a adoptar nuevos modos de producción. En el pasado se fueron adoptando nuevos modos de producción siguiendo esta secuencia: 1 Cazadores-2 modo de producción agrícola-3 pueblos de tala y quema-4 cultivo de campos permanentes-5 cultivo de regadío-6 agricultura preindustrial-7 agricultura industrial.

En términos de input (trabajo)-output (consumo), el sistema de caza y recolección es el más elemental ya que la relación entre la producción y el consumo de alimentos es inmediata en el espacio y en el tiempo. En contraposición a éste, se encuentra el sistema industrial, donde se usa gran cantidad de energía simplemente para procesar y empaquetar los alimentos y en el transporte teniendo en cuenta cómo aumentan las distancias de la distribución de la producción. La Ecología Cultural trata de cómo las culturas se ven afectadas por su adaptación al medio. Julian Steward (1955) propuso una Ecología Cultural, un punto de vista de la ecología basado en las características especiales del ser humano. Según Steward: - "la cultura ha proporcionado al hombre una flexibilidad ecológica mucho mayor que la que disfruta cualquier otra especie. El hombre gracias a sus medios culturales como por ejemplo las técnicas culinarias, la cooperación

dependiente de la comunicación simbólica, la utilización de una gran variedad de plantas y animales posee otros procedimientos para convertir la materia en energía". (para los miembros de la mayoría de las especies están restringidos).

Sin embargo, como afirma Marshall Sahlins (1977): - "La mala adaptación cultural también se da cuando las culturas sirven a las instituciones económicas o políticas a expensas del hombre y de los ecosistemas, disminuyendo en lugar de aumentar las posibilidades de supervivencia de los organismos"-.

## *2.Desarrollo, resultados y análisis de resultados*

A lo largo del presente estudio vamos a extraer de diversas fuentes datos concretos para hacer un análisis comparativo del input-output de trabajo y consumo de energía que tienen lugar en los diferentes sistemas de energía alimentaria ya mencionados. Seguidamente se evalúan los datos de ambos parámetros y se visualizan mediante gráficas para extraer conclusiones a cerca de la evolución que manifiestan las diferentes culturas.

### 2.1. Energía de los cazadores recolectores: Bosquimanos Kung del Desierto del Kalahari

La caza y recolección fueron el modo universal de producción de alimentos hasta la edad de piedra. Los bosquimanos kung constituyen un ejemplo del tipo de banda organizada sencilla y móvil que se da en los hábitats menos favorecidos como es el Desierto de Kalahari al Sur de África (Lee, 1979). Son nómadas en busca de agua, caza y plantas silvestres. Solo construyen refugios temporales donde los hombres se especializan en la caza y las mujeres en la recogida de plantas silvestres de forma que no tienen agricultura ni animales domésticos, por tanto, son autosuficientes en alimentos y no acumulan excedentes. La relación entre la producción y el consumo local de alimentos es inmediata:48 horas desde su obtención y carecen de comercio de alimentos, dinero, mercados o trabajo asalariado. Emplean una media de 2,4 días por semana a la caza y la recogida. El nivel de esfuerzo laboral es un reflejo directo de las necesidades alimenticias del grupo local. Varias son las claves de estrategia de supervivencia con la tecnología más simple en un medio tan hostil. En términos de input (trabajo)-output (consumo), este sistema es elemental ya que la relación entre la producción y el consumo de alimentos es inmediata en el espacio y el tiempo. La distribución de las fuentes de agua es el gran determinante ecológico de la subsistencia de los bosquimanos. Los campamentos están pegados a las fuentes de agua. Hay siete meses de sequía al año. El alimento básico es la nuez, ella sola constituye dos tercios del peso de la dieta total de vegetales (bayas, raíces, melón...)

La nuez supone el 60% de la ingestión calórica de los Kung y aporta una gran cantidad de proteínas. De la media total de calorías consumidas la carne proporciona el 29% (cerdo salvaje, ganso, liebre, oso hormiguero). La situación óptima se presenta cuando el agua permanente y las nueces están juntas. Durante la estación seca la distancia entre el agua y las nueces aumenta, la táctica alternativa a los largos viajes consiste en explotar alimentos menos deseables pero fáciles de recolectar y abundantes (raíces, acacia, melones, asimilable a la teoría del forrajeo óptimo). Los miembros jóvenes hacen largas expediciones para conseguir nueces de forma que un mayor input de energía produce un output calórico comparativamente menor.

