



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

**REVISTA CIENTÍFICA de las  
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

**37**



<b>Recubrimiento electroquímico selectivo del tipo «níquel negro» para colectores solares.....</b>	<b>1</b>
<b>Obtención de carbones a partir de residuos sólidos de naranja: actividad catalítica de la hematina en la gasificación con CO2 y en el desarrollo de la superficie porosa del carbón .....</b>	<b>7</b>
<b>La alimentación como proceso ecosófico.....</b>	<b>25</b>
<b>Algunos rasgos reguladores de la evolución histórica de la matriz energética mundial. Su influencia en Cuba.....</b>	<b>35</b>
<b>Método propuesto para estimar el cálculo del consumo eléctrico en terminales aéreas.....</b>	<b>50</b>

## **Recubrimiento electroquímico selectivo del tipo «níquel negro» para colectores solares**

### **Electrochemical selective coating of the «black nickel» type for solar collectors**

*Por Manuel Álvarez González\* y Sh. Fayziev*

*\* Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA),  
Cuba.e-mail: malvarez@cubaenergia.cu*

#### **Resumen**

Se estudia la influencia de algunos factores que intervienen en el proceso de elaboración de los recubrimientos selectivos del tipo «níquel negro», sobre los valores de la absorbencia solar  $\alpha_s$  y la emisividad  $\epsilon$  resultantes. Se determinan los regímenes de precipitación más recomendados para obtener capas de «níquel negro» en sustrato de cobre y acero, que no actúan notablemente sobre la emisividad térmica  $\epsilon$  del material de sustrato, y que permiten aumentar al máximo la absorbencia solar  $\alpha_s$ . Se exponen las gráficas de las propiedades ópticas de algunos de los recubrimientos selectivos creados.

**Palabras clave:** «Níquel negro», absorbencia solar, emisividad térmica, reflexividad espectral

#### **Abstract**

The present paper presents a study of the influence of some factors that take part in the process of elaboration of the selective coatings of "black nickel" type on the values of the solar absorbance  $\alpha_s$  and the resulting emissivity  $\epsilon$ . The most recommended precipitation regimes are determined to obtain "black nickel" layers in copper and steel substrates, which do not notably affect the thermal emissivity  $\epsilon$  of the substrate material, and which allow the solar absorbance  $\alpha_s$  to be maximized. We show graphs of the optical properties of some of the selective coatings created.

**Keywords:** «Black nickel», solar absorbance, thermal emissivity, spectral reflectivity

#### **Introducción**

El interés por alcanzar mayores temperaturas de operación de los colectores solares ha conducido las investigaciones hacia la búsqueda de nuevos tratamientos de la superficie del captador, de manera que absorba la mayor parte de la energía solar y emita solamente una pequeña fracción infrarroja del espectro, con lo cual es posible aumentar la eficiencia de los colectores solares disminuyendo las pérdidas de calor radiactivas.

La creación de estos recubrimientos negros selectivos es posible debido a que la distribución espectral de la radiación solar y la emitida desde el captador no se superponen, como exponen otros investigadores [Duffie y Beckman, 1974].

El propósito de los autores es crear e investigar recubrimientos de «níquel negro», los cuales se producen como resultado de la precipitación conjunta de níquel metálico y de los productos secundarios de las reacciones electrolíticas (óxido de zinc hidratado, sulfito de zinc y níquel) [Samartsev, 1961].

La superficie selectiva «níquel negro» se considera una de las más adecuadas como captador en las instalaciones solares, debido a sus características ópticas y técnico-económicas [Tabor, 1961].

En el presente trabajo se aborda el estudio de la influencia de algunos factores que intervienen en el proceso de elaboración de superficies selectivas del tipo «níquel negro», sobre los valores de la absorbencia solar  $\alpha_s$  y la emisividad térmica  $\epsilon$  resultantes.

### **Materiales y métodos**

La composición química del baño electrolítico que permitió la elaboración de los recubrimientos de «níquel negro» es la siguiente:

<b>Reactivo</b>	<b>g/L</b>
NiSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	50
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	25
KCNS	32
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15

Se obtiene pH = 5

Se utilizó una cuba de cerámica y un ánodo de níquel.

La temperatura del electrolito se mantuvo entre 20 y 21 °C mediante un calentador eléctrico de inmersión con recubrimiento de cuarzo. La separación entre los electrodos fue de 10 cm. Los precipitados de «níquel negro» se obtienen a densidades de corriente D, entre 1 y 10 ma/cm<sup>2</sup>, y el tiempo de precipitación varía entre 0,5 y 5 minutos.

Se utilizó como sustrato cobre y acero, los cuales fueron desoxidados y desgrasados en agua destilada.

El suministro de corriente se llevó a cabo desde un rectificador de selenio modelo BCA-6K (URSS). Las propiedades ópticas que se midieron fueron la reflexividad espectral e integral en un fotómetro modelo FM-85 (URSS), y la emisividad integral en un termo radiómetro modelo TIS (URSS).

## **Resultados y discusión**

Los resultados de las mediciones de la absorbencia solar y de la emisividad térmica del «níquel negro» formado sobre cobre y acero, como una función del tiempo de precipitación, para diferentes valores de la densidad de corriente, se muestran en las figuras 1 y 2.

En la figura 1, correspondiente a los recubrimientos sobre sustratos de cobre, se observa que con el crecimiento del tiempo de precipitación la absorbencia solar  $\alpha_s$  aumenta rápidamente, hasta alcanzar un valor próximo a 0,9 en un periodo de tiempo aproximado de un minuto para densidades de corriente entre 6 y 14 ma/cm<sup>2</sup>, aumentando al mismo tiempo la emisividad térmica, resultados que se exponen en la figura 2 para los recubrimientos sobre sustratos de acero, y que permiten establecer que la absorbencia solar alcanza iguales valores en el mismo período de tiempo que si se tratara del cobre.

Sin embargo, la emisividad alcanza valores de  $\epsilon = 0,2-0,5$  para densidades de corriente entre 6 y 10 ma/cm<sup>2</sup>, y de aproximadamente 0,5 para densidades

de corrientes entre 12 y 14 ma/cm<sup>2</sup>. Para ambos materiales, a partir de un tiempo

$t = 60$  seg, la emisividad térmica crece rápidamente, sin un crecimiento significativo del coeficiente de absorción en el intervalo de densidades de corriente

$D = 12$  ma/cm<sup>2</sup>. Para una densidad de corriente  $D = 14$  ma/cm<sup>2</sup>, tanto la absorbencia como la emisividad comienzan a disminuir a partir de tiempos entre 2 y 4 minutos. Esto se explica porque a estas condiciones se obtuvieron precipitados de «níquel negro» con vetas de níquel brillante.

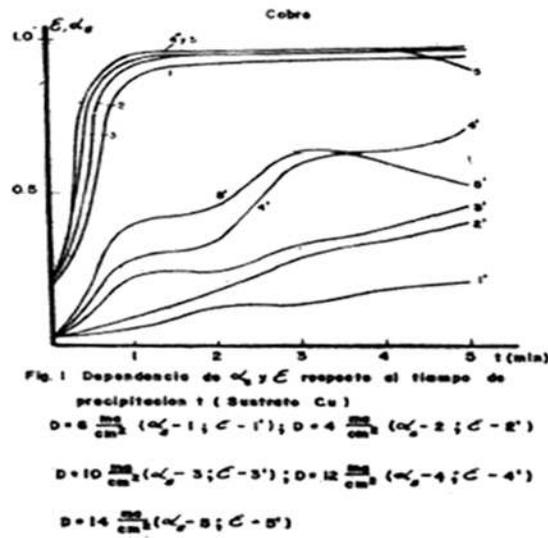


Fig. 1. Dependencia de  $\alpha_s$  y  $\epsilon$  respecto al tiempo de precipitación (sustrato de cobre)

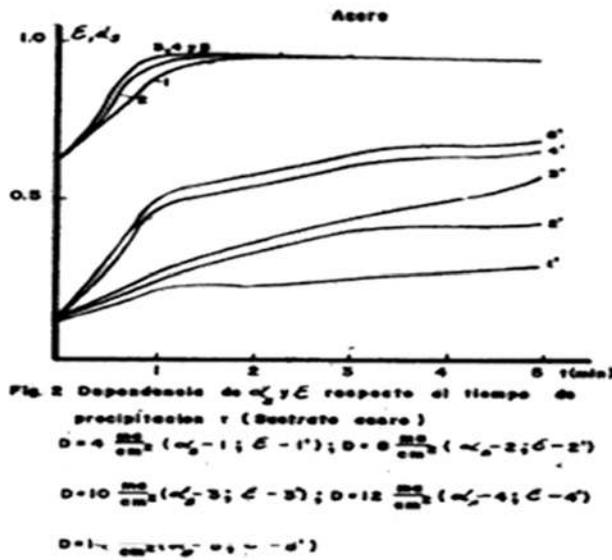


Fig. 2. Dependencia de  $\alpha_s$  y  $\epsilon$  respecto al tiempo de precipitación (sustrato acero).

En la figura 1 se observa que para densidades de corrientes menores que  $3 \text{ ma/cm}^2$ , a pesar de que la emisividad permanece cercana a la del material del sustrato, el valor de absorbencia solar es aún lejano a los valores deseados. Para el sustrato de acero, en la figura correspondiente

se aprecia que sucede lo mismo, aunque para valores de la densidad de corriente inferiores a  $2 \text{ ma/cm}^2$ .

De ambas figuras se observa que para tiempos de precipitación entre 30 y 90 segundos, el recubrimiento prácticamente no afecta el valor de la emisividad del material, lo cual pone de manifiesto que los mismos son aún transparentes a la radiación infrarroja, alcanzando la absorbencia solar valores deseados, aunque en diferentes intervalos de la densidad de corriente de acuerdo al material base.

En la figura 3 se muestran las curvas de reflexividad espectral  $\rho_\lambda$  de algunos de los recubrimientos obtenidos, en las que se observa la disminución de la reflexión del cobre y el aumento notable de la reflexividad espectral en la zona de longitudes de ondas  $\lambda = 2,0-2,5 \mu\text{m}$ .

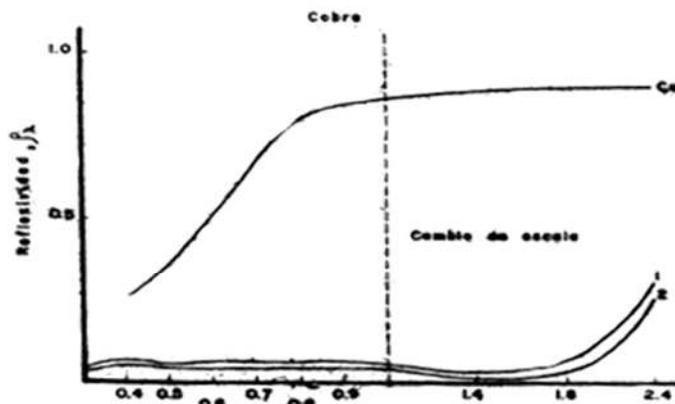


Fig. 3 Reflexividad espectral de algunos recubrimientos  
 "Níquel negro" (Sustrato de cobre) Cu ( $\alpha_{\text{Cu}} = 0.10$ ;  $\epsilon = 0.03$ ) {  
 1-  $D = 12 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$ ;  $t = 1 \text{ min}$  ( $\alpha_{\text{Cu}} = 0.95$ ;  $\epsilon = 0.29$ )  
 2-  $D = 6 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$ ;  $t = 2 \text{ min}$  ( $\alpha_{\text{Cu}} = 0.92$ ;  $\epsilon = 0.15$ )

Fig. 3. Reflexividad espectral de algunos recubrimientos

## Conclusiones

Como resultado del análisis de una gran cantidad de experimentos sobre la obtención de precipitados de «níquel negro», y de la investigación de la dependencia de sus propiedades ópticas con relación a los regímenes de precipitación, es posible obtener superficies selectivas del tipo «níquel negro» con buenas características ópticas, bajo las condiciones siguientes: cobre,

$D = 6-8 \text{ ma/cm}^2$  en un período  $t = 60-90 \text{ seg}$ ; acero;  $D = 4-8 \text{ ma/cm}^2$ , en el mismo período.

## **Nomenclatura**

$D$ : Densidad de corriente, ma/cm<sup>2</sup>

$t$ : Tiempo de precipitación, seg

$\varepsilon$ : Emisividad térmica

$\alpha_s$ : Absorbencia solar

$T$ : Temperatura, °C

## **Reconocimientos**

Queremos dejar constancia de nuestro agradecimiento al colectivo del Instituto Físico-Técnico de la Academia de Ciencias de Uzbekistán, y en especial al Ing. G. F. Manasipov, por la colaboración brindada en el desarrollo de los experimentos.

## **Bibliografía**

DUFFLE J. A. Y W. A. BECKMAN. *Solar Energy Thermal Processes*. John Wiley and Sons, 1974.

SAMARTSEV, A. G. E I. V. ANDREEVA. «Investigación del proceso de creación de níquel negro», en *Revista Físico Química*, Tomo XXIV, ACC, URSS, No. 4, abril 1961, pp. 892-899 (en ruso).

TABOR, H., J. HARRIS Y B. DORAN. «Further Studies on Selective Black Coating, United Nations Conference on New Sources of Energy». April 21, 1961.

**Obtención de carbones a partir de residuos sólidos de naranja:  
actividad catalítica de la hematina en la gasificación con CO<sub>2</sub>  
y en el desarrollo de la superficie porosa del carbón**

**Obtention of charcoal from orange solid waste: catalytic activity of  
haematin in gasification with CO<sub>2</sub> and in the development of the  
porous surface of charcoal**

*Por Francisco Márquez Montesino\*,*

*Leonardo Aguiar Trujillo\* y Rochel Montero Lago\*\**

*\* Grupo de Energía de la Universidad de Pinar del Río, Cuba.*

*e-mail: fmarquez@af.upr.edu.cu; leonardo@meca.upr.edu.cu*

*\*\* Departamento de Química, Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil.*

*e-mail: rochellago@yahoo.com.br*

**Resumen**

El objetivo general de este trabajo es la obtención de carbón y el estudio de la influencia catalítica del hierro en la velocidad de gasificación y el desarrollo

de la superficie porosa, en una atmósfera de dióxido de carbono, a partir del carbón obtenido de residuos sólidos de naranja durante el proceso de obtención de jugos de cítricos, en la provincia de Pinar del Río, antes de impregnar con hierro y después de impregnado, así como antes y después de su activación. Se le practicó el análisis previo y elemental a la muestra original y a los carbones obtenidos. Con el fin de conocer los factores que influyen en la pirólisis, así como para establecer una cinética de este proceso, se realizaron experimentos dinámicos en termobalanza calentando las muestras hasta 900°C, con diferentes tasas de calentamiento y atmósfera inerte, registrando datos de tiempo, temperatura y peso durante dicho periodo. Se pudo concluir que la máxima desvolatilización de la muestra ocurre entre 250 y 350 °C, y que a partir de 600 °C hay una tendencia a la estabilidad en la pérdida de masa, por lo que se escogió el valor de temperatura de 600 °C, y tasa de calentamiento de 10 °C/min, para obtener los carbones a utilizar en los experimentos. Posteriormente se efectuó el estudio de influencia del catalizador Fe por impregnación de hematina, en el proceso de gasificación con CO<sub>2</sub> de los carbones obtenidos. Se prepararon las disoluciones a partir de Fe (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O, lográndose diferentes porcentajes de impregnación de hematina en las muestras de carbón a 5, 10, 20 y 30%; con el aumento de la temperatura, la hematina da como resultado final Fe. Los resultados concluyeron que la mejor velocidad de gasificación se alcanzó impregnando el carbón con 10% de hematina, alcanzándose una energía de activación de 156 kJ/mol, mientras que sin impregnar resultó de 186 kJ/mol. Carbones primarios, así

como otros impregnados con hematina, fueron activados con CO<sub>2</sub> por gasificación parcial hasta 50% de pérdida por combustión, donde la variable experimental fue solo el porcentaje de impregnación, obteniéndose como resultado que el hierro (Fe) no tiene una influencia considerable en el desarrollo de la superficie de los carbones con vista a su utilización como adsorbentes.

**Palabras clave:** Carbón, hematina, impregnación, gasificación, actividad catalítica

### **Abstract**

This paper is addressed to the production of charcoal from the orange solid waste created during the process of obtaining citrus juices in the province of Pinar del Río. Its main objective is the study of the catalytic influence of iron on the speed of gasification and the development of the porous surface in an atmosphere of carbon dioxide, from the charcoal obtained, before and after introducing iron, as well as before and after its activation. The previous and basic analysis was carried out on the original sample and on the coals obtained. In order to know the factors that influence the pyrolysis, as well as to establish a kinetics of this process, we carried out dynamic experiments in thermobalance by heating the samples up to 900°C, with different heating rates and inert atmosphere, recording data on time, temperature and mass during that period. It was concluded that the maximum devolatilization of the sample occurs between 250 and 350°C, and from 600 °C there is a tendency to stabilization in the loss of mass. For this reason, the temperature of 600°C and the heating rate of 10 °C/min, were chosen to obtain the charcoals to be used in the experiments. Afterward, the influence of iron (Fe) as a catalyst was carried out by adding haematin in the process of gasification of the charcoals obtained with CO<sub>2</sub>. The solutions were prepared from Fe (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O, achieving different percentages of impregnation of haematin in the charcoal samples at 5, 10, 20 and 30%; with the increase of the temperature, the haematin gives Fe as a final result. The results were that the best gasification rate was achieved by adding the 10% haematin to the charcoal, reaching an activation energy of 156 kJ/mol, while without adding any haematin it was 186 kJ/mol. Primary charcoals, as well as others impregnated with hematin, were activated with CO<sub>2</sub> by partial gasification up to 50% of loss by combustion, where the experimental variable was only the percentage of impregnation, obtaining as a result that iron (Fe) has no a considerable influence in the development of the surface of the charcoals considering their use as adsorbents.

**Keywords:** Charcoal, haematin, impregnation, gasification, catalytic activity

## Introducción

Los gastos energéticos y el cambio climático, en los que el consumo de combustibles fósiles tienen una gran incidencia, han conducido a buscar fuentes renovables de energía, que a su vez contribuyan a la mitigación del cambio climático y especialmente, al calentamiento global.

Una de las fuentes primarias renovables de energía lo constituye la biomasa vegetal y forestal; en ello, los residuos del tratamiento industrial de los cítricos están ocupando un lugar importante.

En Cuba, un elevado volumen de la naranja que se produce, es destinado a la industria de obtención de jugos, o zumos concentrados. Existen varias industrias en el país que procesan cítricos con tales fines, ubicadas en las regiones con dichas plantaciones.

Estas industrias son altas productoras de residuos y el porcentaje de estos sólidos está en el orden de 40-60% del volumen total procesado, lo que significa que esas industrias procesadoras para obtener jugos o zumos concentrados, en Cuba, generaron en el 2005 un volumen que supera las doscientas toneladas de residuos sólidos (corteza, hollejos, semillas), siendo destinados actualmente, en su totalidad, al alimento animal vacuno. Otro destino importante que pueden tener, es como materia prima para la obtención de energía y carbones.

Con tal propósito, se realizaron trabajos de investigación en el Laboratorio de Investigaciones Catalíticas, correspondiente al Departamento de Química de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), Brasil.

Para las tareas de investigación planificadas, se utilizaron como materia prima los residuos sólidos de naranja del proceso de obtención de jugos o zumos, en la provincia de Pinar del Río. Este precursor se compone principalmente de corteza, hollejos y semillas. Los procesos de tratamiento utilizados han sido el secado y la trituración, para ser empleados en la investigación.

El objetivo general de este trabajo ha sido la obtención de carbón y el estudio de la influencia catalítica del hierro en la velocidad de gasificación, en una atmósfera de dióxido de carbono, del carbón obtenido de esta materia prima original, examinando el desarrollo de su superficie específica antes de impregnar con hierro y después de impregnado, y su comportamiento antes y después de su activación.

Trabajos de otros autores sirvieron de fundamentación teórica para emprender este estudio, como los de Glen R. Ponder y Geoffrey N. Richards [1994], quienes reportaron la actividad catalítica del Fe a temperaturas superiores a los 600 °C en la gasificación con CO<sub>2</sub> de

carbones obtenidos de madera de plantas de algodón, impregnada con  $\text{FeSO}_4$  y con  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , destacándose la actividad catalítica del Fe en la reacción C-CO<sub>2</sub>, planteando que ello suceda, probablemente, por un mecanismo de transferencia de oxígeno que involucra la reducción del FeO.

Otras fundamentaciones semejantes para explicar la actividad catalítica de los metales en la gasificación de los carbones, aparecen también en Activated Carbon, Capítulo 5, de Harry Marsh y Francisco Rodríguez Reinoso [2006].

El estudio realizado permitió conocer las posibilidades de elevar la reactividad de los carbones de este residuo de biomasa en los procesos de gasificación del carbón con fines energéticos, lo que permitirá un mayor ahorro de energía durante el desarrollo del proceso y menor contaminación ambiental al ser modificado el mecanismo de gasificación.

## **Experimental**

Los trabajos de investigación comenzaron por la selección de la materia prima, con vistas a realizar estudios de termoconversión con la finalidad de obtener un carbón que, posteriormente, se convirtió en objeto de estudio. A partir de ahí se iniciaron los estudios a escala de laboratorio, comenzando por los termogravimétricos en la biomasa de partida.

### **Estudio termogravimétrico (Análisis previo)**

Inicialmente se le practicó el análisis previo y elemental a la muestra original (biomasa).

#### *Análisis previo*

Para estos análisis se siguieron las normas ISO.

#### *Humedad (H)*

Se utilizó un crisol con tapa, que se secó a 120 °C por un tiempo de 30 min., dejándose posteriormente enfriar en una desecadora y se pesó en balanza analítica con precisión de 0,001 g. La muestra se pesó en el crisol, llevándose el conjunto (crisol más la muestra) a la estufa una vez que esta alcanzó la temperatura de 140 °C, por un tiempo de 3 h. Transcurrido este tiempo se tapó el crisol y se pasó a una desecadora para su enfriamiento, pesándose el producto final hasta masa constante. La humedad se calculó de acuerdo con la expresión siguiente:

$$\% \text{ de H} = [(A-B) / (A-C)] \times 100 = \text{g. agua} / \text{g.muestra} \times 100$$

Donde:

*A*: Crisol más masa de la muestra original.

*B*: Crisol más masa seca.

*C*: Crisol vacío.

#### *Volátiles (V)*

La determinación de volátiles se llevó a cabo en una mufla a 900 °C. Un gramo de la muestra seca se introdujo en un crisol con tapa y se colocó en la mufla a 900 °C durante 7 minutos. Luego se dejó enfriar el producto resultante con el crisol y su tapa, y los cálculos se hicieron según la expresión siguiente:

$$\% MV = \frac{100(B - F) - Mc(B - G)}{(B - G)} \times 100$$

El divisor (B-G) se multiplica por (100-Mc).

*B*: masa del crisol más la muestra original.

*F*: Masa del crisol más muestra después de tratada.

*G*: Masa del crisol vacío.

*Mc*: Humedad.

#### *Ceniza (C)*

El crisol con la muestra seca y su tapa se colocó en la mufla a 650 °C durante un tiempo no inferior a 16 h. Se pasó a desecadora y después se pesó hasta masa constante.

Los cálculos se hicieron por la expresión siguiente:

$$\% C = [(F - G) / (B - G)] \times 100 = \text{g.ceniza} / \text{g.muestra} \times 100$$

Donde:

*F*: Masa en g del crisol más las cenizas.

*G*: Masa en g del crisol vacío.

*B*: Masa en g del crisol más la muestra.

El porcentaje de carbono (Cf) se calculó por diferencia en base.

### **Análisis elemental**

Se utilizó un aparato Perkin-Elmer, modelo 240 C, que permite determinar los porcentajes de carbono (C), hidrógeno (H) y nitrógeno (N); el porcentaje de oxígeno (O) se obtiene por diferencia sobre la base de muestra seca, descontando las cenizas.

Resultados del análisis inmediato y elemental de la muestra:

Tabla 1. Análisis inmediato (% en peso)

Parámetro	Norma analítica	Recibida
Humedad	ISO-589-1981	4,5
Cenizas	ISO-1171-1976	5,1
Volátiles	ISO-5623-1974	73,3
Carbono fijo		17,1

Tabla 2. Análisis elemental (% en peso)

Parámetro	Norma analítica	Recibida
Carbono		42,4
Hidrógeno*		6,17
Nitrógeno		1,39
Azufre		0,05
Humedad	ISO-589-1981	8,62

\* El porcentaje de hidrógeno incluye el hidrógeno de la humedad.

Nota: El O<sub>2</sub> se obtiene cerrando el balance a 100%.

### Estudio termogravimétrico de la pirólisis en termobalanza

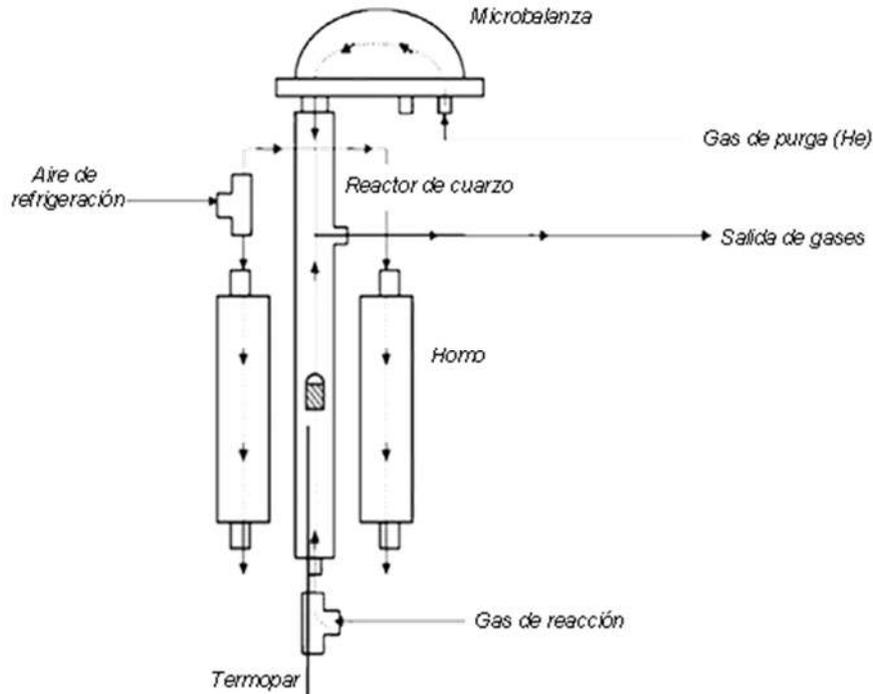
Con el fin de conocer los factores que influyen en la pirólisis de los residuos sólidos de naranja, así como para establecer una cinética de este proceso, se realizaron experimentos dinámicos e isotérmicos en termobalanza.

Se utilizó una termobalanza marca CAHN, modelo TG-131.

Los componentes principales de la termobalanza son: una microbalanza, un reactor construido en cuarzo y un horno calentado eléctricamente. El control de las temperaturas del sistema, así como la toma de datos, se realizaron con una computadora compatible mediante un programa informático.

La figura 1 muestra el esquema de la termobalanza utilizada para los estudios previos de termogravimetría (TG), los que permitieron seleccionar

posteriormente la temperatura de pirólisis para la obtención del carbón que se obtuvo en el horno.



*Fig.1. Esquema de la termobalanza utilizada para los estudios previos de termogravimetría.*

Se siguieron los métodos experimentales que se describen a continuación:

### **Experimentos dinámicos**

Para conocer los factores que influyen en la pirólisis de los residuos sólidos, se realizaron una serie de experimentos dinámicos. En estos, se estudió como resultado del proceso de descomposición térmica, la variación de la conversión final alcanzada y de los parámetros cinéticos, en función de las condiciones de operación: velocidad de calentamiento, diámetro de partícula, caudal de gas y peso de la muestra.

Estos experimentos se llevaron a cabo mediante el calentamiento de las muestras hasta 900 °C con diferentes velocidades y atmósfera inerte, y registrando datos de tiempo, temperatura y peso durante dicho periodo de calentamiento.

Se seleccionaron como variables de estudio las siguientes:

- Tamaño de partícula, factor que influye en la transferencia interna. Los diámetros estudiados son: < 50, 50-106 y 106-250  $\mu\text{m}$ .

- Cantidad de muestra: la que influye en la transferencia externa. Las cantidades de muestra introducidas son: 5, 10 y 15 mg.
- Caudal de nitrógeno: influye también en la transferencia externa. Los caudales estudiados son: 100, 150 y 200 cm<sup>3</sup>N/min.
- Velocidad de calentamiento: influye en la conversión final. Las velocidades de calentamiento estudiadas son: 5, 10 y 15 °C/min.

En el proceso de descomposición térmica se analizaron las respuestas:

- Variación de la conversión final alcanzada.
- Los parámetros cinéticos.

De la curva integral obtenida del análisis termogravimétrico (Fig. 2), se puede observar que la máxima desvolatilización de la muestra ocurre entre 250 y 350 °C, y a partir de 600 °C hay una tendencia a la estabilidad en la pérdida de masa.

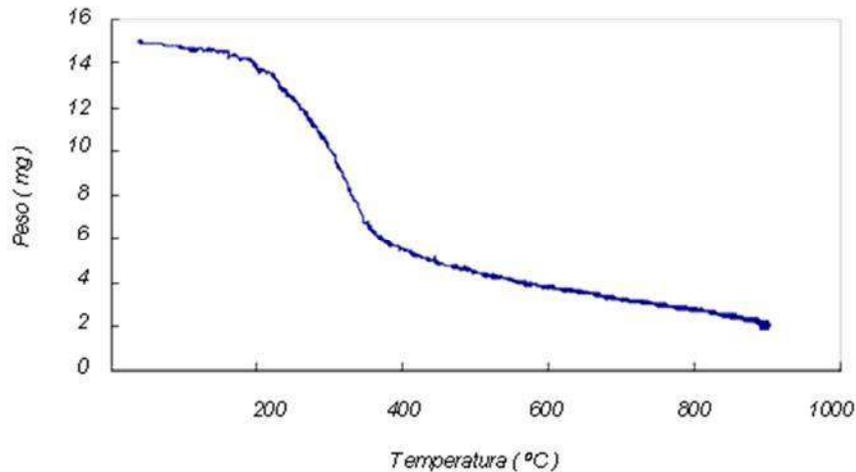


Fig. 2. Curva integral obtenida del análisis termogravimétrico.