Durante la estación lluviosa cuando las nueces se agotan todo el campamento se desplaza a otro lugar con más agua y nueces. Una de las claves es que cuando llegan al campamento reúnen los recursos recogidos con todos los demás de forma que se satisfagan las necesidades calóricas de todos los grupos de edad y sexo. La asignación diaria de calorías por persona: output calórico: resulta de 2140 calorías y de proteínas 93,1 gramos. Esta asignación supera las necesidades calóricas y proteicas de los bosquimanos (1975cal. necesita cada individuo de media).

La consecuencia es que los cazadores pueden disfrutar de más tiempo libre per cápita que los pueblos que participan en otras actividades de subsistencia. El output de trabajo es de 2,4 días por semana, el resto del tiempo se emplea en descansar en el campamento o visitar otros poblados. A continuación, he elaborado un gráfico que sirve para visualizar el balance energético del sistema de energía alimentaria de caza y recolección:

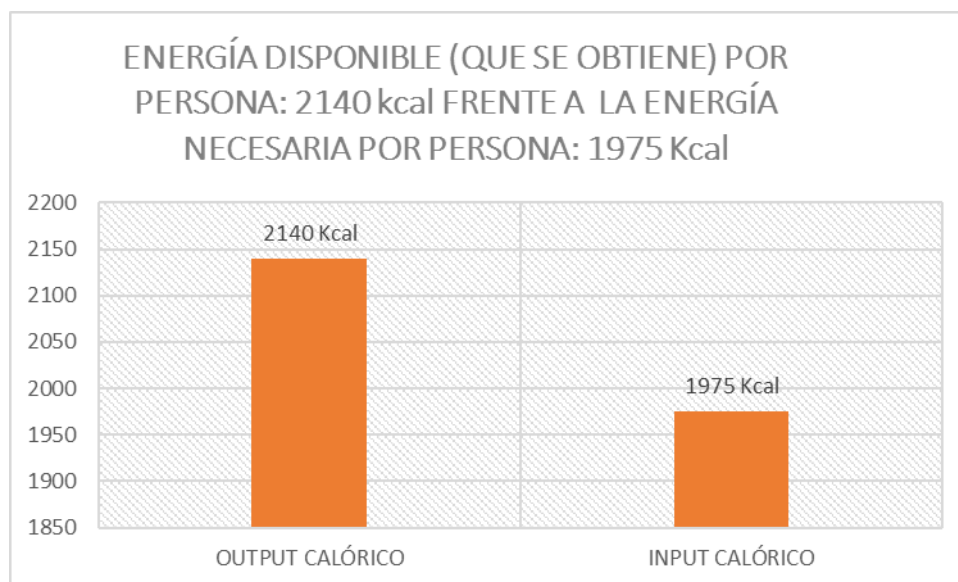


Fig. 1. Balance energético: cazadores-recolectores: Bosquimanos Kung. Fuente: (Lee,1979)  
Antropología ecológica: La subsistencia de los Bosquimanos Kung.

## 2.2. Tsembaga Maring: Sistemas de energía alimentaria de tala y quema:

Roy Rappaport en 1968 estudió los Tsembaga Maring de Papúa Nueva Guinea. Los Tsembaga emplean la "tala y quema", cultivan mandioca, caña de azúcar, batatas en pequeños huertos desbrozados y fertilizados por el método de tala y quema donde la ceniza de los árboles se utiliza como fertilizante. La productividad de los huertos disminuye después de 2 o 3 años, por lo que deben desbrozar nuevos terrenos. La regeneración puede durar entre 10 y 20 años. Además, reducen tanto el tiempo de barbecho que las malas hierbas reemplazan a los bosques. De esta forma, a largo plazo consumen una importante extensión del bosque. Solo invierten 380 horas anuales de tiempo de trabajo en hacer las cosechas y alimentan 10 veces más personas que los Kung. Sin embargo, los modos de producción de tala y quema tropicales se hayan condicionados por problemas ambientales como es la regeneración del bosque. También se agotan las especies

animales que son arbóreas. Las frutas y vegetales constituyen el 99% del peso usual de su ingestión diaria.