Por tal razón se escogió el valor de temperatura de 600 °C para realizar el proceso de pirólisis.

### **Sistema experimental en la pirólisis en lecho fijo**

Para realizar el estudio de la descomposición térmica de la biomasa, se utilizó un sistema experimental que permite:

- Controlar las variables de operación que pueden influir en el proceso de pirólisis, tales como la temperatura del lecho, la velocidad de calentamiento del sólido y el caudal de gas inerte utilizado.

- Tomar medidas de las temperaturas en el interior del reactor y de la muestra.
- Recoger los productos de la reacción (gases, alquitranes y carbón).

En la figura 3 se muestra el reactor de pirólisis en lecho fijo utilizado para el proceso pirolítico, donde el objetivo fundamental fue la obtención del carbón.

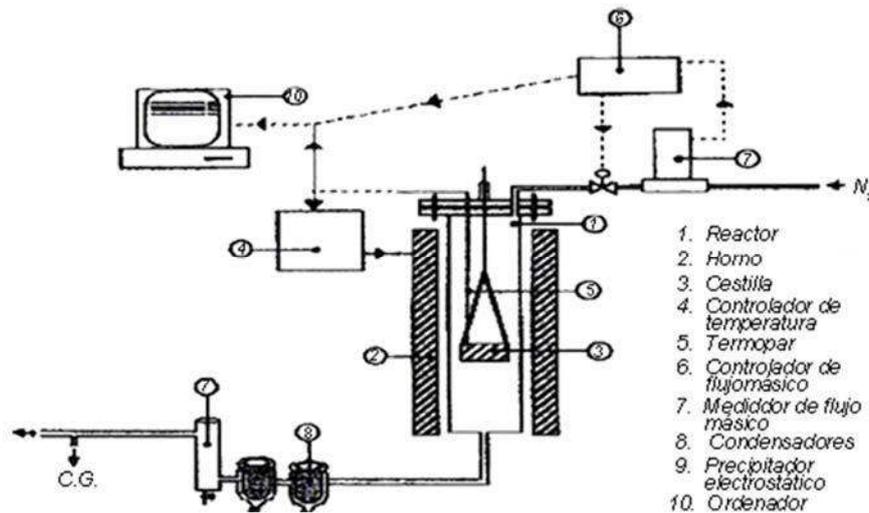


Fig. 3. Reactor de pirólisis en lecho fijo

Se utilizó un reactor de pirólisis discontinuo. Se trata de un reactor tubular de 320 mm de longitud y 90 mm de diámetro interno, construido con acero inoxidable SS 316L. Durante la realización de los experimentos se introdujo, por la parte superior del reactor, una corriente de gas inerte (nitrógeno), que sale por la parte inferior, barriendo de este modo la zona donde se ha introducido la muestra.

El reactor se encuentra montado dentro de un horno eléctrico tubular de JH. Hornos, modelo HEE/CS, que permite alcanzar 1 000 °C, con una potencia de 2,5 kW. Las dimensiones del horno son: 325 mm de largo, 355 mm de diámetro exterior y 120 mm de diámetro interior. La máxima velocidad de calentamiento que se puede alcanzar es de 15 °C/min.

La temperatura alcanzada en el interior del reactor se controla mediante un controlador. Para tomar medidas de temperatura se utilizan cinco termopares de tipo K: uno situado en el centro del reactor, justo sobre la muestra, y se utiliza para realizar el control de la temperatura del horno; los otros cuatro termopares se utilizan para determinar los perfiles de temperatura, tanto en el reactor vacío como dentro del lecho de muestra.

El caudal de nitrógeno se controla mediante un controlador de flujo másico de tipo térmico, provisto de su propio controlador. A la salida del reactor se conecta un sistema de recogida de alquitranes y limpieza de gases, que consta de dos condensadores de vidrio enfriados con hielo colocados en serie, seguidos de un precipitador electrostático, también de vidrio y dotado de una fuente de corriente continua que permite establecer una diferencia de potencial entre los electrodos de 5 kV, con una intensidad máxima de 6 mA.

El residuo de cítrico se tamizó, escogiéndose las partículas de tamaño más homogéneo menores a 300  $\mu\text{m}$  ( $D_p < 300 \mu\text{m}$ ). Los ensayos de pirólisis fueron realizados en atmósfera inerte, para lo que se usó un flujo de 60  $\text{cm}^3$  (STP)/min de  $\text{N}_2$  tipo N-50 y pureza 99,999%.

Las condiciones experimentales usadas en el reactor de lecho fijo son las siguientes:

- Presión: atmosférica.
- Caudal de gas inerte: 800 ml/min de  $\text{N}_2$ .
- Cantidad de residuos sólidos de cítrico: 40 g.
- Temperatura inicial de los experimentos: 30  $^\circ\text{C}$ .
- Posición del fondo de la cesta respecto a la tapa del reactor: 24,0 cm.
- Velocidad de calentamiento  $\beta$ : 10  $^\circ\text{C}/\text{min}$ .

Como se hizo para la muestra original, de igual forma se procedió para determinar los valores del análisis previo para el carbón.

*Tabla 3. Análisis inmediato (% en peso)*

Parámetro	Norma analítica	Recibida
Humedad	ISO-589-1981	3,1
Cenizas	ISO-1171-1976	13,3
Volátiles	ISO-5623-1974	17,6
Carbono fijo		66,0

## Desarrollo de la impregnación

Preparación de los composites Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/C

### Procedimiento

1. Se prepararon las disoluciones de Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O con diferentes porcentajes de hematita a 5, 10, 20 y 30%.

El recipiente (un beaker de 150 cm<sup>3</sup>) con la disolución, se colocó en baño de María a 60 °C, en una plancha calentadora con agitación magnética, hasta que toda el agua se evaporó.

La tabla siguiente muestra los datos de preparación de la muestra.

*Tabla 4. Valores de las masas de la muestra original de carbón y del material de impregnación utilizado para preparar los composites*

Porcentaje	m(Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ) calculada	m(Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ) pesada	m(carbón) calculada	m(carbón) pesada
5	0,515	1,508	1,9	1,9122
10	1,031	1,0325	1,8	1,8058
20	2,062	2,063	1,6	1,5903
30	3,094	3,0932	1,9	1,9043

2. Después se puso a secar el carbón en una estufa, a 100 °C, durante 17 horas.
3. Se colocaron los carbones en desecadora al vacío, hasta que se realizaron los TG con CO<sub>2</sub>.
4. Al iniciar el TG, primero se purgó el equipo durante una hora con N<sub>2</sub>, y después con CO<sub>2</sub> hasta su estabilización, iniciándose posteriormente el experimento.
5. Los carbones se simbolizaron escribiendo primero el porcentaje de impregnación, seguido de la fórmula del agente gasificante, la temperatura de pretratamiento, y finalmente la temperatura de gasificación, a la cual se dejó el carbón durante una hora. Además, se utiliza el símbolo CemCO<sub>2</sub> para el carbón primario (sin impregnar), y 10CO<sub>2</sub> dir, que significa gasificación directa del carbón impregnado a 10% a la temperatura de 800 °C.

## **Activación y caracterización de los carbones**

El carbón primario más los carbones impregnados fueron activados con CO<sub>2</sub>, a un valor de temperatura acorde al intervalo de temperatura en que se obtuvieron los mejores valores de energía de activación (E<sub>a</sub>). Se escogió el valor de temperatura de 720 °C.

Para la activación se colocó la muestra de carbón en un tubo de cuarzo, posteriormente se le circuló una corriente de CO<sub>2</sub> con flujo másico de 100 mL/s durante 15 minutos, garantizando una atmósfera libre de aire en el interior del tubo.

El tubo con la muestra se colocó en el interior del horno, después de alcanzar esta la temperatura de gasificación deseada; una vez estabilizado el valor de temperatura, se dejó la muestra gasificando durante el tiempo previsto.

## **Discusión de los resultados**

### **Análisis termogravimétrico de la gasificación y cinética del proceso**

En las figuras siguientes se muestran las curvas TG en función de las temperaturas utilizadas para la gasificación.

La figura 4 muestra una clara influencia mayor, con respecto al resto de los carbones del catalizador utilizado en la velocidad de gasificación del carbón impregnado a 10%, con calentamiento directo hasta 800 °C por un tiempo de residencia de una hora. Hay una disminución del tiempo de descomposición del material original, lo cual no sucede con los impregnados a mayor porcentaje de hematita.

Posteriormente se concentró el estudio de la gasificación en el carbón impregnado a 10%, observándose que el carbón impregnado a 10% con calentamiento directo continúa siendo el de mayor actividad catalítica, como se muestra en la figura 5. Se observa que elevados valores de impregnación, y valores inferiores a 10%, no surten efecto catalítico de relevancia.

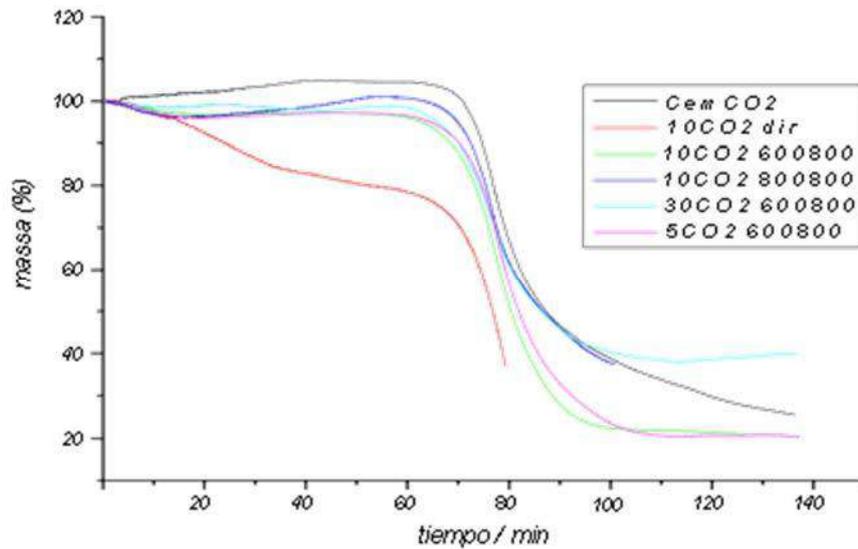


Fig. 4. Curvas TG de gasificación con  $\text{CO}_2$  del carbón primario y los impregnados, con y sin temperatura de pretratamiento

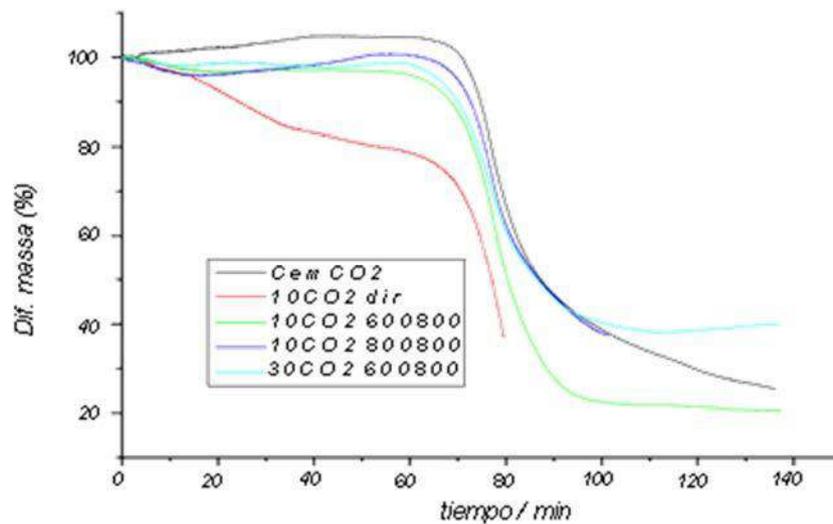


Fig. 5. Curvas TG de gasificación con  $\text{CO}_2$  del carbón primario y los impregnados a 10%. Se compara también con el impregnado a 30% de hematina.

Finalmente, se realizó un estudio comparativo de los TG del carbón impregnado a 10% y el carbón primario, con diferentes temperaturas de gasificación (680, 720 y 770 °C), con el objetivo de calcular las energías de activación de los dos grupos de carbones.

La figura 6 muestra las curvas TG del grupo de carbones.

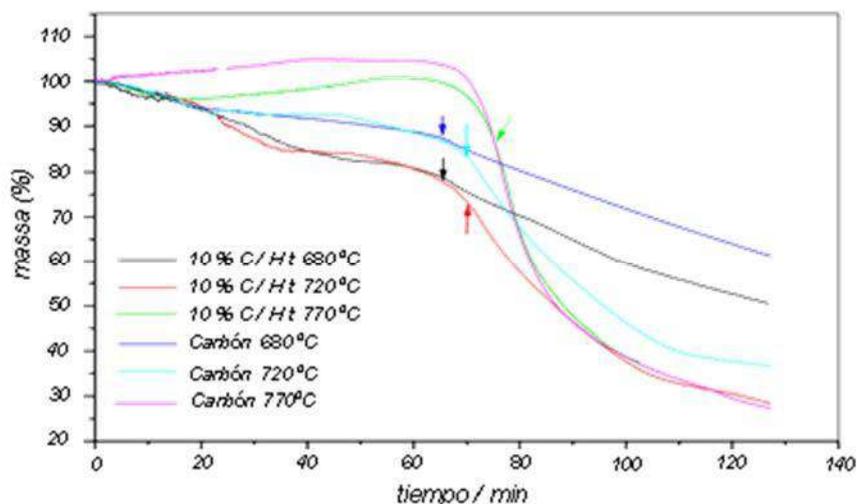


Fig. 6. Curvas TG del carbón primario y el impregnado con hematina a 10%, a diferentes temperaturas de gasificación con CO<sub>2</sub>.

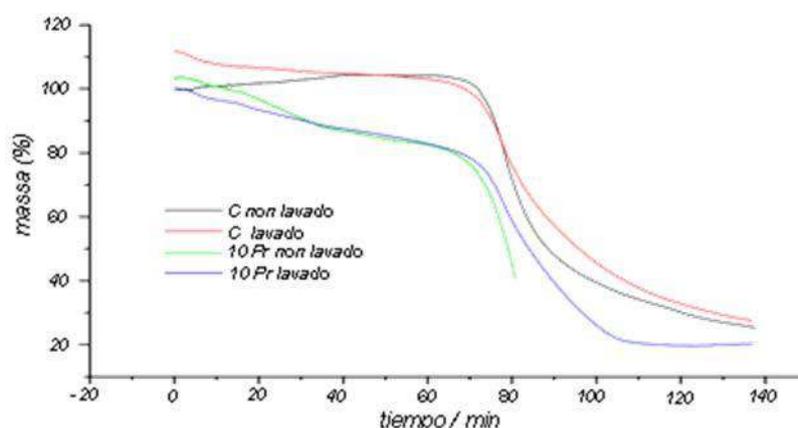


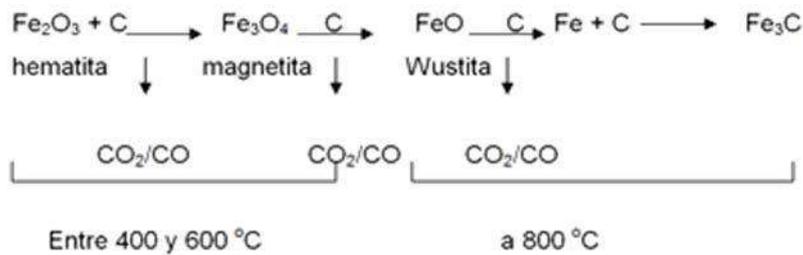
Fig. 7. Resumen de las curvas TG del carbón primario y el impregnado con hematina a 10%, a 800 °C, en gasificación con CO<sub>2</sub>.