Para compensar la escasez de animales acumulan en sus tierras el cerdo, que consume y llega a pesar como una persona. Dejan que su población de cerdos crezca durante cierto número de años matándolos en ocasiones ceremoniales. Esta fiesta podría estar relacionada con el ciclo de deforestación de los huertos, así como con la regulación de la guerra y paz entre sus vecinos. En la figura 2 he hecho el balance energético comparado de los dos sistemas analizados a lo largo del presente estudio donde podemos apreciar que el output per cápita en los Tsembaga es superior al del sistema de caza y recolección.

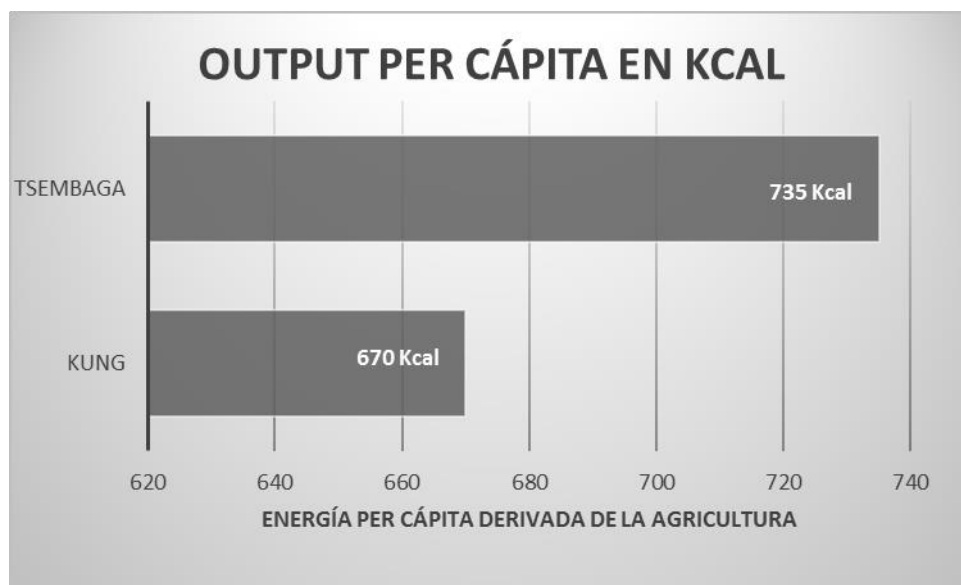


Fig.2 Fuente: Rappaport, R.A. (1987) Cerdos para los antepasados. El ritual en la ecología de un pueblo en Nueva Guinea.

### 2.3. Luts'un: la agricultura de regadío

Bajo condiciones favorables, la agricultura de regadío produce más calorías (output) por caloría de esfuerzo (input) que cualquier otro modo de producción preindustrial. Los Luts'un (en China) utilizan este sistema donde su cultivo principal es el arroz: 75% del total, después soja y maíz. Producían 5 veces más de lo que consumían, según los estudios realizados y el excedente se desviaba a la aldea, a los pueblos y ciudades donde el intercambio por dinero originaría una alta tasa de crecimiento demográfico. La justificación sería que ampliando la cantidad de agua que se suministra a los campos (aumentan los medios de producción), se puede invertir en la producción de cantidades crecientes de trabajo sin rendimientos decrecientes.

A continuación, se muestra una gráfica donde se compara la energía derivada de la agricultura per cápita para el sistema de cazadores-recolectores, el sistema de tala y quema y el de regadío. En él podemos apreciar el significativo aumento del output en Kilocalorías en la agricultura de regadío.

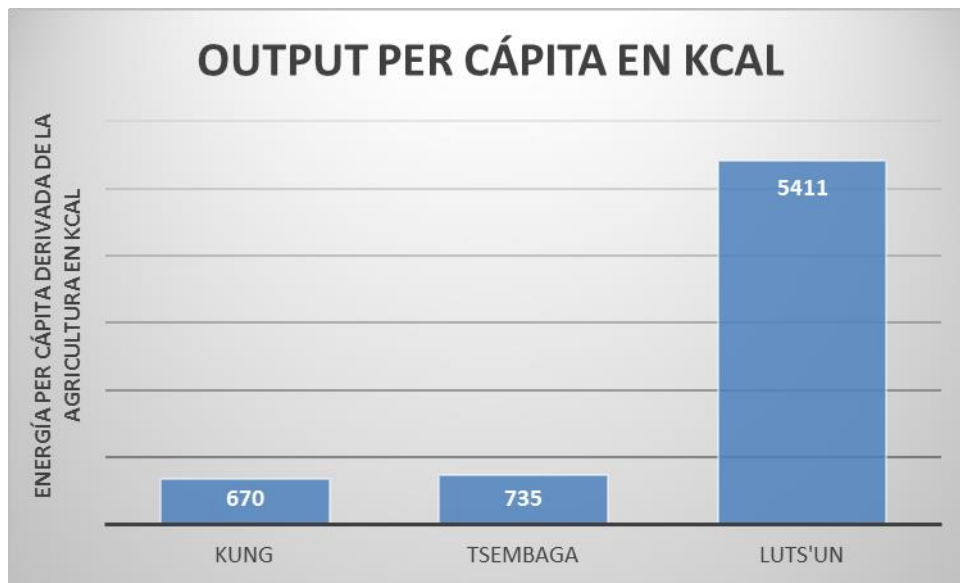


Fig. 3 Output per cápita: Luts'un. Fuente: Harris, M. (1984). Introducción a la antropología general.

#### 2.4. Sistemas industriales de energía alimentaria

En estos sistemas es difícil medir el output-input debido a que la cantidad de trabajo indirecto invertido en la producción de alimentos sobrepasa al directo. Los tractores, camiones, cosechadoras, petróleo y gas, pesticidas, herbicidas y fertilizantes representan la gran cantidad de trabajo indirecto necesario para por ejemplo cultivar cereales en una gran extensión. En 1970 se necesitaban 8 calorías de combustible para obtener una caloría de alimento. Hoy en día además se usa gran cantidad de energía simplemente para procesar y empaquetar los alimentos. Como podemos apreciar en la figura 4, la energía necesaria para producir una caloría de alimento se ha triplicado desde 1970 hasta el año 2000. En términos de eficiencia energética, resulta preocupante el hecho de que sea necesario invertir 30 calorías en el proceso de obtener una caloría de alimento.

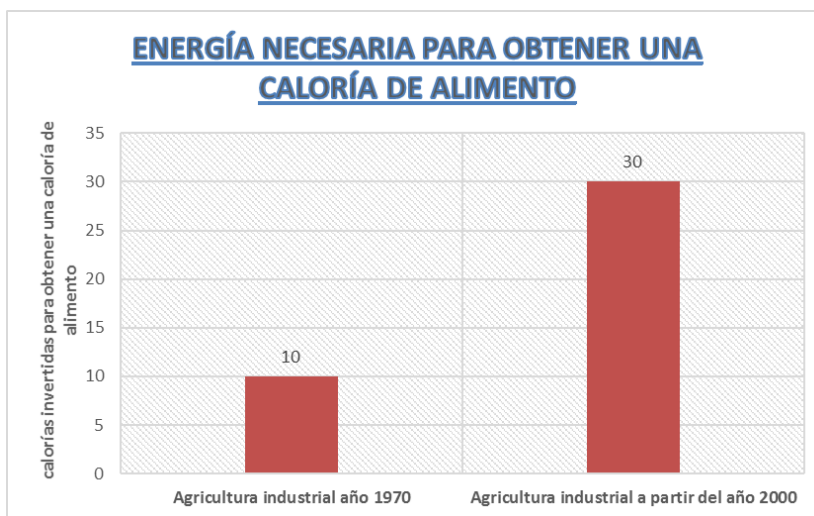


Fig.4 Agricultura industrial, Balance energético. Fuente: Pimentel, D., El uso de la energía en la agricultura, 2005.

### 3. Conclusiones

A la hora de medir la eficiencia energética habría que tener en cuenta multitud de factores como pueden ser, además del trabajo humano (inputs), la energía que por ejemplo los Tsembaga utilizan en la combustión de los árboles en el sistema de tala y quema, o la cantidad de calorías que se utilizan en el proceso de convertir los vegetales en carne de cerdo.

En el caso de los Luts'un también habría que contemplar el importante coste energético que conlleva moler el arroz y cocinarlo.

En el caso de los sistemas industriales se debe computar también en el balance energético, la gran cantidad de energía que se utiliza en procesar y empaquetar los alimentos: una botella de plástico de un litro, por ejemplo, requiere 2500 Kcal de input energético para ser procesada. También hay que añadir el transporte teniendo en cuenta el aumento de las distancias de la distribución de la producción. Además de todo ello, en términos energéticos, la eficiencia también debe contemplar el gasto creciente que supone depurar las aguas y el aire contaminados producidos por el uso de las fuentes de energía o también en el caso de desastres medioambientales.