Acorde a la fundamentación teórica, expuesta en la Introducción, se puede explicar que el proceso de transformaciones químicas seguidas por la hematina en nuestros experimentos de gasificación con CO<sub>2</sub>, siguieron el orden siguiente:

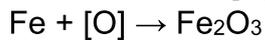
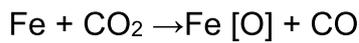
Al impregnar el carbón con disolución de nitrato de hierro, se formará Fe(OH)<sub>3</sub> sobre la superficie del carbón, el que con el posterior calentamiento se convierte en hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), a partir del hidróxido y del nitrato:

- hidróxido de hierro III  $\xrightarrow{\Delta}$  óxido de hierro III + agua
- Nitrato de hierro III  $\xrightarrow{\Delta}$  óxido de hierro III + dióxido de nitrógeno

Al calentarse a 600 °C el carbón impregnado, se obtiene magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>); pero a 800 °C, se obtiene Fe, y la cadena de reacciones será:



Si el oxígeno penetra al hierro, se forma de nuevo el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:



### Determinación de la energía de activación

Al aplicarse la expresión logarítmica de la ecuación de Arrhenius:

$$K = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

$$\ln K = -E_a/RT + \ln A$$

Para los dos carbones a las diferentes temperaturas de gasificación se obtuvieron las correspondientes pendientes, a partir de las cuales se calcularon los valores de E<sub>a</sub>, resultando 186 kJ/mol para el carbón sin impregnar (carbón primario), y 156 kJ/mol para el carbón impregnado con hematita a 10%.

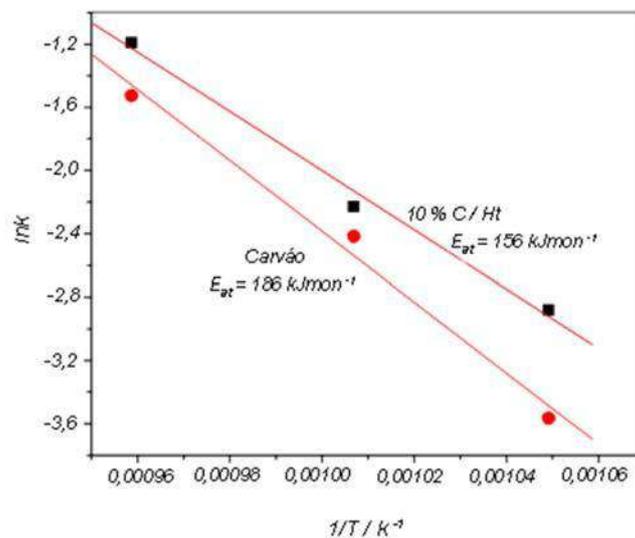


Fig. 8. Representación de Arrhenius para el carbón primario y el impregnado con 10 % de hematina, a tres temperaturas de gasificación con CO<sub>2</sub>

Estos resultados están acordes a los obtenidos por otros autores con diversos materiales de partida, que confirman que el proceso de gasificación transitó bajo control químico, [DeGroot y Shafizadeh, 1984; Figueiredo y col., 1987; DeGroot y Richards, 1989; Li y Van Heiningen, 1990; Rodríguez-Mirasol y col., 1993; Ponder y Richards, 1994; Tancredo y col., 1996; Márquez y col., 2002].

En la tabla 5, se muestran los valores de Ea reportados por la literatura y los obtenidos por las muestras de carbón primario y carbón impregnado a 10%.

Carbón	Ceniza, %	T.obtenc., 1C	T.Gasific., °C	Impreg., %	Ea, kJ/mol
C.de eucalipto	e/ 1.0 y 1.9	e/ 400 y 800	600 y 800	No	e/ 230 y 266
C.madera- algodón	bajo	850	770-810	FeSO <sub>4</sub> -2	125,4
C.madera- algodón	bajo	850	770-810	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -4	79,4
C.madera- algodón	-	1000	-	No	196
C.cásca.almendra	-	800	720-800	Citrat. Férric.	87,78-150
C. celulosa	-	1000	925-975	No	280
PreC. Lignin Kraft	2.1	623 (K)	1023-1073 (K)	No	212-239
C. Lignin Kraft	2?	823-1673 (K)	1023-1223 (K)	No	215-245
C. licores Lignin Kraft	-	-	-	-	250
C. aserrín de pino	196	700	750-825	No	194-250
C. cásc.toronja	14,6	700	725-800	No	197-249
C. cásc.toronja	8,0	700	725-800	No	176-248
C. hollejo naranja	9,8	600	680-770	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -10	156
C. hollejo naranja	9,8	600	680-770	No	186

## Activación de los carbones impregnados

Inicialmente el tiempo de gasificación fue variable, buscando un carbón con una pérdida por combustión correspondiente a un área superficial significativa. El carbón primario activado, obtenido a 2 h de activación, tuvo 50% de pérdida por combustión (PC), mientras que para los impregnados fue:

5% de impregnación: 51,3% de PC  
10% de impregnación: 58% de PC  
20% de impregnación: 58,5% de PC  
30% de impregnación: 42,4% de PC

Por tal razón, se escogieron los carbones con valores de PC superiores a 50% para los análisis de caracterización por adsorción de N<sub>2</sub>, incluyendo el impregnado a 30%.

Se comprobó que la impregnación con hierro no proporcionó información de interés, sobre el desarrollo de la porosidad en los carbones estudiados. Por tanto, se decidió investigar la influencia en la cinética de gasificación con CO<sub>2</sub> de otros metales de la serie de transición impregnados en el carbón, así como su influencia en el desarrollo de la superficie porosa del carbón impregnado activado.

## Bibliografía

- DEGROOT Y F. SHAFIZADEH. Fuel, 63, pp. 210-216, 1984.
- DEGROOT, W. F. Y G. N. RICHARDS. Carbon, pp.247-252, 1989.
- FIGUEIREDO, J. L., J. RIVERA-UTRILLA Y M. A. FERRO-GARCÍA. Carbon, 25, pp.703-708, 1987.
- LI, J. Y A.R. P. VAN HEININGEN. Ind. Eng. Chem. Res, 29, 1776-1785, 1990.
- MAGALHÃES, FABIANO, ROCHEL MONTERO LAGO, SUE ELLEN C. BOTTREL y otros. Compósitos carvão/óxidos de ferro producidos a partir de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e alcatrão para a oxidação catalítica de contaminantes orgânicos com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; 14 Congreso Brasileiro de Catálisis. En Anais do Congresso Brasileiro de Catálisis, 2007, ISSN 1980-9263.
- MÁRQUEZ MONTESINO, F.; T. CORDERO, J. RODRÍGUEZ-MIRASOL Y J. J. RODRÍGUEZ. «CO<sub>2</sub> and Steam Gasification of a Grapefruit Skin Char», Fuel 81, pp. 423-429, 2002.
- MÁRQUEZ MONTESINO, F.; T. CORDERO ALCÁNTARA, J. RODRÍGUEZ-MIRASOL Y J. J. RODRÍGUEZ- JIMÉNEZ. «Gasificación con CO<sub>2</sub> de carbonizados de aserrín de *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea*», Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 10 (2): pp. 119-124, 2004.
- MARSH, HARRY Y FRANCISCO RODRÍGUEZ REINOSO. «Activated Carbon», Capítulo 5, 2006.

PONDER GLENN R. Y GEOFFREY N. RICHARDS. «Oxygen and CO<sub>2</sub> Gasification of Chars from Wood Treated with Iron (II) Sulfates», *Energy and Fuels*, 8, pp. 705-713, 1994.

RODRÍGUEZ-MIRASOL J., T. CORDERO Y J. J. RODRÍGUEZ. «High-Temperature Carbons from Kraft Lignin», *Carbon* vol. 34, No. 1, pp. 43-52, 1996.

—————. «Activated Carbons from CO<sub>2</sub> Partial Gasification of Eucalyptus Kraft Lignin», *Energy and Fuels*, 1993, 7, pp. 133-138.

—————. «CO<sub>2</sub>-Reactivity of Eucalyptus Kraft Lignin Chars», *Carbon*, volume 31, Issue 1, pp. 53-61, 1993.

TANCREDI, NÉSTOR, TOMÁS CORDERO, JOSÉ RODRÍGUEZ-MIRASOL Y JUAN J. RODRÍGUEZ. «CO<sub>2</sub> Gasification of Eucalyptus Wood Chars», *Fuel*, vol. 75, No 13, pp. 1505-1508, 1996.

## La alimentación como proceso ecosófico

### Feeding as an ecosophic process

*Por Leandro Rodríguez Vázquez\**

*\* Doctor en Ciencias Filosóficas. Instituto de Nutrición  
e Higiene de los Alimentos,  
La Habana, Cuba.  
e-mail: leandrordguez@infomed.sld.cu*

### Resumen

El reto de los humanos consiste en aprovechar los recursos naturales en beneficio de una alimentación saludable. El presente artículo aborda a la alimentación como proceso ecosófico al visualizar al hombre y la mujer en su espacio de convivencias e interacciones cotidianas. Se utiliza una experiencia de educación alimentaria para explicar el aprovechamiento de la energía alimentaria. Al ser utilizados los alimentos como fuente de energía renovable para el organismo humano, pueden influir en la modificación de algunas prácticas, hábitos y costumbres indeseables, y reafirmar las adecuadas.

**Palabras clave:** Educación alimentaria, ecosofía, energía renovable

### Abstract

The challenge for humans is to take advantage of natural resources for the benefit of healthy eating. This article deals with food as an ecosophic process by visualizing man and woman in their space of coexistence and daily interactions.

A food education experience is used to explain the use of food energy. When food is used as a source of renewable energy for the human body, they can influence the modification of some undesirable practices, habits and customs, and highlight the appropriate ones.

**Keywords:** Food education, ecosophy, renewable energy

### Introducción

La alimentación es una actividad compleja que integra estrechamente las dimensiones biológica y cultural, al punto de condicionarlas mutuamente. El hecho alimentario, en las sociedades actuales, es influenciado por la globalización, de ahí que requiera de una aproximación multidimensional, y que se visualice su estudio con un enfoque cultural. Esto es posible debido a que la alimentación es una de las actividades que configuran la vida cotidiana de cualquier grupo social, del pasado-presente-futuro, y que por

su especificidad y polivalencia adquiere un lugar central en la caracterización biológica, psicológica y cultural de la especie humana.

Por tratarse de un hecho cotidiano, inherente a todas las personas, familias y comunidades, la alimentación requiere de un componente educativo. La *educación alimentaria* se convierte entonces en un desafío para la escuela y todas las acciones extraescolares en las comunidades. De ahí que sea necesario considerarla en toda su amplitud y complejidad.

La complejidad de la alimentación permite formular diversas interrogantes acerca de sus causas, que pudieran explicarse, en primer orden, por las particularidades de la especie humana. Al ser omnívoros, los hombres y mujeres poseen la libertad de elegir y condicionar la variedad. Pero la comida es para los humanos algo más que un conjunto de sustancias, de ahí que sea necesario elegir las, atendiendo no solo a criterios biológicos, nutricionales o económicos.

La perspectiva histórica en este proceso desempeña un papel importante en la interpretación de cómo ha sido elaborado el alimento en épocas pasadas, de manera que se puedan explicar algunos antecedentes que permitan su interpretación actual. Al ser convertida en un fenómeno cultural, se ha ido modificando no solo aquello que se ingiere, sino también, cuándo, cómo, dónde y con quién se ingiere. De ahí la importancia de que se visualice a la alimentación como un proceso en el cual se empleen fuentes renovables de energía –los alimentos.

Este enfoque se puede lograr debido a que la alimentación ha sido —y es y será— una de las necesidades y preocupaciones fundamentales de los hombres y las mujeres, así como uno de los factores determinantes en la formación y progreso de las sociedades. Desde las sociedades primitivas, los seres humanos dependían para alimentarse de la caza, la pesca y la recolección de productos silvestres, básicamente porque su modo de vivir era nómada y se organizaban en pequeños grupos para efectuar esas actividades. Las primeras organizaciones sociales sedentarias surgieron cuando el hombre aprendió a domesticar animales y a cultivar las plantas para obtener los alimentos. El hombre ha progresado, construido megaciudades con millones de habitantes, debido entre otros factores a los adelantos en los sistemas de producción, conservación y distribución de alimentos [caza y Béhar, 1981].



*Fig. 1. Actores con responsabilidad*

La alimentación como fenómeno involucra a todos los seres humanos, y la selección y las maneras de emplear los alimentos representan un importante momento en el proceso alimentario, de manera que cada vez se hace más imprescindible, para ingerir alimentos, considerar su origen. En la actualidad, estos criterios van cobrando mayores seguidores, justamente porque la alimentación permite la unificación de la familia y favorece la transición de los elementos culturales de los grupos humanos. La figura 1 muestra la relación que debe establecerse entre los distintos componentes en que se pueden manifestar los factores de esta complejidad.

Para lograr que la cultura alimentaria de los grupos de hombres y mujeres prevalezca, debe lograrse que las acciones educativas influyan en la formación, prácticas, hábitos, costumbres y conductas saludables. Para establecer esas acciones educativas debe considerarse la relación de los seres humanos con el medio ambiente. La relación con el ecosistema favorece la aplicación de los conocimientos desde un enfoque integrador; se trata de visualizar a los humanos en su interacción con la naturaleza, así como conocer las ventajas de las bondades del planeta para emplear aquellos alimentos que aporten la energía alimentaria que se requiere. Al establecer las relaciones indispensables en la utilización de la energía alimentaria, debe reforzarse la idea de que esta energía proviene de fuentes renovables (los alimentos) y que estos deben obtenerse en armonía con el medio.

Estos elementos deben explicarse desde una visión ecosófica, es decir, explicar la manera en que el hombre, como hacedor de su propia cultura, es capaz de modificar las bondades del entorno, y haciendo uso racional de estos recursos, beneficiarse de la energía que aportan sin afectar a las otras especies que coexisten con él.

Todo esto se facilita debido a que la acción educativa [OPS..., 1997] bien diseñada influye en la formación de los hábitos y costumbres, no solo de los individuos, sino también de aquellos que se fomentan en las familias y en las comunidades. De esta manera se propicia que de una generación a otra se movilice un estado de opinión que favorezca el cambio, con la posibilidad de modificar ciertas prácticas, hábitos y costumbres alimentarias, que comprometan el estado nutricional de los individuos.



*Fig. 2. Actores del proyecto*

La educación alimentaria con una visión ecosófica permite valorizar los condicionamientos biológicos y su interrelación con los culturales, para interpretarlos en su relación con el fenómeno de la alimentación humana. Precisamente, porque más allá de la utilización de los alimentos para la supervivencia, las preferencias alimentarias y las fronteras que se establecen entre lo que se considera comestible, y lo que no se considera comestible, son algunos de los soportes que permiten abordar la identidad cultural de los pueblos [Pupo, 2009]. La figura 2 muestra los actores que deben ser considerados en los proyectos que pretendan utilizar a la educación alimentaria y nutricional, como instrumento para influir en las valoraciones acerca de la relación de los alimentos con el ecosistema y el hombre/mujer desde una visión ecosófica.

Un esfuerzo sostenido debe realizar el personal que labora en las escuelas en estrecha relación con la familia y la comunidad [Apoyo..., 2005] en la que se encuentra insertada la escuela y en la que viven los estudiantes. En las aulas, cuando se diseñen y desarrollen actividades para enseñar los temas referidos a los alimentos y al proceso de la alimentación, los docentes no deben complejizar los conocimientos científicos, sino que es

conveniente entretejerlos con aquellos que son significativos desde la perspectiva cultural para esos estudiantes [Michel y Beghin, 2001; FAO/WHO, 1992].

### **Materiales y métodos**

La investigación se desarrolló en dos institutos politécnicos de La Habana durante los años 2003 al 2008. El propósito fue conocer algunas características alimentarias en esa población, de manera que pudiera favorecer interpretaciones teóricas referidas a la alimentación con un enfoque ecosófico. Participaron 520 individuos entre alumnos, docentes, no docentes y familiares de los estudiantes. Se diseñó un programa docente y un libro de texto que reforzaran los conocimientos desarrollados en las aulas. Los alumnos se convertirían en facilitadores o promotores de salud para los no docentes, la familia y la comunidad. Entre sus logros se encuentra el fortalecimiento, en los implicados, en el estudio y empleo de prácticas sanas de alimentación.

La metodología seguida fue cualitativa, por lo que los números no constituyeron el criterio más importante; la relación y comprensión de los valores permitió reflexionar acerca de las esencialidades del fenómeno alimentario que apunta a la realización de intervenciones para limitar las influencias negativas.

Se aplicó el principio de la Encuesta Nacional de Consumo, Gustos y Preferencias del 2001, desarrolladas por el Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos (INHA). En ella se solicitaba al encuestado que dijera los alimentos que prefería consumir durante todo un día si no tuviera limitaciones de disponibilidad y accesibilidad a los mismos (muy parecido a una orden gastronómica), para identificar el consumo deseado. Los alimentos deseados los debía separar de acuerdo a las comidas del día, así como indicar los métodos de preparación preferidos. Además, se les realizó la encuesta de frecuencia de consumo de alimentos.

### **Resultados y discusión**

Los resultados permiten una aproximación a la compleja e interesante realidad alimentaria de esa población en los años iniciales del siglo XXI. La naturaleza de las mismas son de por sí enriquecedoras y permiten comprender la dinámica de la sociedad. En todos los grupos fue posible encontrar patrones de comportamientos similares, tendientes a propiciar el incremento del sobrepeso y la obesidad, con el consiguiente riesgo del incremento de las enfermedades crónicas no transmisibles asociadas con la dieta.

Los porcentajes en la ingestión de cereales (arroz, panes, pastas alimenticias) reflejan valores similares con respecto al consumo y a las preferencias. La encuesta de consumo deseado evidencia la preferencia por el arroz, generalmente en forma de congri. Las pizzas aparecen en el gusto, fundamentalmente, de los jóvenes. Los panes con croquetas, mayonesa y mantequilla encuentran un patrón de aceptación alto. La preferencia por el consumo de pizzas advierte un ligero incremento con respecto a la Encuesta de Consumo, Gustos y Preferencias del INHA en el 2001. La preocupación mayor es que estos alimentos son adquiridos generalmente en la red callejera de la gastronomía. Estas prácticas no son una excepción de Cuba, ya que, históricamente, todas las grandes culturas han utilizado estos alimentos en mayores proporciones, debido a su disponibilidad en los mercados.

En el caso de las viandas, se registran niveles de consumo inferiores a las preferencias, lo que es coincidente tanto en la experiencia educativa en la comunidad, como en los resultados de la encuesta aplicada por el INHA. Disímiles razones pudieran explicar este comportamiento, pero los altibajos que presentan estos alimentos en el mercado, debido fundamentalmente a su estacionalidad, comprometen la disponibilidad durante algunos meses del año, afectándose el acceso y por consiguiente, el consumo.

El consumo de las viandas refleja que el plátano, el boniato y la yuca son las más consumidas y aceptadas. El plátano aparece como el de mayor consumo, debido, posiblemente, a su disponibilidad en los mercados. Las preferencias apuntan a que se prepare frito, resultado que no contradice la tendencia histórica del cubano por los alimentos fritos y en salsa.

El consumo de vegetales se muestra bajo debido, entre otros factores, a los altos precios con que se comercializan. La familia reporta un consumo superior a 50%, mientras que en los adolescentes es de solo 15%. Entre los docentes y no docentes, los valores muestran similitudes.

Los adolescentes son muy complejos, y generalmente, siguen más los patrones conductuales de sus compañeros, que los de su seno familiar. No obstante, es curioso que los docentes, los no docentes y la familia, muestren bajo porcentaje en el consumo, lo que sugiere que el consumo de vegetales, además de asociarse a la disponibilidad en los mercados, y su acceso, pudiera comprenderse desde la cultura. La familia solo transmitió como herencia el consumo de tomates y lechugas. Esta complejidad se mantiene en las condiciones actuales, aun cuando se reconoce la ingesta de otros vegetales a la dieta, pero de manera más limitada (col, espinaca y calabaza, entre otros). Sin embargo, las preferencias por estos alimentos alcanzan valores superiores a los declarados en la encuesta del 2001 aplicada por el INHA.

Con respecto al consumo de frutas, la familia señala el mayor consumo y el resto de los grupos lo hacía con valores cercanos a 30%. Se pudo constatar en la encuesta que en los miembros de la comunidad educacional se observa correspondencia con los valores de la aplicada por el INHA, 2001. Cerca de 45% prefiere su consumo, sin embargo, estos valores están por encima del consumo declarado.

El grupo IV agrupa a varios alimentos por sus aportes proteicos. Los resultados manifiestan interesantes peculiaridades. Menos de 20% de los adolescentes refieren el consumo de carnes rojas, ante 80% de las blancas; el consumo de carnes procesadas fue muy alto. El 20% de los docentes consumen las carnes rojas, mientras que las blancas representan más de 80%; las procesadas muestran valores muy elevados. Un cuarto de las familias encuestadas refiere el consumo de las carnes rojas frente a un porcentaje mucho mayor que las blancas y procesadas. En cuanto al pescado, 50% de cada grupo refiere consumirlo de una a tres veces por semanas. El consumo de mariscos manifiesta valores muy bajos.

El consumo de vísceras reportó que los adolescentes consumen muy poco, pero algo más los docentes, los no docentes y la familia. Estos valores discretos no constituyen el resultado de experiencias educativas que hayan influido en la modificación en su consumo.

El huevo es el alimento más completo que existe y se utiliza para evaluar el valor biológico de otras proteínas. El mayor consumo de este alimento se encuentra en los adolescentes y las familias, aunque algo más de la mitad de los docentes y no docentes también lo ingieren.

Paradójicamente a lo que se plantea en todos los escenarios, la carne que tuvo mayor preferencia fue la de res, y no la de cerdo. En las entrevistas se constató que la base de esta preferencia reside en la disponibilidad y se ve afectada por el acceso, es decir, está disponible, pero sus precios impiden que la familia la utilice de manera abundante en la dieta.

El pescado es un alimento de preferencia entre la población. En el consumo se advierten valores elevados, lo que puede estar favorecido por la disponibilidad en las pescaderías, aun cuando los precios de estos productos son elevados para los salarios actuales.

El alto consumo de los granos o leguminosas indica que es un alimento básico del pueblo cubano. Estos alimentos reportan valores ligeramente superiores entre una encuesta y la otra con respecto a la preferencia.

Más de 70% de los adolescentes manifestaron el consumo de leche. Los docentes y los no docentes declaran una menor ingesta, y la familia declara

un consumo cercano a 50%. Estas diferencias se deben posiblemente a que se priorice a los niños y los adolescentes.

Se advierte que alrededor de 50% de los adolescentes consumen grasas, debido a la ingestión de pizzas y panes con mayonesas y mantequilla. Menos de 60% de los docentes, los no docentes y la familia la consumen. Si realmente los miembros de la comunidad educacional ingieren alimentos grasos de acuerdo a sus preferencias, la salud pudiera comprometerse seriamente, con predominio del sobrepeso y la obesidad.

El consumo de azúcar en la población cubana es alarmante, pero esa conducta excesiva tiene sus raíces en la colonia, durante la esclavitud. El 90% de los adolescentes declaran consumir alimentos dulces, más de 40% de los no docentes y se incrementa en la familia. En los docentes, los niveles de consumo son bajos comparados con los otros grupos. La televisión y otros espacios han influido con mensajes acertados acerca de la disminución de los azúcares y dulces en las dietas diarias.

Además del consumo de los alimentos identificados en los siete grupos básicos, se muestra el consumo de algunos alimentos que pueden influir en el estado de salud de los individuos. Cerca de 90% de los adolescentes y los docentes declara el consumo de los refrescos industriales, y alrededor de 80% de los no docentes y la familia lo consume de forma sistemática.

Respecto a la ingestión de infusiones, los adolescentes declaran no haberlas ingerido nunca, y esto puede estar asociado a su tendencia de respuesta grupal para no aislarse de los criterios de la mayoría de sus coetáneos. Los docentes reportan un consumo por debajo de 20%. Más de la mitad de los no docentes plantean haberlas consumido. Alrededor de 40% de la familia refiere su consumo.

Con respecto al alcohol, durante la década de los años 90 del pasado siglo XX se observó un ligero incremento. El 20% de los adolescentes lo utiliza para «descargar». Los docentes en menor cuantía, y en los no docentes y la familia, la ingestión se eleva.

Todo ello hace pensar en la necesidad de utilizar en las acciones de educación alimentaria un enfoque abarcador e integrador, de manera que al explicar la energía suministrada por los alimentos al organismo se comprenda que estos constituyen una fuente de energía renovable, de ahí la necesidad de hacer uso adecuado de los alimentos, utilizarlos atendiendo a las necesidades nutricionales y no al afán de ingerir alimentos sin considerar estos aspectos.

De igual manera deben potencializarse los conocimientos referidos a la utilización de otras fuentes de energía renovables para cocer y preservar

los alimentos; entre ellas se puede citar a la energía solar. La misma ha sido empleada por disímiles culturas, los aborígenes cubanos salaban los peces y los secaban al sol para conservarlos durante largos períodos de tiempo. Lo mismo hacían con el casabe. La forma de secar los alimentos de manera natural, empleando la energía del sol, ha sido empleada ampliamente; los campesinos han utilizado esta técnica para secar las viandas y elaborar, entre otros productos, las harinas y los almidones. La agricultura los emplea en el secado de granos de leguminosas y cereales, así como del café, entre otras aplicaciones.

### **Conclusiones**

1. La educación alimentaria desarrollada con un enfoque ecosófico permitirá una mayor y mejor inserción de los hombres y mujeres con el medio ambiente en el que se desarrollan.
2. La educación alimentaria y nutricional promueve la participación activa de toda la población, para que cuiden su salud al comprender su estrecha relación con el ecosistema.
3. Visualizar a los alimentos como aportadores de energía renovable para el organismo humano, permitirá que se concientice su uso racional en el proceso alimentario.
4. Al emplear un discurso interactivo que involucre a estudiantes-docentes en estrecha relación con la familia y comunidad, se puede lograr una mayor incorporación de prácticas, hábitos y costumbres alimentarias saludables.

### **Recomendación**

Difundir en todos los escenarios posibles los enfoques ecosóficos de la alimentación para que el hombre se naturalice y la naturaleza se humanice.

### **Bibliografía**

«Apoyo a la participación comunitaria»  
(Citada 2005 feb).[www.ccisd.org/esp/index2d.htm](http://www.ccisd.org/esp/index2d.htm)  
FAO/WHO (1992). «International Conference on Nutrition World. Declaration and Plan of Action for Nutrition». FAO. Rome; 1992.  
ICAZA S. Y M. BÉHAR (1981). Nutrición. 2ªed. México: Nueva Editorial Interamericana S.A., 1981.  
MICHEL, A. E I. BEGHIN (2001). «Marco conceptual», en Nutrición y Comunicación de la educación en nutrición convencional a la comunicación social en nutrición. 1ra. edición. México: 2001. pp. 65-67.

OPS, INCAP (1997). «¿Qué es Educación alimentaria nutricional?» En: Guías para Educación Alimentaria Nutricional. Guatemala. INCAP; 1997.  
PUPO, R. (2009). «Ecosofía, Cultura, Transdisciplinariedad». pp. 4-14. (Documento inédito, soporte electrónico). La Habana: 2009.

## **Algunos rasgos reguladores de la evolución histórica de la matriz energética mundial. Su influencia en Cuba**

### **Some regulatory features of the historical evolution of the global energy mix. Its influence in Cuba**

*Por Antonio Vázquez Pérez\*, Laura Montesinos Zayas Bazán\*\* y María Rodríguez Gámez\**

*\* Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), CUJAE, La Habana, Cuba.  
e-mail: maria@electrica.cujae.edu.cu*

*\*\* Estudiante de Derecho en la Universidad de La Habana, Cuba.*

#### **Resumen**

Los avances reportados durante los últimos 150 años de desarrollo energético a escala mundial, han propiciado el constante perfeccionamiento de un marco regulatorio dirigido a la protección del esquema de explotación intensiva de los recursos fósiles no renovables, y al aseguramiento de las jugosas ventajas económicas de la oligarquía petrolera mundial. Esta política tradicional de disposición energética ha motivado que a comienzos del siglo xxi el escenario mundial sea otro: no transcurren los tiempos de energía barata y asequible, ni queda margen para seguir contaminando y afectando al medio natural. Hoy el panorama energético mundial se distingue por la búsqueda de alternativas sostenibles para diversificar la matriz energética global; el agotamiento de los combustibles fósiles y los daños ya irreparables ocasionados al medio ambiente, hacen apremiante el cambio desde el punto de vista económico, y más urgente aún en cuanto a lo ético. En este escenario, la energía ha perdido su esencia básica de eficacia social, para devenir poderoso instrumento de poder monopólico, injusto y contaminante, protegido su desarrollo por un bien pensado marco regulador que resguarda los intereses imperialistas dominantes. Se impone la necesidad de articular un espacio jurídico que, de manera explícita, genere un camino de cambios en la realización energética, y en el que las fuentes renovables de energía tengan las posibilidades de ofrecer una creciente participación en la diversificación de la matriz energética global. A la luz del análisis de la evolución histórica del perfil energético a escala mundial, y su influencia en Cuba, el objetivo de este trabajo es argumentar la necesidad de alcanzar un marco regulador que, con suficiente solidez jurídica, promueva un espacio institucional capaz de llevar a cabo la ordenación y dinamización coordinadas del proceso de planeación

energética del país, a partir de la penetración de los sistemas que aprovechan las fuentes renovables de energía.