La evolución que manifiestan las culturas a lo largo del tiempo supone un aumento en la cantidad de energía producida. Sin embargo, si ponemos el foco en la eficiencia para poner la energía en funcionamiento, el progreso no va unido a una mayor eficiencia energética, sino todo lo contrario. Como hemos podido apreciar a través de las gráficas mostradas a lo largo de este trabajo, un mayor nivel de complejidad técnica no va asociado siempre a una mayor efectividad en el uso de la energía de los ecosistemas. La falta de eficiencia que conlleva el *progreso* ha disparado la demanda de energía per cápita a nivel mundial desde 1860 hasta la actualidad, de modo que se han multiplicado por 20 los Kilogramos de equivalente de petróleo necesarios per cápita a nivel mundial. Si retrocedemos todavía más en el tiempo y comparamos la energía necesaria per cápita en las economías industrializadas con los sistemas de subsistencia de los cazadores-recolectores, la demanda de la primera es 125 veces mayor que la de la segunda.

El balance del uso de la energía en el sector agrícola que hemos analizado en el presente estudio nos muestra que el número de calorías necesarias para obtener una caloría de alimento se ha triplicado con la industrialización respecto de los sistemas tradicionales, entre otras causas por el aumento de la distancia entre el recurso y el consumidor. Este hecho explicaría en parte las causas de la crisis económica del sector agrario productivo.

Analizando las gráficas obtenidas a partir de los datos extraídos de las diferentes fuentes en ellas citadas, se puede concluir que el balance entre energía obtenida frente a energía necesaria resulta positivo en todos los sistemas de energía alimentaria analizados a excepción del sistema industrial de energía alimentaria.

Muchas son las medidas que podrían revertir el balance negativo de energía en nuestro sistema industrial alimentario. En primer lugar, potenciar el comercio local que reduce las distancias entre producción y consumo y también la necesidad de procesado de los alimentos a la vez que ayuda en la lucha contra la contaminación de los ecosistemas. En segundo lugar, la limitación del uso

de plásticos y otros envasados de productos alimenticios reduce también el uso de energía en el proceso y ayuda a la conservación del medio ambiente.

En este último término, sin duda se requiere de un tratamiento interdisciplinar que ayude a concienciar y a combinar diversas áreas de conocimiento y que proporcione oportunidades de autoorganización.

#### 4. Referencias bibliográficas

Bohannan, P. y Glazer, M. (1992). *Antropología Lecturas*. Madrid: McGraw-Hill.

Buxó, M. J. (1983) *Cultura y ecología en las sociedades primitivas*. Barcelona: Mitre.

Godelier, M. (1990). *Lo Ideal y lo Material: Pensamiento, Economías, Sociedades*. Madrid: Taurus Humanidades.

Harris, M. (1984). *Introducción a la antropología general*. Madrid: Alianza.

Lee, R. B. (1981). La subsistencia de los bosquimanos kung: Un análisis de input-output. En *Llobera, J.R. (ed.), Antropología económica: Estudios etnográficos.*, Anagrama, Barcelona.

Pimentel, D y Pimentel, M. (1996) *Food, energy and society*. Niwot, Colorado: University Press.

Pimentel, D. y Pimentel M. (2005). El uso de la energía en la agricultura. *LEISA. Revista de Agroecología*, 21 (1):6-8.

Sahlins, M. (1977). *Economía de la edad de piedra*. Madrid: Akal.

Steward, J. (1955). *Theory of culture change: The methodology of multilineal evolution*.

Urbana: University of Illinois Press.

White, L. (1959). *The evolution of culture; the development of civilization to the fall of Rome*. New York: McGraw-Hill.

Fuentes web consultadas:

<http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/energia-en-la-finca>.

<http://www.bp.com/content/energy-economics/statistical-review-2016>.

<http://www.ecodes.com>.

<http://www.erenovable.com>.

<http://www.greenfacts.org/es/ecosistemas>.

<http://www.iaea.org>.

<http://www.noaa.gov> Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de E.U.A. (NOAA).

<http://www.revistaecosistemas>.