**Palabras clave:** Matriz energética, fuentes renovables de energía, marco regulador

### **Abstract**

The advances reported during the last 150 years of worldwide energy development, have led to the constant improvement of a regulatory framework aimed at protecting the scheme of intensive exploitation of non-renewable fossil resources, and ensuring the economic benefits of the world oil oligarchy. This traditional energy policy has motivated that at the beginning of the 21st century the world scenario is different: the period of cheap and affordable oil passed, and there is not room to continue polluting and affecting the natural environment. Today the world energy landscape is characterized by the search for sustainable alternatives to diversify the global energy mix; the depletion of fossil fuels and the already irreversible damage caused to the environment, all of which make the need for change urgent, both from the economic and ethical points of view. In this scenario, energy has lost its basic essence of social effectiveness, to become a powerful instrument of monopolistic, unfair and polluting power, whose development is backed-up by a regulatory framework that protects the dominant imperialist interests. The need to articulate a legal space that explicitly generates a path of changes in energy performance is imposed, and in which renewable energy sources have the potential to offer a growing participation in the diversification of the global energy mix. The analysis of the historical evolution of the global energy profile and its influence on Cuba, the objective of this paper is to argue the need to achieve a regulatory framework that, with sufficient legal solidity, promotes an institutional space capable of carrying out the ordering and coordination of the energy planning process of the country, based on the penetration of systems that take advantage of renewable energy sources.

**Keywords:** Energy mix, renewable sources of energy, regulatory framework

### **Introducción**

El concepto de crisis energética aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan o son muy costosas, y recientemente han tenido como causa de surgimiento la inseguridad que trae consigo su explotación, como es el caso de la energía nuclear. El modelo energético actual está sustentado esencialmente con combustibles convencionales, en el que la demanda es regulada a través del continuo crecimiento de la generación, en base a la quema intensiva de los

combustibles fósiles con el consiguiente empeoramiento de las condiciones medioambientales del planeta.

En la sociedad actual la energía es un bien muypreciado, y buena parte de las relaciones internacionales están regidas por el dominio y control de las fuentes energéticas y de los procesos de su aprovechamiento; puede afirmarse que ha dejado de ser solo una necesidad del desarrollo social, pues desde el punto de vista económico es capaz de generar dependencia de unas naciones a otras, y desde el punto de vista político se ha convertido en un instrumento de poder hegemónico y bélico a escala internacional.

El Estado regulador supone una reconsideración de las tareas públicas en su gestión, y un repliegue a funciones de carácter ordenador y no prestador. La regulación es un determinado tipo de intervención pública como función exclusiva del Estado, singularizada por su finalidad; responde al imperativo de conciliar y armonizar las exigencias de funcionamiento eficiente de las diversas actividades y funciones económico sociales, con los requerimientos propios de la satisfacción de las necesidades colectivas [CEN and C.A., 2009].

Las normativas y regulaciones del ordenamiento jurídico se traducen, tradicionalmente, como la máxima expresión de la voluntad política del Estado, en relación con las acciones presentes y futuras del desarrollo social y su influencia en el escenario económico de la nación.

En particular, el Marco Regulatorio Energético supone la existencia de un conjunto de normas jurídicas (códigos, leyes, decretos leyes, reglamentos, resoluciones, manuales, acuerdos y decisiones de los órganos del Estado o el Gobierno, etc.), mediante las cuales el Estado imprime un carácter dinamizador, ordenador y de regulación de la actividad energética, con respecto al resto de los elementos integrantes de la sociedad, y para lo cual se prevé un nivel dado de eficacia social.

Está influenciado, además, por diversas regulaciones de organismos internacionales, que en la materia de preservación del medio ambiente y los recursos naturales, diseñan políticas y programas que determinan los límites de incidencia e impacto del perfil energético a nivel internacional, unos con carácter vinculante (HardLaw) que implican su cumplimiento, y otros sin fuerza vinculante (SoftLaw) pero que generan un grado de influencia en función de determinados principios comunes acordados [Huerta, 2007; Villavicencio, 2008].

Las primeras regulaciones energéticas conocidas están relacionadas con el aprovechamiento de la energía solar en la arquitectura, y datan de la

antigua Grecia: Sócrates señaló que la casa ideal debería ser fresca en verano y cálida en invierno.

También en épocas muy antiguas, y corría el año 212 antes de nuestra era, se tiene conocimiento sobre la aplicación de la energía solar, en este caso con fines bélicos, cuando Arquímedes utilizó espejos incendiarios para destruir los barcos romanos que sitiaban Siracusa [José and S., 2004].

En el siglo xiii, Roger Bacon propuso al Papa Clemente IV una regulación para utilizar la energía solar también con fines beligerantes, basada en el empleo de espejos solares en las Cruzadas, pues «este espejo quemaría ferozmente cualquier cosa sobre la que se enfocara» [José and S., 2004].

Una pretensión regulativa más específica y aguda la encontramos en Roma, recogida en el Código de Justiniano, sobre la garantía de los derechos al sol, quedando incorporada en la ley romana sobre la violación del derecho del *heliocaminus* al Sol [José and S., 2004].

El gran cambio histórico en cuanto al uso energético se experimenta en el siglo xviii. La Revolución Industrial implicó un fuerte incremento en la demanda de materias primas y energía; la más empleada hasta entonces, la madera, fue desplazada por los combustibles fósiles, primero por el carbón, posteriormente por el petróleo y el gas natural, y en la segunda mitad del siglo xx por la energía nuclear.

El despegue de la sociedad industrial impuso como paradigma producir más para tener mayores beneficios, es decir, priorizar la producción de energía por encima de sus efectos y consecuencias; las tecnologías convencionales cada vez más modernas permitieron que durante la primera mitad del siglo xx se disparara el consumo de energía a niveles anteriormente incalculables, siendo el costo de los combustibles muy baratos y asequibles.

Hasta la década de los años 70, el consumo de energía se duplicó en cada período de 10 años; es decir, cada 14 años la humanidad consumía tanta energía como en toda su historia anterior.

El ser humano usa hoy cien veces la energía que consumía antes del dominio del fuego [Francés, 2001].

Entre 1950 y 2002 el consumo de combustibles fósiles se quintuplicó, y las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaron 400%, trayendo consigo el aumento de la contaminación, el cambio climático, la deforestación, degradación de los suelos, contaminación de las reservas acuíferas y otras dramáticas consecuencias [Montesinos, 2010].

Ya en los primeros años de la segunda mitad del siglo xx comienzan a manifestarse los efectos de la sobreexplotación de los combustibles fósiles y las consecuencias medioambientales de dicha política, provocando el alza de los precios de los combustibles y elevados costos en medidas de reducción de impactos, situación que se ha mantenido con un comportamiento ascendente hasta nuestros días.

Durante la primera década del actual siglo, los precios del petróleo continuaron subiendo hasta el estallido de la burbuja petrolera en julio de 2008, que según afirmó el Senado estadounidense fue 60% [William, 2008]. En la figura 1 se observa el comportamiento de dicho proceso.

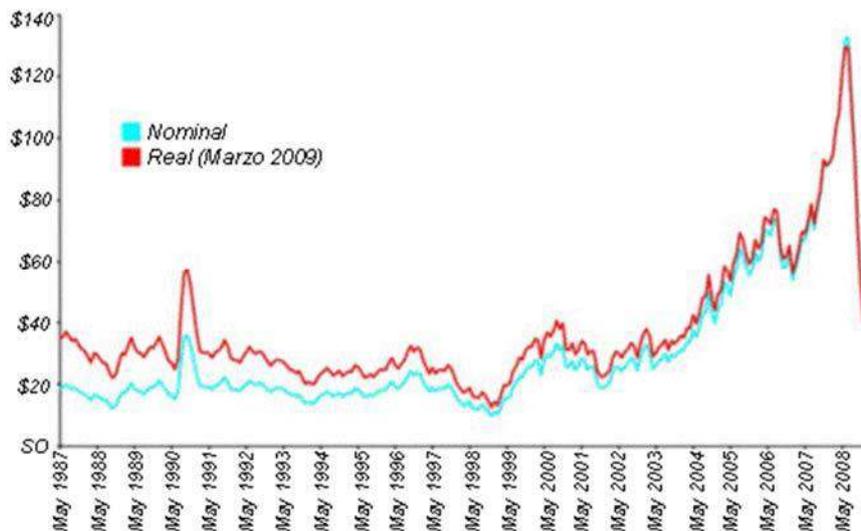


Fig. 1. Precios internacionales del barril de petróleo Brent, de mayo de 1987 a marzo de 2009. Fuente: Departamento de Energía de Estados Unidos.

Ya en 1973 había ocurrido la primera gran crisis petrolera, que disparó en espiral ascendente los precios del petróleo, sucediéndose las catástrofes nucleares de Three Miles Island en Estados Unidos de América, y la de Chernóbil en la Unión Soviética [Montesinos, 2010], así como la más reciente en Japón, provocada por un desastre natural.

A pesar de ello, en las colosales bases de la matriz energética mundial continúa predominando el empleo de los combustibles fósiles, que cada vez se agotan con más celeridad, ofreciendo beneficios sociales, pero ocasionando también crecientes estragos medioambientales que consumen cuantiosos recursos económicos. En la figura 2 se puede apreciar el comportamiento del consumo de las fuentes energéticas utilizadas para la generación eléctrica, y la participación de las fuentes renovables de energía, que alcanzan sólo 6% [Kolesnikov, 2009].

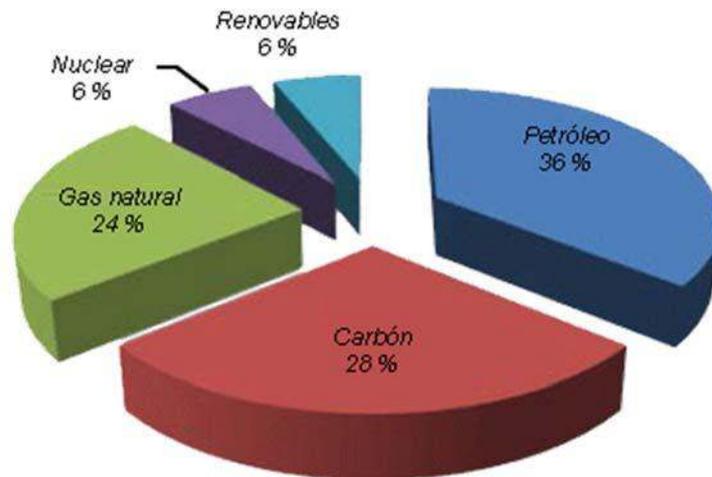


Fig. 2. Comportamiento del consumo de fuentes energéticas para la generación de electricidad.

### **Etapas de desarrollo del marco regulatorio energético**

En principio, el marco regulatorio del perfil energético se desarrolla y adquiere niveles relevantes durante la Revolución Industrial. La energía comienza a ser regulada como un simple producto del mercado, al margen de toda consideración social y medioambiental, sin considerarla como un derecho de las personas.

En este espacio el uso de la energía se singulariza más por su finalidad mercantil y objeto económico, que por su eficacia como derecho social, y al analizar sus objetivos instrumentales podemos estudiarlos en dos etapas:

#### *Primera etapa*

Desde finales del siglo xix hasta los primeros años de la década de los años 70 del siglo xx; se produce la introducción y el desarrollo a gran escala de las tecnologías de generación eléctrica a base del consumo de combustibles fósiles, y la tendencia normativa se perfiló a lograr los objetivos siguientes:

- Propugnar la privatización del sector energético, por encima del modo estatal de producción.
- Lograr la penetración de las tecnologías Diesel y posterior dependencia petrolera de la industria eléctrica.
- Asegurar el espacio y garantías institucionales a las empresas energéticas del sector privado.
- Proteger las relaciones económicas y mercantiles del sector privado (política de estímulos económicos y protección estatal), por encima del valor social del servicio.

- Consagrar el papel proteccionista del Estado hacia el sector privado.
- Dinamizar el desarrollo tecnológico del sector.
- Asegurar las bases del surgimiento del monopolio energético.

En esta etapa se van a producir cambios políticos en Cuba, que van a incidir de manera muy especial en el desarrollo energético del país.

Durante la primera mitad del siglo xx el esquema energético cubano era el típico de un país capitalista subdesarrollado, dominado por el monopolio eléctrico con una penetración prácticamente total de los intereses imperialistas norteamericanos; las líneas eléctricas se extendían hasta donde se pudiera percibir una utilidad económica satisfactoria para la Compañía de Electricidad, en manos del monopolio eléctrico norteamericano y de la burguesía energética en el país.

En 1959, al triunfar la Revolución, el servicio eléctrico llegaba apenas a 56% de la población [Moreno y Montesinos, 2010]. Durante estos años las normas jurídicas y técnicas del sector energético no dejaron de ser más que una homologación del marco regulatorio privado existente en Estados Unidos.

En los primeros veinte años posteriores al triunfo de la Revolución, se realizan importantes cambios conceptuales y estructurales en la vida económica y social de la nación, y formando parte de esa metamorfosis se emprende el desarrollo energético, ahora con una nueva vocación. Por primera vez en la historia del país comienza un reordenamiento del papel y la ordenación energética hacia funciones de carácter social, y no simplemente mercantilista. La energía eléctrica comienza a dejar de ser considerada como un simple producto del mercado, para convertirse en un derecho genuino de la sociedad.

Se nacionaliza la Compañía Cubana de Electricidad y, aunque no se promulga ninguna Ley específica sobre el perfil energético, se comienzan a dar los primeros pasos en el desarrollo integral de la Nación, para llevar la electricidad a todos los rincones de la sociedad cubana.

Con la colaboración de los países miembros de lo que fuera el campo socialista, en especial la Unión Soviética, ya para 1973 se crea y entra en funcionamiento el Sistema Electroenergético Nacional (SEN); en 1989 la generación de energía eléctrica había aumentado en ocho veces y la electrificación había alcanzado 95% de la población total; pero este desarrollo se había logrado con el empleo extensivo de combustibles fósiles y de tecnologías provenientes del campo socialista, pues las justas condiciones de intercambio comercial que ofrecía el CAME permitían y

sustentaban el desarrollo del país, y en esas condiciones no resultaba imperioso el desarrollo de otras fuentes de energía [Moreno y Montesinos, 2010].

### *Segunda etapa*

Desde finales de los años 70 del siglo xx hasta nuestros días. La acumulación de capital y la introducción de novedosas y sofisticadas tecnologías permitieron que el negocio energético adquiriera proporciones de monopolio, capaz de generar dependencia y subordinación política de unas naciones a otras, y ser utilizado como un instrumento de desestabilización, inclusive regional. En esta etapa los mecanismos de la regulación se dirigieron a los objetivos siguientes:

- Asegurar a la oligarquía energética una posición privilegiada en los círculos de poder del Estado.
- Promover el desarrollo tecnológico a nivel global, como un instrumento de dependencia de unas regiones (naciones) sobre otras.
- Consagrar la dependencia petrolera, ahora a gran escala, y la penetración de otros combustibles fósiles sofisticados (energía nuclear), instaurar la dependencia energética de unas naciones sobre otras.
- Regular la preponderancia del mercado energético en relación con las renovables, consagrando las artificiales ventajas económicas de las tecnologías convencionales, con respecto a las renovables.
- Propugnar el desarrollo energético como un instrumento de poder imperial geopolítico.
- Utilizar el recurso energético como un instrumento proveedor de crisis y desestabilización política a nivel regional, y en tanto una justificación para llevar a cabo la política belicista del imperialismo mundial. Particularmente, durante esa etapa en Cuba se consolida el nivel alcanzado en el desarrollo energético del país; en 1975 se promulga la Ley 1287, Ley Eléctrica Cubana [Ministros, 197510], que entre sus objetivos se encuentran los de garantizar la ordenación y regulación del crecimiento de la industria eléctrica, para hacer frente a la creciente demanda en función del desarrollo económico y social del país. Para ello fue necesario introducir un amplio plan de instalaciones de plantas termoeléctricas, líneas de transmisión y distribución, servicios de electrificación a nuevas zonas rurales y urbanas, y extender este vital servicio a numerosas instalaciones agrícolas e industriales a todo lo largo y ancho del país [Moreno y Montesinos, 2010].

En esa propia Ley se comienzan a regular las primeras medidas para evitar el despilfarro o inadecuado aprovechamiento de la energía, reconociéndose ello como un objetivo obligado para toda la Nación [Ministros, 1975], y se establece la necesidad de actualizar y unificar las diversas normas técnicas que regulan la materia, dispersas hasta esos momentos en distintas leyes y disposiciones.

Se faculta al Ministerio de la Industria Eléctrica (MINBAS) como suministrador único de este servicio en el país, y se disponen las prioridades establecidas por el Gobierno para el desarrollo de los planes económicos y sociales.

En el propio 1975, y a tenor de lo dispuesto en la Ley 1287, fue aprobado y publicado el Reglamento del Servicio Eléctrico [Ministros, 1975], estableciéndose las bases regulativas para lograr la utilización racional y el máximo aprovechamiento de la energía eléctrica, siendo necesaria la actualización y unificación de las diversas normas técnicas reguladoras de la materia.

La desintegración del campo socialista, de la Unión Soviética y la intensificación del bloqueo por parte de Estado Unidos, significaron un duro golpe a la economía nacional.

Entre 1989 y 1993 el producto interno bruto de la Isla se redujo a la mitad, y las importaciones cayeron 75%, la importación de petróleo se deprimió 40,6%, repercutiendo muy severamente en todos los órdenes de la vida económica y social del país durante varios años [Moreno y Montesinos, 2010]. La industria eléctrica, además, comenzó a carecer de piezas de repuesto y otros componentes necesarios para su funcionamiento.

En 1993 comenzó un intensivo proceso de recuperación de la capacidad de generación eléctrica, acompañado de un notable aumento de la demanda de electricidad, y en 1997 el Gobierno Cubano aprobó una estrategia enfocada en tres objetivos dirigidos a perfilar la elevación de la eficiencia y recuperar la capacidad de generación del SEN [Moreno y Montesinos, 2010]:

- Modernización de las centrales termoeléctricas y asimilación acelerada del uso del crudo nacional.
- Construcción y explotación de nuevas capacidades y utilización del gas acompañante de los yacimientos de petróleo.
- Desarrollo del Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC), del MINBAS, y el Programa de Ahorro de Energía (PAEME), del Ministerio de Educación (MINED). En 2005, la dirección del país despliega una estrategia regulatoria basada en la adopción de diversos acuerdos y resoluciones de los órganos de dirección política

y el Estado, dirigidas a ordenar el emprendimiento de la Revolución Energética, sustentada en un grupo de principios y la ejecución de programas adecuados a las condiciones y posibilidades del desarrollo económico y social del país.

Entre esos programas se encuentra el incremento de la disponibilidad del servicio eléctrico con una tendencia al modo de generación distribuida, instalándose en breve plazo más de 3 000 MW en grupos electrógenos (fuel oil, baterías diésel y diésel aislado), más eficientes que las centrales termoeléctricas, distribuidos a lo largo y ancho del territorio nacional. Paralelamente, se introdujeron más de 6 000 grupos electrógenos de emergencia en centros vitales, que pueden trabajar desconectados del SEN [Moreno y Montesinos, 2010].

La ejecución de los programas considerados en la Revolución Energética posibilitó que a pesar de las limitaciones económicas del país, incrementadas por las consecuencias del bloqueo norteamericano, en el 2008 se alcanzara una capacidad instalada de 5 282,4 MWp, representando un incremento de 60% con respecto al 2002.

Todo este esfuerzo viene a demostrar lo esencial de la dimensión social de la energía traduciéndola con claridad su carácter de derecho social, más que como un instrumento del mercado al servicio de compañías privadas y monopolios estatales.

Sin duda ha sido un gran esfuerzo de la dirección del país, pero todas estas tecnologías basadas en el consumo de petróleo —aun cuando se reportan algunas ventajas relacionadas con los indicadores de consumo de combustible— continúan implicando la dedicación de cuantiosos recursos económicos para asegurar su operación y mantenimiento.

A pesar de la voluntad política expresada a escala internacional por diversificar la matriz energética global a partir de la utilización de las fuentes renovables de energía, se siguen considerando de manera preferencial a los combustibles fósiles en la generación, reduciendo las transformaciones que se requieren a fin de lograr una matriz energética sustentable por los recursos que se utilizan, y sostenible desde el punto de vista medioambiental.

### **Una reflexión necesaria**

La desregulación, o lo que es peor, la regulación condicionada a intereses privados, la privatización y la reestructuración, se dan la mano para generar enlaces políticos de difícil manejo, capaces de distorsionar la voluntad política de los gobiernos, en la búsqueda de soluciones coherentes a los problemas del desarrollo.

Las investigaciones realizadas sobre la evolución histórica de la matriz energética mundial, y su influencia en nuestro país, han demostrado que el marco regulatorio ya ha evolucionado para dar respuesta, en primer lugar, a la necesidad de promover, estimular y consolidar una matriz energética mundial corporativa, de sesgo mercantilista, exclusivista y esencialmente petrolera.

En sus inicios, la industria eléctrica prácticamente regalaba el kWh generado, debido a los precios muy ventajosos del petróleo y las tecnologías asequibles, con la única limitante económica de los costes de la red. Pero hoy la situación es diametralmente diferente: precios muy elevados de los combustibles fósiles, especialmente el petróleo, promotor de la bien conocida dependencia energética; penetración de sofisticadas y costosas tecnologías, que arrastran un pesado lastre de dependencia tecnológica para los países que las adquieren, acrecentando el peso económico para su sostenimiento.

El sector industrial acumula un importante peso en los daños ocasionados al medio ambiente, y constituye otro factor considerable de encarecimiento del kWh generado, con estragos prácticamente irreversibles para la sociedad.

La empresa que promueve la despiadada filosofía del petrodólar, pues de ella se sostiene, fomenta el sentido de exclusividad social, expresado en los más de dos mil quinientos millones de personas que hoy carecen del servicio eléctrico [Borges, 2011]; responsable en la práctica de políticas expoliadoras, que utilizan las ventajas energéticas como un instrumento de poder y chantaje político de las naciones ricas hacia los países dependientes.

Es considerable el inventario de códigos, leyes, decretos leyes, acuerdos y resoluciones de los estados y gobiernos, contratos y otros documentos, todos de carácter jurídico, que han sido elaborados y promulgados para consolidar, proteger y asegurar la existencia de ese tipo de sistema.

Las justificaciones pasan desde las propiamente técnicas, hasta las consideraciones sociales y políticas, dada la imagen de utilidad social que se le atribuye y su influencia en el mantenimiento de la estabilidad de los sistemas políticos contemporáneos. Se habla de una mayor eficiencia y de una elevada calidad del servicio, cuando en el fondo del fenómeno subyacen razones protectoras de intereses espurios.

El rendimiento o eficiencia de un sistema es la relación entre la cantidad de energía primaria introducida en el mismo, y la cantidad de energía transformada que es capaz de producir [Bravo, 2002]; entonces de qué eficiencia se trata cuando se habla de tecnologías que desechan la mayor

parte de su energía primaria de entrada, perdiéndose aún más energía al tener que transportar la electricidad por la red eléctrica, y convertirla de alta tensión a un suministro adecuado para uso doméstico e industrial.

El sistema es intrínsecamente vulnerable: pueden producirse problemas técnicos locales en cascada relacionados con las condiciones climáticas, o inclusive causados deliberadamente. Independientemente de la tecnología empleada para generar electricidad con esta configuración, estará sujeta de forma inevitable a algunos, o a todos esos problemas. La clave radica en la necesidad de cambiar la forma de producir y distribuir la energía [Renovables, 2007].

Está demostrado que la utilización adecuada de las tecnologías renovables modernas, como resultado de procesos de estudio y experimentación probados, pueden garantizar calidad en el servicio, con bajos costos de operación y mantenimiento.

En ocasiones, los sistemas de aprovechamiento de energías renovables tienen un carácter poco eficiente, si bien la energía primaria utilizada tiene la ventaja de ser gratuita (a excepción de algunas formas de biomasa) y de tener un carácter renovable, lo cual compensa, en términos ambientales, la menor eficiencia [Bravo, 2002].

En Cuba, a partir del triunfo revolucionario se introdujeron cambios radicales en la política energética del país, implantando modificaciones considerables hacia un perfil energético de marcada eficacia social, lográndose en pocos años extender el servicio a casi la totalidad de la población. La Empresa Eléctrica cubana no pertenece al patrimonio de nadie en particular, ni posee compromisos con intereses extranjeros. Los planes del desarrollo eléctrico del país obedecen al principio de la planificación centralizada del Estado, y se destinan al desarrollo económico y social de la Nación, en correspondencia con las posibilidades económicas.

No obstante, es necesario reconocer que en el perfil energético cubano persisten rasgos de la filosofía energética tradicional:

- La estructura institucional es de concentración, estando reconocida una única institución para realizar y comercializar la generación eléctrica, que concentra su gestión esencial en la producción de energía mediante la explotación de tecnologías basadas en el consumo de petróleo; sobre esta no recae responsabilidad jurídica relacionada con el desarrollo de las fuentes renovables de energía, aun cuando en su gestión administrativa, y en algunas aplicaciones, las considera.

- A pesar de la introducción práctica de la generación distribuida, se mantiene su carácter centralizado como sistema, reduciendo las posibilidades de intervención de los territorios y la participación de los recursos renovables que en estos se encuentran.
- La industria de generación eléctrica es típicamente petrolera, no considerando espacios relevantes para el desarrollo de las fuentes renovables de energía; su gestión económica está concebida para el sostenimiento y desarrollo perspectivo de las tecnologías tradicionales de generación, basadas en el consumo de combustibles fósiles. En estas condiciones, la atención a las fuentes renovables de energía, y a su desarrollo, es escasa.

### **Consideraciones generales**

La historia de la evolución del marco regulatorio referido al perfil energético a escala mundial, y la realidad objetiva que ofrecen los países en desarrollo que no poseen reservas significativas de combustibles fósiles, advierten sobre la aceptación y el reconocimiento de un marco jurídico energético que aborde, explícitamente, el ordenamiento de una matriz energética diversa, encaminada al abandono del camino petrolero, y de la dependencia tecnológica de la industria eléctrica, y que particularmente pueda dar respuesta a las expectativas siguientes:

- Descentralización del sistema eléctrico cubano (generación y comercialización) e incremento del papel de los territorios en la gestión de los recursos que poseen, con el propósito de lograr la autosuficiencia energética.
- Otorgar un espacio institucional diferenciado a las fuentes renovables de energía que propicie su penetración y desarrollo ordenado, y que abra espacios para alcanzar una elevada eficiencia energética en los sistemas de generación.
- Considerar todas las fuentes de energía, incluidas las convencionales, pero con la reducción al máximo de la explotación de las tecnologías que utilizan el petróleo u otros combustibles fósiles. Este deberá ser su principal indicador de eficiencia.
- En los planes del desarrollo estratégico del país, considerar de manera explícita los recursos que se designen para ser dedicados a la penetración de los sistemas que aprovechan las fuentes renovables de energía, teniéndolos en cuenta dentro de la estrategia nacional, para reducir al máximo el camino del petróleo y la dependencia tecnológica de la industria eléctrica.

## **Marco legal para Cuba**

En la Constitución de la República proclamada el 24 de febrero de 1976, se expresa en el Artículo 27 [Popular..., 1975] «...El Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política».

Más adelante, en el propio Artículo establece «...Es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y todo el rico potencial de la naturaleza».

En las directrices rectoras para el desarrollo económico y social del país (Lineamientos del Partido Comunista de Cuba (PCC) [Cuba..., 2011], se expresan los diferentes elementos que rigen el desarrollo económico y que inciden en el ordenamiento territorial, la sostenibilidad y los procesos energéticos:

Las prioridades del desarrollo sostenible se definen en el Lineamiento 118, mientras que en el 247 se potencia el empleo de las fuentes renovables de energía, particularizándose lo relacionado con el fomento de su aprovechamiento, priorizando aquellas que tengan el mayor efecto económico.

## **Bibliografía**

Borges, C. G. R (2001). «Valoración integral de sistemas híbridos para la electrificación rural». Tesis presentada en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. ISPJAE, 2011.

Bravo, F. J. D (2002). «La integración económica y territorial de las energías renovables y los sistemas de información geográfica». Memoria presentada para optar al grado de Doctor, 2002. Biblioteca de la Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geografía e Historia, Departamento de Geografía Humana. (ISBN: 84-669-1976-7).

CEN y C.A. CIEMAT (2009). *Los organismos reguladores de servicios públicos. Diseño regulatorio. Teoría y práctica*. Revista de la Red de Expertos Iberoamericanos en Energía, 2009. 1er Semestre.

Cuba, V.C.d.P.C.d (2011). *Resolución sobre los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. Boletín especial, 2011.

Francés, J. G. (2001). *Exposición sobre la energía*. Informe del Ministerio de Economía y Planificación, Cuba., 2001. Recopilación de información de distintas fuentes, relacionadas con la energía en el mundo, en América Latina, el Caribe y Cuba.

Huerta, M.I.d.T. (2007). *El fenómeno del SoftLaw y las nuevas perspectivas del Derecho Internacional*. Archivo del Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías de México, 2007. Trabajo desarrollado en el marco de las actividades de investigación para la realización de estudios de postgrado.

José and S. (2004) *Las energías renovables son el futuro*. *Noticias América Latina*. Ambiental.net, 2004.

Kolesnikov, A.; V. G. Kutcherov y A. F. Goncharov (2009). «Methane-Derived Hydrocarbons Produced under Upper-mantle Conditions», *Nature Geoscience*. 2009: p. 566-570.

Ministros, P.E.d.C.d. (1975). *Ley Eléctrica No 1287*. Gaceta Oficial de la República, 1975.

Montesinos Larrosa, A. (2010). «Ecología, contaminación ambiental y responsabilidad política», en *Solarización Territorial. Vía para el logro del desarrollo sostenible*. La Habana: Ed. CUBASOLAR, 2010. pp. 55-56. (ISBN 978-959-71113-39-3).

Moreno Figueredo, C. y A. Montesinos Larrosa. (2010). «La sociedad cubana y su contexto energético», en *Solarización Territorial. Vía para el logro del desarrollo sostenible*. La Habana: Ed. CUBASOLAR, 2010. pp. 65-80.(ISBN 978-959-71113-39-3).

Popular, A.N.d.P. (1976). *Constitución de la República de Cuba*. Gaceta Oficial, 1976.

Renovables, C.E.d.E. (2007). *La Revolución Energética puede lograrse si nos atenemos a cinco principios claves*. EREC Greenpeace Internacional, 2007. Perspectiva mundial de la energía renovable.

Villavicencio, L. G. C. (2008). *El SoftLaw, ¿una fuente formal más del Derecho Internacional?* Internet, 2008. [www.tuobra.unam.mx](http://www.tuobra.unam.mx).

William, F. (2008). *Perhaps 60% of Today's Oil Price is Pure Speculation*. 2008.

## **Método propuesto para estimar el cálculo del consumo eléctrico en terminales aéreas**

### **Proposal of method for estimating the electricity consumption in airport terminals**

*Por Orestes Castillo Castillo\**

*\* ECASA, La Habana, Cuba.*

*e-mail: castillo@ecasa.avianet.cu*

#### **Resumen**

Este trabajo tiene como objetivo establecer una herramienta de cálculo a través de los software STATGRAPHICS o EXCEL, y basándose en las estadísticas registradas en años anteriores (consumo eléctrico, temperaturas y operaciones aéreas), obtener una ecuación que ofrezca como resultado el consumo eléctrico, en relación con las variables independientes: temperatura y cantidad de operaciones aéreas. A través de ese modelo se puede estimar el consumo eléctrico de los aeropuertos de Cuba.

**Palabras clave:** Consumo eléctrico, aeropuertos

#### **Abstract**

The objective of this paper is to create a tool that allows to obtain an equation of the electricity consumption based on the statistics recorded in previous years (electricity consumption, temperatures and number of flights operated) in relationship with independent variables such as temperature and number of flights operated. For this purpose we can either use the software STATGRAPHICS or EXCEL, and through this model, the electricity consumption of Cuban airports can be estimated.

**Keywords:** Electricity consumption, airports

#### **Introducción**

Para estimar el consumo eléctrico de un aeropuerto, actualmente se utiliza en Cuba el consumo eléctrico que se registró en igual período (mes) en años anteriores y la cantidad de pasajeros que se registraron, para obtener un índice de consumo.

Este método que se aplica actualmente tiene el inconveniente de que no se tienen en cuenta las temperaturas registradas durante ese período de tiempo, las que tienen una incidencia fundamental en el consumo eléctrico de nuestros aeropuertos, ya que las instalaciones de climatización representan 65%, aproximadamente, de todo su consumo eléctrico.

## Método

Para desarrollar el trabajo se elaboró una base de datos donde se identificaron los consumos de todos los aeropuertos del país, así como la cantidad de operaciones aéreas, para lo cual se utilizó el software «Sistema de gestión de operaciones de ECASA»; además, se colocaron los datos de temperaturas por provincias del INSMET [[www.insmet.cu](http://www.insmet.cu)].

Luego, con el apoyo del software STATGRAPHICS [Araujo y Gandur, 2008], diseñado para trabajar distintos procesos estadísticos, o EXCEL como una herramienta alternativa, se realizó la modelación [<http://www.hojamat.es/estadística>, <http://www.est.uc3m.es>, <http://www.aulaclic.net/cursos>].

Estadísticas Ecasa								
Mes	Consumo, MWh	Pasajeros	Temperatura, °C	Operaciones	Demoras	%	Atrasos	%
Ene-11	2 823,865	737 768	22	8 392	1 281	15,26	1 991	23,72
Feb-11	2 648,052	673 235	22,8	7 549	951	12,60	1 583	20,97
Mar-11	3 046,71	759 250	23,5	8 651	1 028	11,88	1 619	18,71
Abr-11	3 296,959	691 162	26,1	8 105	871	10,75	1 505	18,57
May-11	3 233,29	510 409	26,4	6 882	634	9,21	1 125	16,35
Jun-11	3 376,971	452 334	27	6 839	657	9,61	1 195	17,47
Jul-11	3 601,841	546 644	27,7	7 520	887	11,80	1 472	19,57
Ago-11	3 694,379	508 264	28,1	6 960	760	10,92	1 312	18,85
Sep-11	3 673,569	423 316	27,6	6 540	656	10,03	1 182	18,07
Oct-11	3 342,599	438 369	26	6 595	745	11,30	1 343	20,36
Nov-11	3 149,079	555 051	24,3	7 220	774	10,72	1 334	18,48
Dic-11	3 033,56	668 469	23,3	8 271	1 328	16,06	1 991	24,07

Ene-12	2 955,63	793 626	22,4	8 470	1 305	15,41	1 805	21,31
Feb-12	3 084,64	771 464	23,4	8 090	1 234	15,25	1 828	22,60
Mar-12	3 293,25	882 088	24,5	8 969	1 251	13,95	1 896	21,14

En el presente caso se empleó una regresión múltiple [Francisco y López, 2010] en la cual la variable dependiente es el consumo eléctrico, y las independientes son las operaciones aéreas y las temperaturas. A través del software se obtiene la ecuación que servirá para predecir el consumo eléctrico de los aeropuertos, dependiendo de las temperaturas pronosticadas y las operaciones planificadas.

Se consideran, conceptualmente:

Operación aérea: Tiempo desde la salida de origen hasta la llegada al destino de una aeronave.

Demora: Afectación a la puntualidad de los servicios programados para un vuelo (salida del vuelo).

Atraso: Afectación que se origina en la llegada de un vuelo.

El porcentaje de las operaciones atrasadas se realiza dividiendo el número de operaciones atrasadas entre el total de las operaciones, y lo mismo se efectúa con las demoras.

*Tabla 1. Base de datos*

<b>Estadísticas Ecasa</b>								
Mes	Consumo, MWh	Pasajeros	Temperatura, °C	Operaciones	Demoras	%	Atrasos	%
Ene-11	2 823,865	737 768	22	8 392	1 281	15,26	1 991	23,72
Feb-11	2 648,052	673 235	22,8	7 549	951	12,60	1 583	20,97
Mar-11	3 046,71	759 250	23,5	8 651	1 028	11,88	1 619	18,71
Abr-11	3 296,959	691 162	26,1	8 105	871	10,75	1 505	18,57
May-11	3 233,29	510 409	26,4	6 882	634	9,21	1 125	16,35
Jun-11	3 376,971	452 334	27	6 839	657	9,61	1 195	17,47

Jul-11	3 601,841	546 644	27,7	7 520	887	11,80	1 472	19,57
Ago-11	3 694,379	508 264	28,1	6 960	760	10,92	1 312	18,85
Sep-11	3 673,569	423 316	27,6	6 540	656	10,03	1 182	18,07
Oct-11	3 342,599	438 369	26	6 595	745	11,30	1 343	20,36
Nov-11	3 149,079	555 051	24,3	7 220	774	10,72	1 334	18,48
Dic-11	3 033,56	668 469	23,3	8 271	1 328	16,06	1 991	24,07
Ene-12	2 955,63	793 626	22,4	8 470	1 305	15,41	1 805	21,31
Feb-12	3 084,64	771 464	23,4	8 090	1 234	15,25	1 828	22,60
Mar-12	3 293,25	882 088	24,5	8 969	1 251	13,95	1 896	21,14

*Tabla 2. Estadísticas de regresión*

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,943783152
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,890726638
R <sup>2</sup> ajustado	0,872514411
Error típico	107,5242298
Observaciones	15

*Tabla 3. Coeficientes obtenidos del cálculo de la regresión*

	<b>Coeficientes</b>
Intercepción	-1418,492402
Variable X 1	158,0535933
Variable X 2	0,089053551

## Resultados

Los resultados de estos cálculos permiten obtener una ecuación para el consumo:

Consumo =  $-1\,418,492402 + 158,0535933$  (temperatura) +  $0,089053551$  (operaciones)

En las tablas mostradas, se han considerado:

Coefficiente de correlación múltiple: relación entre las variables, en este caso 94,37%, por lo que se puede afirmar que existe un grado de asociación importante y positiva entre el consumo y las temperaturas, así como con las operaciones aéreas.

Coefficiente de determinación  $R^2$ : Este parámetro refleja la variabilidad en el consumo y es de 89,07%.  $R^2$  ajustado: Este número resulta más conveniente para comparar modelos con distintos números de variables independientes, y es 87,25%.

Error típico: desviación típica de los residuos, y resulta de 107,524, valor que puede usarse para construir los límites de predicción.

Para reducir el error típico y aumentar la variabilidad en el consumo, se recomienda eliminar los residuos atípicos, provocados por demoras o atrasos en los vuelos, anomalías en las temperaturas, etcétera.

*Tabla 4. Estadísticas sin residuos atípicos*

Estadísticas Ecasa								
Mes	Consumo, MWh	Pasajeros	Temperatura, °C	Operaciones	Demoras	%	Atrasos	%
Ene-11	2 823,865	737 768	22	8 392	1 281	15,26	1 991	23,72
Mar-11	3 046,71	759 250	23,5	8 651	1 028	11,88	1 619	18,71
Jun-11	3 376,971	452 334	27	6 839	657	9,61	1 195	17,47
Jul-11	3 601,841	546 644	27,7	7 520	887	11,80	1 472	19,57
Oct-11	3 342,599	438 369	26	6 595	745	11,30	1 343	20,36
Nov-11	3 149,079	555 051	24,3	7 220	774	10,72	1 334	18,48
Dic-11	3 033,56	668 469	23,3	8 271	1 328	16,06	1 991	24,07

Ene-12	2 955,63	793 626	22,4	8 470	1 305	15,41	1 805	21,31
Feb-12	3 084,64	771 464	23,4	8 090	1 234	15,25	1 828	22,60
Mar-12	3 293,25	882 088	24,5	8 969	1 251	13,95	1 896	21,14

Para identificar los residuos atípicos (más alejados de la línea de tendencia), se utilizó una de las aplicaciones del STATGRAPHICS. Una vez eliminados estos residuos, se procedió a realizar los cálculos, utilizando nuevamente los software STATGRAPHICS o EXCEL, obteniéndose los resultados siguientes:

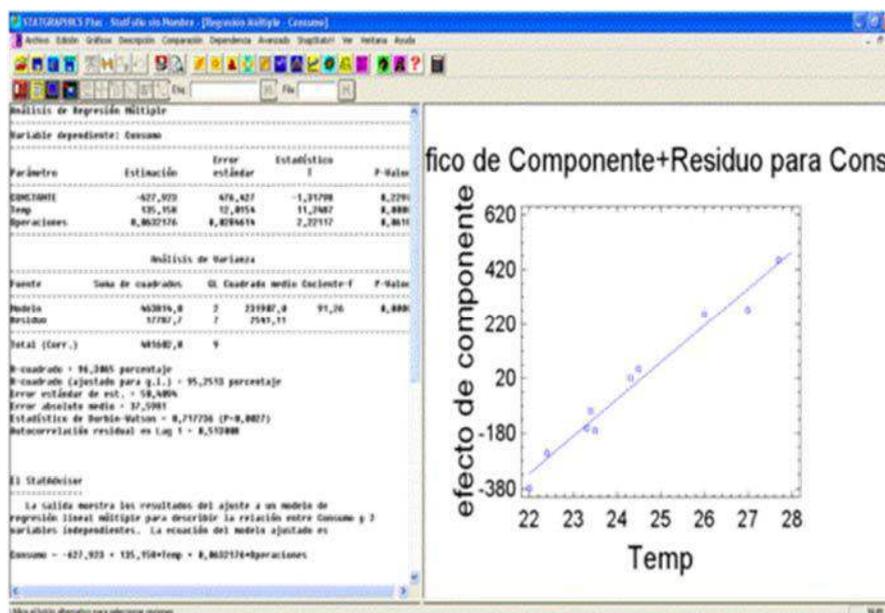


Fig. 1. Resultados del cálculo utilizando el software STATGRAPHICS.

Consumo =  $-627,927 + 135,158$  (temperatura) +  $0,0632176$  (operaciones)

El coeficiente de determinación aumenta hasta 96,30%.

El coeficiente de determinación ajustado aumenta hasta 95,25%.

El error típico disminuye hasta 50,41.

Como se puede apreciar, a partir de la eliminación de los residuos atípicos, los coeficientes aumentan y disminuye el error típico, lo que ofrece mayor calidad a la hora de realizar la predicción.

## Conclusiones

La aplicación de esta metodología de cálculo para estimar el consumo eléctrico en los aeropuertos constituye una valiosa herramienta a la hora de establecer pronósticos de consumos eléctricos,

y su importancia mayor radica en el momento de realizar la planificación del consumo energético, tarea a la cual estamos convocados para salvar nuestro planeta, con el objetivo de dar un uso cada vez más racional a la energía eléctrica. Esta herramienta de cálculo puede ser utilizada en instalaciones de servicios en las que el consumo eléctrico esté vinculado a varias variables independientes, entre ellas la temperatura.

### **Bibliografía**

ARAUJO, ÁNGELA MARÍA Y MARÍA PAULA GANDUR. «STATGRAPHICS». Universidad Nacional de Colombia. 2008.

FRANCISCO MARTÍN, WILFREDO Y EDUARDO LÓPEZ BASTIDA (2010). «Metodología de la Investigación Científica». Universidad de Cienfuegos, 2010.

<http://www.hojamat.es/estadística>

<http://www.est.uc3m.es>

<http://www.aulaclic.net/cursos>

[www.insmet.cu](http://www.insmet.cu)

**Eco Solar** es una publicación científica electrónica trimestral para los especialistas de las fuentes renovables de energía. Se dedica a la promoción de temas relacionados con la energética, las energías alternativas, la física ambiental, la arquitectura bioclimática, el impacto sobre el medio ambiente la educación ambiental, la termoconversión, la eficiencia energética, y las energías de origen hidráulico, fotovoltaico, eólico, solar, biomasa y ciencias relacionadas

**DIRECTOR GENERAL:**

Dr. Luis Bérriz Pérez.

**DIRECTOR:**

M.Sc. Manuel Álvarez González.

**EDITOR JEFE:**

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

**EDITORA:**

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.

**CORRECCIÓN:**

Ing. Jorge Santamarina Guerra.

**CONSEJO EDITORIAL:**

Dr. Luis Bérriz Pérez.

M.Sc. Manuel Álvarez González.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

M.Sc. Manuel Fernández Rondón.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

M.Sc. Daniel López Aldama

**DISEÑO ELECTRÓNICO:**

D.I. Antonio Romillo Polaino.

**WEB MASTER:**

M.Sc. Fernando González Prieto.

**CONSEJO ASESOR:**

Dra. Elena Vigil Santos.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

Dr. Sergio Corp Linares.

Dr. José Guardado Chacón.

Dr. Deny Oliva Merecio.

Dra. Dania González Couret.

Dr. Juan José Paretas.

Lic. Bruno Henríquez Pérez.

M.Sc. Leonor Turtós Carbonell.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

Lic. Ricardo Bérriz Valle.

Dr. David Pérez Martín.

Dr. César Cisnero Ramírez



**SOCIEDAD CUBANA PARA LA PROMOCIÓN  
DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y EL RESPETO  
AMBIENTAL**

Calle 20 no. 4113, esquina a 47, Miramar, Playa,  
Ciudad de La Habana, Cuba. Código Postal: 11300.

Teléfono: (537) 205-9949.

Apartado postal: 6611, CP: 10600, Ciudad de La Habana, Cuba.

e-mail: [editora@cubasolar.cu](mailto:editora@cubasolar.cu)

<http://www.cubasolar.cu>